

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler) Sempozyumu

Editör

Prof. Dr. Nesrin YILDIZ



ATATÜRK
ÜNİVERSİTESİ
YAYINLARI
ATATÜRK
UNIVERSITY
PUBLICATIONS



**ATATÜRK
ÜNİVERSİTESİ
YAYINLARI
ATATURK
UNIVERSITY
PUBLICATIONS**

Eser Adı

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi
(Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)
Sempozyumu (5-7 Aralık 2023)

Editör

Prof. Dr. Nesrin YILDIZ

Yayınlar Yönetmeni

Prof. Dr. Bünyamin AYDEMİR

Yayın Kurulu

Prof. Dr. Ahmet SARI, Prof. Dr. Ali UTKU, Prof. Dr. Bülent ÇAVUŞOĞLU,
Prof. Dr. Bünyamin AYDEMİR, Prof. Dr. Erdinç ŞIKTAR,
Prof. Dr. Hakan Hadi KADIOĞLU, Prof. Dr. Hasan Tahsin SÜMBÜLLÜ

Dizgi ve Tasarım: Abubekir KALE

Atatürk Üniversitesi Yayınları No: 1399

ISBN: 978-625-7086-62-2



Erişim Adresi: <https://ekitap.atauni.edu.tr>

Atatürk Üniversitesi Yayınevi Koordinatörlüğü

Sertifika No: 42021

Adres: Kampüs. Prof. Dr. Fuat Sezgin Kütüphanesi
Okuma Salonları Binası Zemin Kat Yakutiye/ERZURUM

E-posta: atayayinevi@atauni.edu.tr

Telefon: 0442 231 62 80

[f](#) [@](#) [t](#) atayayinevi

Erzurum 2024 © Copyright Atatürk Üniversitesi Yayınevi

Bu kitapta yer alan tüm yazıların ve görsellerin dil, bilim ve hukuk açısından sorumluluğu yazarlarına aittir. Eserin her hakkı anlaşılabilir olarak Atatürk Üniversitesi Yayınevi Koordinatörlüğüne aittir. İzinsiz yayımlanamaz. Kaynak gösterilerek alıntı yapılabilir.



ATATÜRK
ÜNİVERSİTESİ
YAYINLARI
ATATÜRK
UNIVERSITY
PUBLICATIONS



**ATATÜRK
ÜNİVERSİTESİ
YAYINLARI
ATATURK
UNIVERSITY
PUBLICATIONS**

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	7
TAM METİN BİLDİRİLER	9
YAŞAM KAYNAĞIMIZ VE SESSİZ MÜTTEFİKİMİZ TOPRAĞIN ÖNEMİ	
Prof. Dr. Nesrin YILDIZ	10
SAĞLIKLI YAŞAM İÇİN BİTKİ BESLEME YÖNETİMİ VE GÜBRE ÖNERİLERİNİN	
BİLİMSEL TEMELİNE DAİR YAKLAŞIMLAR	
Prof. Dr. Nesrin YILDIZ	33
TÜRKİYE'DE GÜBRE KULLANIMINDA SORUNLAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ	
Prof. Dr. Sait GEZGİN, Dr. Öğr. Üyesi Fatma GÖKMEN YILMAZ	70
TARIMSAL ÜRETİM SÜRECİNDE ATIK YÖNETİMİ	
Prof. Dr. Süleyman TABAN	87
TÜRKİYE'DE GÜBRELER VE FABRİKADAN-TARLAYA YÖNETİMİ	
Prof. Dr. Emin Bülent ERENOĞLU	116
TOPRAK BİTKİ ANALİZLERİ VE GÜBRELEME PROGRAMLARININ	
OLUŞTURULMASINDAKİ SORUNLAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ	
Dr. Öğr. Üyesi Fatma GÖKMEN, YILMAZ, Prof. Dr. Sait GEZGİN	160
DEĞİŞEN TARIMSAL ÜRETİM PARADİGMALARI BAĞLAMINDA	
SÜRDÜRÜLEBİLİR BİTKİ BESLEMENİN GELECEĞİ	
Prof. Dr. Burçin ÇOKUYSAL	167
TARIMSAL ÜRETİMİN ARTIRILMASINDA MİNERAL GÜBRELERLE BİRLİKTE	
KULLANILAN GÜNCEL UYGULAMALAR: MİKROBİYAL GÜBRELER,	
BİYOSTİMULANLAR, BİYOKÖMÜR VE SOLUCAN GÜBRESİ	
Prof. Dr. Ali COŞKAN	200
TOPRAK MİKROORGANİZMALARINI VE YEŞİL GÜBRELERİN TARIMSAL ÜRETİM	
BAĞLAMINDA ETKİLEŞİM VE ETKİLERİNİN ANALİZİ	
Prof. Dr. Cengiz KAYA, Ferhat UĞURLAR	237
BİTKİLERDE AZOT KULLANIM ETKİNLİĞİ VE BİYOTEKNOLOJİK YAKLAŞIMLAR	
Sümevra UÇAR, Esmâ YİĞİDER, Emre İLHAN, Prof. Dr. Murat AYDIN	271
TARIMSAL ÜRETİMDE AZOT YÖNETİM ARAÇLARI	
Prof. Dr. Hayriye İBRİKÇİ, Mahmut ÇETİN, Hande SAĞIR	289

AZOTLU GÜBRE SEKTÖRÜNÜN GELECEĞİNE GENEL BİR BAKIŞ:

AMONYAK EKONOMİSİ

Prof. Dr. Kürşat KORKMAZ 313

BİTKİ BESLEMEDE TAGEM ARAŞTIRMALARI

Dr. Kadriye KALINBACAK 338

SERACILIKTA BİTKİ BESLEME SORUNLAR VE ÖNERİLER

Prof. Dr. Mustafa KAPLAN, Öğr. Gör. Dr. Ahmet Şafak MALTAŞ 355

VAN HAVZASI TOPRAK-GÜBRELEME SORUNLARI VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Prof. Dr. Şefik TÜFENKÇİ 367

GÜBRELEMEDE MEKANİZASYON: KULLANILAN EKİPMANLAR,

ÇALIŞMA İLKELERİ VE SON GELİŞMELER

Prof. Dr. Davut KARAYEL 375

BİTKİ VE TOPRAK VERİMLİĞİNİN SAĞLANMASI AMACIYLA KULLANILAN AKILLI

TARIM TEKNOLOJİLERİ

Doç. Dr. Mehmet Metin ÖZGÜVEN 407

ERZURUM İLİ TARIM TOPRAKLARININ VERİMLİLİK DURUMLARININ

VERİTABANI VE HARİTALAR OLUŞTURULARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Zir. Yük. Müh. Meryem BAYRAKTUTAN, Alper POLAT, Murat ŞİMŞEK,

Mustafa Serdar TOKSOY 428

ERZURUM İLİNDE BİTKİ BESLEMeye GENEL BAKIŞ VE YAŞANAN SORUNLAR

Ahmet Miraç DURLU 445

SONUÇ BİLDİRGESİ 452

SONUÇ BİLDİRGESİ 453

DÜZENLEME KURULU 471

SEMPOZYUM PROGRAMI 473

ÖN SÖZ

Cumhuriyetin kuruluşundan itibaren Ülke ekonomisinde, tarımın önemine binaen tarımın geliştirilmesine büyük önem verilmiştir. Üstü açık bir fabrika olarak tanımlanan tarımın, vazgeçilmez doğal kaynakları toprak, su ve havadır, “Bu kaynakları korumak ve sürdürülebilir kullanımını sağlamak stratejik ve ulusal görevimizdir. Sürdürülebilir bir gıda sistemi; topraktaki besin maddelerinin kalıcılığını sağlayarak doğal kaynakları yenileyebilen, kimyasal pestisit ve gübrelerin idareli kullanımını teşvik eden, ürün çeşitliliğini artıran, erozyonu azaltan ve su kalitesini koruyan çeşitlendirilmiş yetiştirme sistemlerini içerir. Tarımsal girdiler arasında önemli bir yeri olan gübre kullanımının bilinçsiz (aşırı veya dengesiz) kullanımı toprağın doğasını , sağlığını, kalitesini ve dolaylı olarak bitki, hayvan ve insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. Bitkisel üretim sürecinde kaliteli, ekonomik ve sürdürülebilir yönetim stratejilerinin oluşturulmasında tüm girdilerin etkin kullanılması son derece önemlidir. Bu nedenle bitki yetiştirme ortamına sağlanan gübrelerden bitkilerin uygun miktar ve oranda yararlanabilmesi, şüphesiz diğer toprak, bitki, iklim faktörleri kadar ‘bitki besleme yönetim stratejilerinin doğru belirlenmesi ve gübre kullanımında etkinliği artırılması’ ile yakından ilişkilidir.”

Tarımsal uygulamalarda, son yıllarda yoğun (intensif) tarım konseptinde verim ve kalitenin artırılmasını hedefleyen güçlü teknolojik alt yapı sistemleri ve bilgisayar destekli otomasyon programlarının kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Multi-disipliner çalışmalarla ilişkilendirilmeye ve güçlendirilmeye çalışılan tarım sektörü, kompleks bir yapıya bürünmüştür. Bu durum özellikle gelişmiş ülkelerde tarım sektöründe , bitki büyümesini de matematiksel modellerle ifade etmeye yöneltince, yetiştiricilik stratejileri ve üretim planları geliştirilerek verimde optimizasyon hedeflenmiştir. Her aşamasının yoğun emek ürünü olduğu, risk alarak ve belirsizliklere gönül koyarak yapılan çiftçiliğin maliyetli ve meşakkatli olduğu tarım sektöründe, değişen koşullara uyumlu gerçekçi gübre programların veya modellerin geliştirilmesi doğal kaynakların, zamanın, enerji ve işgücünün daha etkin ve verimli kullanılabilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu hedef doğrultusunda ; kararlı istikrarlı ve sürdürülebilir çıktılar alabilmek, uzun metrajlı bilimsel çalışmalar veya araştırmaları öngörmektedir.

Hızla artan dünya nüfusuna bağlı olarak tarımsal üretimin artırılması gerekliliği, aşırı tarımsal uygulamaların yarattığı çevresel problemlerin çözümü, bitki besleme ve gübreleme alanında yapılan çalışmalara ve çözüm önerilerine olan ilgiyi ve önemi her geçen gün arttırmaktadır. Nüfus artışı ve tarımsal gıda üretimine gereksinim birlikte düşünüldüğünde, yoğun tarımsal girdi kullanımı az gelişmiş veya gelişmekte olan ülkelerde görülmektedir. Bu gibi ülkelerde bilinçsizce kullanılan kimyasal gübreler, sınırsız, kontrolsüz veya kaçak kimyasal kullanımları doğal kaynaklarımız olan hava, su ve topraklarımızın doğasını bozmakta ve geri dönüşümsüz olarak elimizden kayıp gitmesine neden olmaktadır. Tereddütler yaratan aşırı ve plansız gübre kullanımı zamanımızda toprak ve bitki analizlerinin ve bu bağlamda kontrollü gübre kullanım bilincinin artırılması gerektiğini de öne çıkarmaktadır . Doğru gübreleme yaparak çevre ve insan sağlığına zarar vermeyen, doğal kaynakları ve gıda güvenliğini ve güvencesini teminat altına alan , sürdürülebilir olarak koruyan, tüm aşamaları izlenebilir olarak tarımsal üretim yapan bilinçli üreticiler yaratılmalıdır.

Bitki besleme ve gübreleme konularında sürdürülen çalışmalar ve geliştirilen yeni yöntemler topraktan sofraya kadar sağlıklı ürünlerin yetiştirilebileceğini göstermektedir.

Gübre kullanımı ve tüketiminde çiftçilerin doğru bilgiye ulaşamaması da en önemli problemlerden birisidir. Bilimsel araştırma sonuçları üreticilere ve gübre bayilerine duyurulmalı yani bilgi akışı sağlanmasında gereken özen gösterilmelidir. Bitki besleme ve gübrelemede yeni gelişmeler ve teknikler, gübre-verim-kalite ve çevre ilişkileri, sektörel durum çalışmaları üzerine odaklı stratejilerin geliştirilmesi, doğa ile uyumlu gübreleme planları yapılması ve artan verim ve kaliteye ulaşılması öncelikli hedefler arasında yer alacaktır.

Modern tarımda, bitki besleme stratejileri ne kadar doğru kurgulanırsa, bitkilerin sağlıklı beslenmesi gübre ve kullanım etkinliği de o düzeyde artacaktır. "Ayrıca gübre yönetim sürecindeki başarı, doğru toprak ve bitki örnekleme tekniğini tamamlayan, doğru toprak, bitki, su ve gübre analizleriyle mümkündür. Bu sebeplerle, toprağın kalitesini belirli bir düzeyde tutmak ve sürdürülebilir verimliliğini korumak için, doğru gübre yönetimi kapsamında farkındalık ve duyarlılık oluşturmak amacıyla, paydaşların bir araya gelerek bilgi paylaşımı yapması ve sorunların ortaya konarak çözüm önerilerine çabalanması son derece önemlidir. Geçmişten bugüne Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bilim dalının mensupları olan bilim insanları tarafından her üç yılda bir, çok sayıda kongre düzenlenmiş olup, 2022 yılında düzenlenmesi beklenen Bitki Besleme Kongresi, ülkemizin bazı talihsiz olaylardan (pandemi, depremler, çatışmalar vs) doğrudan veya dolaylı olarak etkilenmesi nedeniyle bir yıl ertelenmiş ve etkinlik, Cumhuriyetimizin 100. yılına ve 5 Aralık Dünya Toprak Gününe denk getirilerek Bu sempozyuma farklı iki anlam katılmıştır. Sempozyum çıktılarının, tarım topraklarımızın verimliliğinin, sağlığının ve doğasının sürdürülebilir olarak korunması adına; tarım bilimcilere, ziraat mühendislerine, tarım aktörlerine, çiftçilerimize yararlı olmasını diliyor, tarımda en önemli girdilerden biri olan gübrelerin yönetimine ilişkin, Karar vericilere aktarılacak olan mesajları içeren sonuç bildirgesinin pratikte de yerini almasını umut ediyorum."

Cumhuriyetin 100. yılında toprağın stratejik ve ulusal önemine dikkat çekilen Sempozyuma büyük özverilerle katılan bilim insanları tarafından hazırladığımız sempozyum sonuç bildirgesinde yer alan önerilerin en kısa zamanda gerçekleştirilmesi ve Ülkemiz Tarımında GIDA MİLLİYETÇİLİĞİ dönemini hedeflediğimiz günümüz koşullarında, tarıma gönül veren herkes için yararlı bir kaynak olmasını ve tüm bilgilerin ilgili kişi ve kurumlara ulaşmasını diler, tarım bilimi camiasına hayırlı olması umuduyla katkısı olan herkese teşekkür ederim.

Bu arada Sempozyumun düzenlenmesinde gerekli onayları veren ve bizlere desteğini esirgemeyen, Atatürk Üniversitesi Rektörü Prof. Dr. Ömer Çomaklı hocamıza sonsuz şükranlarımızı borç biliriz. Sempozyumun düzenlenmesinde, kırtasiye hazırlıklarında KİD çalışanlarına, ve E-KİTAP dizininde emeği geçen Yayın koordinatörlüğüne ve bu hizmetleri üstlenerek destekleyen BAP birimine (Proje ID; 13249, FBS-2023-13249) teşekkürü borç biliriz.

Saygılarımla.

Prof. Dr. Nesrin YILDIZ

Sempozyum Başkanı

Düzenleme Kurulu A.

TAM METİN BİLDİRİLER

YAŞAM KAYNAĞIMIZ VE SESSİZ MÜTTEFİKİMİZ TOPRAĞIN ÖNEMİ

Prof. Dr. Nesrin YILDIZ

Atatürk Üniversitesi. Ziraat Fakültesi. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme AD
nyildiz@atauni.edu.tr ; ORC-ID ; 0000-0002-8179-6228

*O toprak ki, yalnız kanımızla suladığımız geçmişimizin
hâl ve geleceğimizin şeref teminatı değil, aynı zamanda
bugün maddi bütünlüğümüzün de doğrudan doğruya kendisidir.*

Prof. Dr. Kerim Ömer Çağlar, 1964

(Modern Toprak İlminin Ülkemizdeki Kurucusu)



Şekil1. Toprak İlminin Ülkemizdeki Kurucusu Prof. Dr. Kerim Ömer ÇAĞLAR Albümü

Toprağa saygı göstermeden, sağlıklı ve sağlam bir topluma sahip olmak imkansızdır. – Peter Maurin

Özet

Toprak yeryüzündeki yaşamın temelidir. Tarım denince akla gelen ilk yetiştirme ortamı TOPRAK tır. Toprak ve bitki birbirinin vazgeçilmezidir. Toprak Ana en iyi öğretmendir. Toprak dirimizi besler, ölümümüzü saklar, İnsanlık tarihi boyunca toprakla olan ilişkimiz, ürün

yetiştirme becerimizi etkilemiş ve medeniyetlerin başarısını etkilemiştir. İnsanlar, yeryüzü ve gıda kaynakları arasındaki bu ilişki, toprağın tarımın temeli olduğunu teyit etmektedir. Topraklar, bitkilerin büyümesi için gereken besinleri ve suyu sağlar. Karbonun depolanmasında ve suyun filtrelenmesinde önemli bir rol oynar. Sağlıklı toprak, sağlıklı bir gezegen için gereklidir, ancak iklim değişikliği, ormansızlaşma ve endüstriyel tarım gibi çeşitli faktörler nedeniyle zarar görmektedir. Gıda üretiminde topraklar "sessiz müttefiklerimiz'dir". Müttefikler statik değil "dinamikler". Tarım Topraklarımızın güvenliğini sağlayamazsak, gıda güvenliğinden ve sürdürülebilir yaşamdan bahsedemeyiz. Bitkinin yaşamı toprağın elinde, toprağın yaşamı bilinçli insanın elinde, o halde yaşam bizim elimizde diyebiliriz.

Anahtar kelimeler: Toprak, yaşam, sağlık, çevre, kirlilik, müttefik

THE IMPORTANCE OF SOIL AS OUR SOURCE OF LIFE AND SILENT ALLY

Abstract

Soil is the foundation of life on earth. Soil is the first growing medium that comes to mind when it comes to agriculture. Soil and plant are indispensable for each other. Mother Earth is the best teacher. The soil feeds our living, hides our dead. Throughout human history, our relationship with the soil has affected our ability to cultivate crops and influenced the success of civilizations. This relationship between humans, the earth, and food sources affirms soil as the foundation of agriculture. It provides nutrients and water that plants need to grow. It plays an important role in storing carbon and filtering water. Healthy soil is essential for a healthy planet, but it is damaged by a variety of factors, including climate change, deforestation, and industrial agriculture. Soils are our "silent allies" in food production. Allies are not static but "dynamic". If we cannot ensure the security of our agricultural soils, we cannot talk about food security and sustainable life. The life of the plant is in the hands of the soil, the life of the soil is in the hands of the conscious human being, so we can say that life is in our hands.

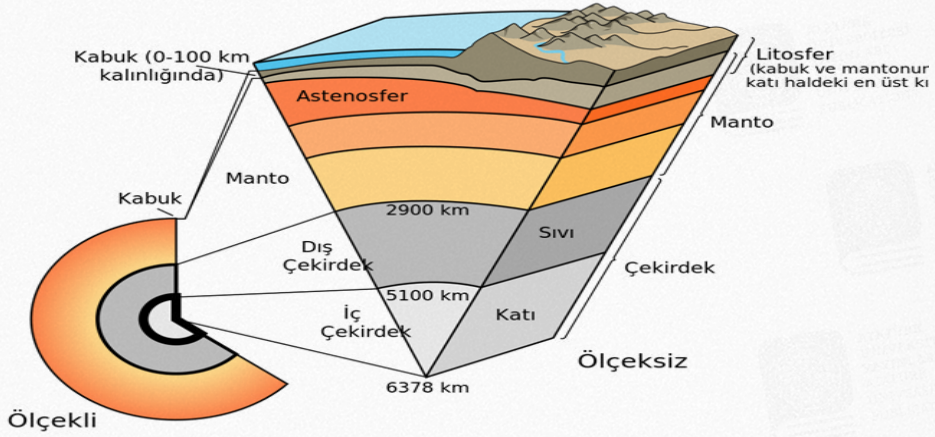
Keywords: Soil, life, health, environment, pollution, ally

Toprak Kavramı, Anlam ve Önemi

Toprağın kavram olarak ilk tanımları, tarım kimyası veya jeolojideki gelişmelere dayanıyordu. Toprak, tarım için geliştirilmeden önce anlaşılması gereken bir üretim faktörü (ortam) olarak görülüyordu veya toprak, organik maddeyle karışmış parçalanmış kayalar olarak tanımlanıyordu. Tanımlar genel anlayış düzeyini yansıtan ilkel nitelikteydi. Toprak değişimi iyi anlaşılmamıştı. Topraklara ilişkin anlayış ve bilgideki bazı büyük değişimlerin ardından 1800'lerin sonlarında kapsamlı toprak tanımları ortaya çıktı. Toprağın tanımı özellikle toprak etüdü ve toprak sınıflandırmasıyla ilgiliydi çünkü toprağın sahada nasıl görüldüğünü ve iki boyutlu bir şekilde (toprak haritaları) nasıl temsil edildiğini etkiledi. Hem Dünya Referans Tabanı (WRB) hem de Toprak Taksonomisi toprağı tanımlamıştır, ancak toprağı tanımlayan standart saha kitaplarında genellikle bir tanım yoktur. Sözlüklerdeki tanımların çoğu, toprağın organik ve inorganik kısmının yanı sıra kökenini, karmaşıklığını ve bazı işlevlerini vurgulayan ayrıntıları kapsamaktadır. Mevcut toprak tanımları, toprak bilimi disiplininin genişlemesini yansıtan daha

çevresel bir bakış açısına sahiptir ancak tanımlar, bilimsel ilerlemeler ve keşifler sonrasında değişecektir. Topraklar alt disiplinlere göre farklı şekilde tanımlanmaktadır. Günümüzde toprak bilimi bölümleri ve araştırma merkezleri dışında önemli araştırmalar yapıyor ve bazı araştırmacılar için toprak, tıpkı 1800'lerin ortalarında olduğu gibi, yalnızca bir ortam olabilir. Toprak biliminde artan uzmanlaşma ve genişlemenin etkisi, araştırmanın ayrıntılarının, toprağın çok daha geniş bir Dünya sisteminin parçası olan karmaşık bir dinamik sistem olduğu fikrinin önüne geçmesine neden olmaktadır (Hartemink, 2016)

Toprak yeryüzünü bir manto gibi örten, pekişmemiş mineral ve organik maddelerden oluşan çok önemli bir doğa ürünüdür (Şekil 2) ve bitkiler ve hayvanlar için de bir yaşam ortamı özelliği taşımaktadır (Mermut, 2021). Topraklar yerkabuğunun biyolojik olarak aktif en dış tabakasıdır ve kalınlığı birkaç santimetreden 10 ila 20 metreye kadar değişebilir. Yerkabuğunun kalınlığı ise 5-40 km arasında olup ortalama 100 km kalınlığında olan litosferin bir bölümünü oluşturur (Şekil 2). Verimli bir toprağın 1 gramında 10 milyondan fazla mikroorganizma bulunmakta olup bu mikroorganizmalar diğer organizmalarla birlikte aktif bir biyojeokimyasal reaktör gibi toprakta dönüşüm olaylarını yönetmektedirler. Daha büyük canlılar olan toprak faunası ise toprağı gevşeterek, karıştırarak ve kümeleştirerek kendi habitatlarını şekillendirmektedirler (Okur, 2021)



Şekil 2. Yerkürenin kesiti (https://tr.wikipedia.org/wiki/D%C3%BCnyaya%27n%C4%B1n_yerkabu%C4%9Fu)

Genel nüfus arasında toprağın anlaşılmasını geliştirmek ve toprak ile aralarındaki bağı geliştirip güçlendirmek için toprağın iki yeni kısa tanımı önerilmiştir. Daha kısa tanım ; TOPRAK - Kimyasal ve biyolojik süreçler ile minerallerin ve organik maddelerin fiziksel organizasyonu sonucu oluşan, karasal ekosistemleri ve insanlığı destekleyen, yer yüzeyindeki katmanlı malzeme. Daha uzun tanım; TOPRAK - Atmosfer, litosfer ve hidrosfer ile etkileşime giren ve karasal ekosistemler içinde çalışan ve onları destekleyen, kimyasal ve biyolojik süreçlerden ve minerallerin ve organik maddenin fiziksel organizasyonundan kaynaklanan, bitkiler, hayvanlar ve insanlık dahil geniş bir biyolojik çeşitliliğe sahip, dünya yüzeyindeki yatay, karışık katı, sıvı ve gaz halindeki (Şekil 3) materyaldir. Her iki tanım da toprağı basit bir materyal olarak değil, ekosistemin ve işleyen bir dünya sisteminin parçası olarak doğal bir cisim olarak ele alıyor. Bu iki tanım, toprağın içindeki konumu, bileşimi ve süreçleri ile toprağın gezegensel işleyişi, ekosistem ve insan varoluşundaki rolünü vurgulamaktadır (McBratney and Hartemink, 2024).

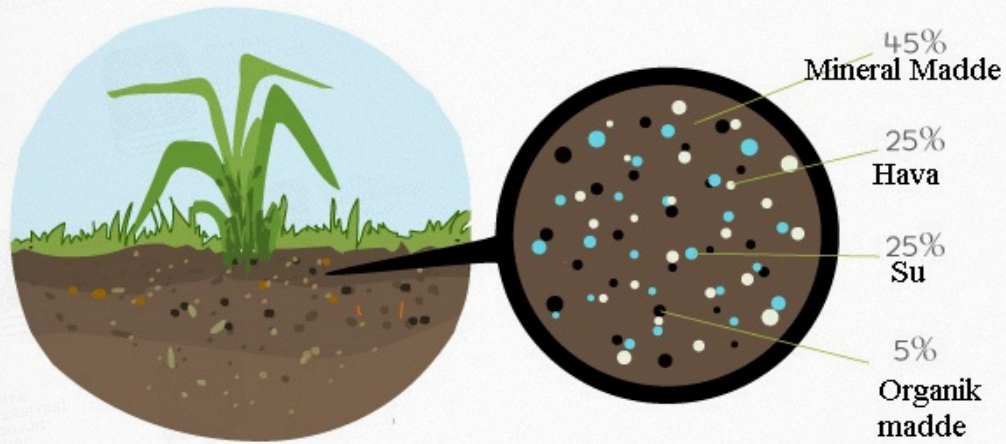
Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

Tanımlar çok kısa ya da eksik olduğu için eleştirilebilir ancak buradaki zorluk, toprak hakkında mümkün olduğunca az kelimeyle çok şey anlatmaktır. Etkili bir tanımın daha geniş bir kitle tarafından benimsenmesi muhtemeldir ve doğru olması koşuluyla genel olarak kabul edilebilir olması beklenir. Bunun toprak güvenliğini iyileştirmesi ve özellikle toprak güvenliğinin önemli boyutlarından biri olan insanlık ile toprak arasındaki bağlantıya katkıda bulunması muhtemeldir (McBratney et al., 2014).



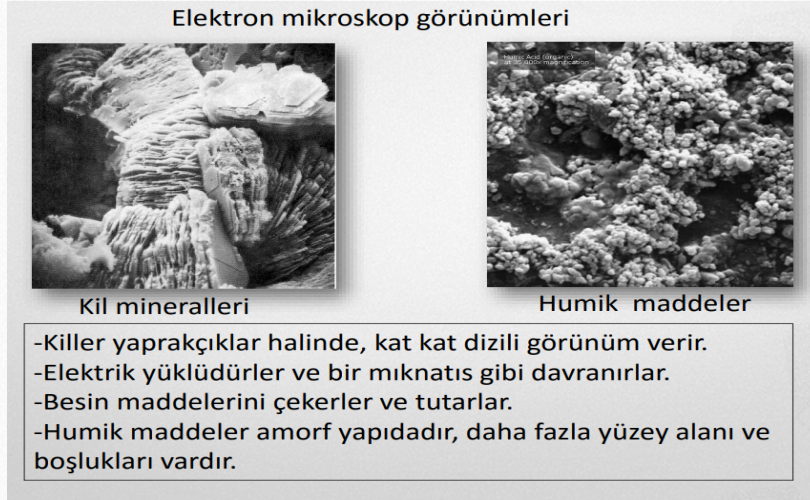
Şekil 3. Toprak oluşumu, bileşenleri ve çeşitliliği (FAO, 2015)

Toprak katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç dilim ya da fraksiyondan oluşan (Şekil 4), çok karmaşık yapıya sahip bir maddedir. Her toprak dilimi, bitki köklerine besin elementi sağlanmasını, kendilerine özgü biçimde etkilerler. Toprak katı dilimi, besin elementlerinin ana deposudur. Katı dilimin inorganik parçacıkları, K, Na, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn ve Co gibi katyonik besin elementlerini içerir. Katı dilimin organik kısmı ise, bitkilere temelde N, P ve S sağlar. Toprak çözeltisi olarak adlandırılan toprak sıvı dilimi toprakta besin elementi taşınması görevini yerine getirir. Toprağın gaz dilimi ise toprak organizmaları ve atmosfer arasında gaz değişimi gerçekleştirir. Bu değişim, canlı toprak organizmalarına O₂ sağladığı gibi, solunumla toprak havasında oluşan CO₂ ve diğer zararlı gazların, toprak ortamından atmosfere atılmasını sağlar (Aydemir ve İnce, 1988).



Şekil 4. Toprağın Bileşenleri (<https://eschooltoday.com/learn/what-is-soil/>)

Toprağın her üç dilimindeki bitki besin elementleri, bir diğeriyle yakın ilişki içindedir. Burada diğeri önemli bir konu toprağın koloidal bir sistem oluşudur (Şekil.4). Koloidal sistemler kavramı, iyon ve su adsorpsiyonu, geçişebilir (diffüzyonla taşınabilir) parçacıklar ve yüzeyler arasındaki tepkimeleri anlatır ve koloidal sistemler, yüzey güçlerinin egemenlik kazandığı çok küçük parçacıklardan oluşan, çapları 10^{-5} ve 10^{-7} nanometre ($\text{nm} = 10^{-9}$ m) arasında değişen parçacıklar içerir ve yüzey güçleri egemen olan sistemlerdir. Bitkiler de koloidal sistemlerdir. Koloidal sistemlerde dispersiyon ortamı sudur ve genel bir kural olarak koloidal parçacıkların elektrik yükü negatiftir. Toprakta dispers faz, kil mineralleri, seskioksitler ve organik maddeden (humik maddeler) oluşurken, bitkide ise protein ve polisakaritlerden oluşur. Koloidal bir sistemin dispers fazını oluşturan parçacıklar süresiz ve dispersiyon ortamı boyunca tek düze bir biçimde dağılmışsa sistem **sol** (Na^+ iyonu gibi hidrate çapı büyük iyonlar strüktürü bozar), dispers faz koagüle olmuşsa sistem **jel** (Ca^{+2} iyonları koagülasyonu sağlayarak toprak strüktürünü iyileştirir) adını alır. Koloidal sistemler, çoğu zaman bu iki biçim arasında dönüşümlüdürler (Aydemir ve İnce, 1988).



Şekil 5. Toprak Kolloidleri (Anonim, 2023)

Çok karmaşık bir yapıya ve davranışa sahip olması nedeniyle bugün bile büyük güçlüklerle karşılaşılmaktadır. Çiftçiler ve toplumun geneli toprakları bitki üreten bir ortam olarak görür ve ürün yetiştirme açısından onlar için özellikleri büyük önem taşır. Jeologlara göre toprak, kayaların ufalanmasıyla oluşan materyaldir. Eğer değeri yüksek bir maden kaynağının üzerinde ise ona göre örtünün kazınarak başka bir yere taşınması gerekir. Hidrologlar toprağı su tutan bir sünger gibi görürler ve ona göre poroziteleri önemlidir. Mühendisler, özellikle günümüzde atık ve kirletici maddelerin depolanmasında kullanılabilecek bir ortam olarak görmektedirler. Bu bakış çevre kirliliği açısından birçok sorunun ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Yapılan çalışmalar toprakların, tüm yeryüzü ekosistemlerinde çok önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Son zamanlarda toprak ekolojisi gelişmekte olan önemli konular arasında yerini almıştır. Bu bakış açısı ve gıda güvenliği yeryüzü kaynaklarının daha uygun bir biçimde kullanılması ve gelecek nesillere de aktarılması bakımından büyük önem taşımaktadır. Toprak organik maddesi biyosferde önemli bir karbon havuzudur ve böylece küresel iklim değişikliği olaylarında hem bağlayan hem de salınım yapan bir kaynaktır. Biz insanlar evlerimizi

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

topraklar üzerinde kurarak yaşamaktayız ve gerçekler çerçevesinde toprakların ölçülü kullanılması ve korunmasına ihtiyaç vardır. Yeryüzünde insan sayısının 2050'lerde 9 milyara ulaşacağı varsayımı; gıda, su, tekstil, lif ve hayvan yemi sağlanabilmesi açılarından topraklar üzerinde bir baskı olacağını göstermektedir. Bilinmelidir ki insanları doyurmak için gereken gıdanın yaklaşık % 95'i topraktan elde edilmektedir. Bu da toprakların insanlık için ne kadar önemli bir kaynak olduğunu göstermektedir. Nitekim 2050'lerde insanların gıda ihtiyacı % 60 oranında artacaktır. Dünya'da yaklaşık toplam 130 milyon km² olan arazinin 49.3 milyon km² si tarımda kullanılabilir niteliktedir ve toplam arazinin % 40'ını oluşturmaktadır. Ancak tarım için kullanılan arazi ancak 14 milyon km² dir (Mermut, 2021). Dünyada mevcut toprak çeşitliliğini gösteren farklı toprak profillerinin sergilendiği müzeden alınan fotoğraf Şekil 5 de görülmektedir.

Geçmişte, büyük medeniyetler sınırları içinde bulunan toprakların yozlaşması ve bozunumunu önleyemedikleri için çökmüşlerdir. Tarımsal üretim zamanımızdan yaklaşık 6 bin- 8 bin yıl önce Nil ve İndus vadilerinde, Dicle ve Fırat ırmakları arasında kalan Mezopotamya'da, Çin'de Sarı ve Yangze ırmakları boyunca yapılmaya başlanmıştır. Yaklaşık 20. Yüzyılın ortalarında agro-kimyasal endüstrilerinin gelişmesiyle, topraklardan beklentinin üstünde ürün alma olanağı doğmuştur. Ancak planlamada ve uygulamada yapılan yanlışlar veya bilinçsiz tüketimler, modern yaklaşımların getirisi yanında birçok sorunları da beraberinde getirmiştir. Bu sorunlar arasında; Yeryüzünde ısının artması, yüzey ve yeraltı suların göllerin, denizlerin ve ekosistemlerin kirlenmesi, sera gazları salınımının artması sayılabilir. Ancak, dogmatik olarak gıdaların bütünüyle organik olarak üretilmesi düşüncesi nüfusun giderek artması ile doğru orantılı değildir. Bu düşünce ile inorganik gübrelere vazgeçme olanağı da yoktur (Mermut, 2021). Zira bitkilerin besinlerini inorganik (mineral) formda tercih ettiği gerçeği ile de ters düşmektedir.



Şekil 6. Dünya Toprakları Posteri (The ISRIC World Soil Museum) Dünyanın dört bir yanından 90 toprak profilinin sergilendiği eşsiz bir müzedir. Toplam ISRIC toprak profili koleksiyonu 1000'in üzerindedir.

2023 Yılıın Teması; “ Toprak ve Su, Yaşam Kaynağımız”

Dünya Toprak Günü, sağlıklı toprağın önemine dikkat çekmek ve toprak kaynaklarının sürdürülebilir yönetimini savunmak amacıyla her yıl 5 Aralık tarihinde düzenlenmektedir. 2023 yılının teması "Bir Yaşam Kaynağı Olarak Toprak ve Su" ele alınmış özellikle bu iki doğal kaynağa yoğunlaşmıştır. Nitekim, hayatta kalmamız toprak ve su arasındaki değerli bağa bağlıdır. Toprak ve su, tüm karasal ekosistemlerin işleyişi için temel öneme sahiptir ve gıdalarımızın yüzde 95'inden fazlası bu iki kaynaktan elde edilmektedir. Bizim ve tüm karasal yaşamın bağlı olduğu tüm bu işlevlerin anahtarı toprak biyoçeşitliliğidir. Şüphesiz toprak biyoçeşitliliği (Solucanlar, termitler, nematodlar, çok çeşitli mantar, protozoa ve bakteriler, bitki kökleri ve onların simbiyotik ortakları) kısacası toprakların gizli yaşamı besin döngüsü, zararlıların ve hastalıkların kontrolü ve iyi toprak yapısının korunması için kritik öneme sahiptir. Ancak ne yazık ki, topraklar ve toprak biyoçeşitliliği tehdit altındadır. Topraklar sıkıştırılıyor, aşındırılıyor, kirletiliyor ve elden çıkıyor. Bunun nedenleri arasında ormansızlaşma, bilinçsiz ve yoğun tarım, aşırı otlama ve kentleşme gibi pek çok faktör yer almaktadır. Bu tehditler acilen ele alınmalı ve gerekli önlemler gözden geçirilmelidir. Bu kapsamda; Kunming - Montreal Küresel Biyoçeşitlilik Çerçevesi, biyoçeşitlilik kaybını durdurmak ve tersine çevirmek ve 2030 yılına kadar doğayı insanların ve gezegenin yararına bir iyileşme yoluna sokmak için herkesin acilen harekete geçmesi için bir plandır. Toprak sağlığı ve suyun akılcı kullanımı dahil olmak üzere doğanın insanlara olan katkılarını restore etme, sürdürme ve geliştirme hedefini içermektedir. Çerçeve, COP 15'te kabul edilen Toprak Sözleşmesi tarafından Biyoçeşitliliğin Korunması ve Sürdürülebilir Kullanımı için güncellenmiş bir Eylem Planı ile desteklenmektedir. Eylem Planının faaliyetleri, daha sürdürülebilir tarım ve gıda sistemlerine geçişi desteklemek için toprak biyoçeşitliliğinin korunması, restorasyonu ve sürdürülebilir kullanımını içermektedir (Anonymous, 2023a).

Gezegimizin hayatta kalması toprak ve su arasındaki değerli bağa bağlıdır. Gıdalarımızın yüzde 95'inden fazlası bu iki temel kaynaktan elde edilmektedir. Bitkiler tarafından besin emilimi için hayati önem taşıyan toprak suyu, ekosistemlerimizi birbirine bağlar. Bu simbiyotik ilişki tarım sistemlerimizin temelini oluşturmaktadır. Ancak, iklim değişikliği ve insan faaliyetleri nedeniyle topraklarımız bozulmakta ve su kaynaklarımız üzerinde aşırı baskı oluşturmaktadır. Erozyon doğal dengeyi bozarak suyun sızmasını ve tüm yaşam formları için kullanılabilirliğini azaltmaktadır. Minimum toprak işleme, ürün rotasyonu, organik madde ilavesi ve örtü ekimi gibi sürdürülebilir toprak yönetimi uygulamaları toprak sağlığını iyileştirir, erozyonu ve kirliliği azaltır ve suyun sızmasını ve depolanmasını artırır. Bu uygulamalar aynı zamanda toprak biyoçeşitliliğini korur, verimliliği artırır ve karbon birikimine katkıda bulunarak iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir rol oynar. Dünya Toprak Günü 2023 (WSD) ve kampanyası, sürdürülebilir ve dirençli tarımsal gıda sistemlerine ulaşmada toprak ve su arasındaki ilişki ve önem konusunda farkındalık yaratmayı amaçlamaktadır. WSD, sadece toprakları kutlamakla kalmayıp aynı zamanda toprak sağlığını iyileştirmek için dünyanın dört bir yanındaki

vatandaşları güçlendiren ve katılımlarını sağlayan benzersiz bir küresel platformdur (Anonymous, 2023b).

2022 Yılıın Teması: “Toprak, Gıdanın Başladığı Yerdir”

Toprağın sağlıklı mahsulleri destekleyebilmesi için, topraktan alınan (sömürülen) ve topraktan çıkan ve geri dönen besin maddeleri arasında bir denge olması gerekir. Bununla birlikte, günümüzde gübrenin aşırı, yetersiz veya yanlış kullanımı besin maddelerini dengesizliği ilk on toprak tehdidinden biri olarak kabul edilmektedir.

Sürdürülebilir olmayan toprak yönetimi, gıda vitamin ve besin içeriğinde ciddi bir düşüşe neden olmuştur. Dünya nüfusunun üçte ikisinden fazlası bir veya daha fazla temel mineralden yoksundur. Üstelik 2050 yılına kadar tarımsal üretimin küresel ölçekte yüzde 60, dünya genelinde ise neredeyse yüzde 100 oranında artması gerekmektedir. gelişmekte olan ülkeler - gıda taleplerini tek başına karşılamak için. Toprak verimliliğinin kaybı düşük ürün verimine yol açmakta ve mahsul kıtlığı, açlık, yetersiz beslenme ve yoksullukla sonuçlanmaktadır. Küresel tarım alanındaki toprakların yaklaşık yüzde 33'ü zaten bozulmuş durumda ve bu eğilim giderek hızlanmaktadır.

Gübreler yoluyla uygulanan azotun yaklaşık yarısı gıda zincirine girerken, geri kalanı çevreye karışarak kaybolmaktadır. Sentetik ve mineral gübre kullanımı son 50 yılda yüzde 50 oranında artmıştır. Azotlu gübreler söz konusu olduğunda bu rakam yüzde 800'e yükselmiş ve çevrede reaktif azot fazlalığına neden olarak yıkıcı sonuçlar doğurmuştur. Bununla birlikte, besin girdilerinin küresel dağılımı eşit değildir ve 30 ülke dünyadaki mineral ve sentetik gübrelerin yüzde 90'ından fazlasını kullanmaktadır. Yüksek oranda gübrelenmiş bölgelerde, besin girdilerinin yüzde 50 ila 60'ı yeraltı sularının, tatlı suların ve kıyı sularının kirlenmesine neden olmaktadır. Diğer taraftan, gübrelerin yetersiz kullanımı toprak sağlığını da büyük ölçüde etkilemekte, toprak organizmalarını büyümek ve besin döngüsünü desteklemek için gerekli besin maddelerine erişimden yoksun bırakmaktadır. Azotlu gübreler dünya nüfusunun yüzde 48'ini beslemekte, ancak özellikle kırılğan ülkelerdeki küçük toprak sahibi çiftçilerin besin takviyelerine erişimi yok ve şu anda gübre fiyatlarında gıda güvenliğini ve çiftçilerin geçim kaynaklarını etkileyen yüzde 300'lük bir artışla karşı karşıyalar. Krize verilecek cevap sadece daha fazla gübre üretimini kolaylaştırmak değil, aynı zamanda gübre kullanım verimliliğini arttırmak ve gübre kullanımını güçlendirmektir. Alternatif besin kaynaklarını teşvik etmek. Sürdürülebilir toprak yönetiminin kullanılması yüzde 58'e kadar daha fazla gıda üretebilir (FAO, 2022)

Besinlerin Referans Kaynağı; Topraklar

Mikroorganizmalar, bitkiler ve hayvanlar gibi insanlar da hayatta kalabilmek için yeterli gıdaya ihtiyaç duyarlar. Ancak temel enerji ve besin maddelerinin sağlanmasının ötesinde, hastalıkların ve zararlı toksik maddelerin alınımının önlenmesi için gıdanın da güvenli olması gerekir. Toprak bize yediğimiz gıdanın yüzde 95 'ini sağlamakla kalmıyor, aynı zamanda Dünya'da yaşamın var olmasını sağlayan neredeyse tüm ekosistem hizmetlerini ve işlevlerini de sessizce bize sağlıyor. İnsanların her gün üzerinde durduğu gezegenin bu ince derisi aynı zamanda suyun temizlenmesinden, filtrelenmesinden ve depolanmasından da sorumludur;

besin maddelerinin geri dönüşümü; iklimi ve selleri düzenlemek; ve karbondioksit ve diğer gazların atmosferden uzaklaştırılması, aynı zamanda Dünya'daki hayvan türlerinin yaklaşık dörtte birine ev sahipliği yapması gibi çok üstün görevlere sahiptir. Bu nedenle. Toprağın sağladığı birçok ekosistem hizmetini gelişmiş gıda üretimi ihtiyacıyla dengelemek, sürdürülebilir toprak yönetiminin temel zorluğudur. Birleşmiş Milletler dokuzuncu yılında, Dünya Toprak Günü'nü kutlarken mottosu "Gıdanın Başladığı Yer Toprak" teması olmuştur. Bu kutlama, sağlıklı toprakların önemi konusunda farkındalık yaratmayı ama aynı zamanda dünya çapındaki vatandaşları topraklar için ayağa kalkmaya teşvik etmeyi amaçlamaktadır (FAO, 2022).

COVID-19 sonrası toparlanmanın zorlukları, devam eden çatışmalar ve iklim değişikliğinin etkisine dair giderek artan kanıtlar nedeniyle bir gıda ve gübre kriziyle karşı karşıya olduğumuz göz önüne alındığında, toprağın savunulması her zamankinden daha önemli olmaktadır. Gıda güvenliği birçok faktörün dikkate alınmasını gerektiren küresel bir hedef olmakla birlikte, toprağın verimlilik durumu tüm tarımsal üretim sistemlerinin üzerine inşa edildiği temel yapı taşıdır. Sağlıklı ve iyi beslenmiş topraklar bunu başarmanın merkezinde yer alıyor.

Gıda güvenliğinin ana boyutlarından biri, toprağın doğal verimliliğinin artırılmasıyla desteklenebilecek yeterli gıda üretimidir. Verimlilik kavramımız zamanla genişledi ve artık toprağın yalnızca gerekli besinleri değil aynı zamanda bitki büyümesi için bir yaşam alanı olarak yeterli kimyasal, fiziksel ve biyolojik koşulları sağlayarak bitki büyümesini destekleme yeteneği olarak kabul edilmektedir.

Toprak, hayatta kalmak için ihtiyaç duyduğumuz besin maddelerini depolamak, yararlı hale gelecek şekle dönüştürmek ve geri dönüştürmek için olağanüstü bir kapasiteye sahiptir ve bu yetenekleri sayesinde yaşamın devam etmesine olanak tanımaktadır. Bitkiler için gerekli olan 18 besin maddesinden 15'i, toprak sağlıklıysa topraktan sağlanır (Şekil 6). Bilindiği gibi, makro ve mikro besinler de dahil olmak üzere temel besin maddelerinin eksikliği, bitkilerin az gelişmesine ve mahsul veriminin ve besin değerinin azalmasına yol açar. Besin açısından yetersiz topraklardan ve mahsullerden elde edilen mikro besinlerin kronik eksikliği, halihazırda dünya çapında 2 milyardan fazla insanı etkileyen gizli açlığa neden oluyor.

Dengeli toprak verimliliğine ulaşmadaki temel zorluk, bitki üretiminde gübrelerin sürdürülebilir rolünü bulmaktır. Gübrelerin aşırı ve yanlış kullanımı, tarım alanlarında zararlı besin fazlalığına yol açmakta ve su kalitesinin bozulması ve su ekosistemlerinin ötrofikasyonu, artan sera gazı salınımı ve toprak kirliliği nedeniyle iklim değişikliğinin şiddetlenmesi mahsul veriminde başarısızlık gibi bir dizi çevre sorununa neden olmaktadır. Dünyanın diğer yerlerinde besin maddelerinin yetersiz tedariki, bitkilerin mevcut besin maddelerini tüketmesine neden oluyor, bu da mahsullerde verimin düşmesine ve mikro besin eksikliklerine yol açıyor.

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)



Şekil 6 Topraklar Gıdanın Başladığı Yerdir (FAO, 2022).

Yani evet, çoğunlukla insan faaliyetleri nedeniyle topraklarımız tehlike altında. Küresel toprakların üçte biri zaten bozulmuş durumda ve bu eğilim 10 tehdit nedeniyle artıyor: rüzgar, su ve toprak işleme nedeniyle toprak erozyonu, toprakta organik karbon kaybı, besin maddelerinin yanlış yönetimi, tuzlanma ve sodifikasyon, toprak kirliliği, sıkışma, asitlenme, toprak kaybı. Toprak biyolojik çeşitliliği ve toprak sızdırmazlığı ve su basması. Tehditlerin ciddiyeti bölgeler arasında farklılık gösteriyor ve asitlenmesi Asya ve Avustralya'da büyük bir tehdittir. Toprak dünyanın en savunmasız kaynaklarından biri haline geldi. Bunların bozulması kırdan kente göçü tetikleyerek yoksulluğa yol açmaktadır. İnsanlar yiyecek veya gelir elde etmek için topraklarını işleyemedikleri için kaçmak zorunda kaldıklarında gıda güvenliği, iklim değişikliğine uyum ve hatta sürdürülebilir kalkınma tehlikeye giriyor. Bu tehditlerin birçoğu insan kaynaklı iklim değişikliğiyle yakından ilişkilidir. Topraklar en büyük karasal karbon havuzunu oluşturur ve dinamik biyojeokimyasal süreçleri ve sera gazlarının (GHG'lerin) atmosferle değişimini düzenleyerek küresel karbon dengesinde önemli bir rol oynar. Toprağın en üst bir metrelik kısmı, tahminen 1.460 milyar ton organik karbon içeriyor; bu, atmosferik karbon miktarının (840 milyar ton) neredeyse iki katı ve bitki örtüsünde depolananın (650 milyar ton) iki katından fazladır. Topraklar sürdürülebilir bir şekilde yönetilirse, bu organik karbon toprakta depolanmaya devam edecek ve hem dayanıklılığın artmasına hem de iklim değişikliğine daha fazla uyum sağlanmasına yardımcı olacaktır. Sürdürülemez bir şekilde yönetilirse, topraklar yalnızca karbondioksit değil aynı zamanda nitroz oksit ve metan gibi daha güçlü sera gazları salarak iklim değişikliğini hızlandıracak. Sağlıklı ve iyi beslenmiş topraklar, gıda güvenliğinin sağlanmasında merkezi öneme sahiptir (Vargas, 2022).

Küresel toprakların yeniden karbonizasyonu, çağın küresel zorluklarına çözüm bulmak için geçerli bir seçenek oluşturmaktadır. Sürdürülebilir şekilde yönetilen topraklar, yıllık olarak küresel tarımsal sera gazı emisyonlarının yüzde 34'ünü dengeleme potansiyeline sahip olup, 0,56 milyar tona kadar karbonu veya 2,05 milyar ton CO₂ eşdeğerini hapsedebilir. Çiftçiler iyi uygulamaları benimserlerse değişimin aracıları olabilirler. Ancak tek başına bu

görevle görevlendirilemezler çünkü bunun gerçekleşmesi için teşviklerin sağlanması ve uygun ortamın sağlanması gerekir. Çiftçilerin ülkeye uyarlanmış, bilimsel ve yerel bilginin birleşiminin sonucu olan sürdürülebilir toprak yönetimi uygulamalarını benimsemelerini desteklememiz gerekiyor. Bu, topraklarımızın dengesini ve uyumunu yeniden sağlayacaktır. Sağlıklı topraklara yatırım yapmak, iklimle ilgili olanlar da dahil olmak üzere birçok fayda sağlar. Verimliliği artıracak, daha sağlıklı gıda üretimini, su depolamayı ve biyolojik çeşitliliğin korunmasını sağlayacak, tarımsal gıda sistemlerini daha sürdürülebilir ve dayanıklı hale getirecek. Sessiz müttefikimiz toprakların sesini yükseltmek her gün yaptığımız bir iş. Ancak şu anda bu önemli kaynağı korumaya ve ideal olarak toprak sağlığını iyileştirmeye yönelik birçok küresel, bölgesel ve ulusal girişimin mevcut olması nedeniyle iyimseriz. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), Küresel Toprak Ortaklığı aracılığıyla sürdürülebilir toprak yönetiminin desteklenmesine öncülük ediyor. Üyeler ve birden fazla paydaş, toprak gönüllülerinden oluşan bir koalisyon olarak birlikte çalışır. Eylemler, normatif araçlar, kapasite geliştirme, toprak bilgisi oluşturma, sahadaki faaliyetleri geliştirme, farkındalığı artırma ve savunuculuk gibi çeşitliliğe sahiptir. Son zamanlarda yapılan birçok sentez çalışması, mevcut sürdürülebilir yönetim tekniklerinin başarılı olduğunu, daha fazla bozulmayı önlediğini ve hatta toprak sağlığını iyileştirdiğini göstermiştir. FAO bu ivmeyi katalize etmeye ve toprakların sürdürülebilir yönetiminin zaman içinde büyümesini sağlamaya kararlıdır. Sürdürülebilir uygulamaları yaygınlaştırmanın ve sürdürülebilir toprak yönetimine yönelik yatırımları artırmanın zamanı geldi. Çocuklarımızın toprağın bize sağladığı olağanüstü hizmetlerden yararlanmaya devam etmesini istiyorsak, buna her zamankinden daha çok ihtiyacımız var. Sonuçta toprak kökenimizin doğasında vardır ve bu nedenle sağlıklı topraklar geleceğimizin mirasını oluşturmalıdır (Vargas, 2022).

Topraklar; Besin Kaynağı olarak Son Teknoloji Konumundadır

Topraklar yeryüzündeki yaşamın temelidir ve toprakların güvenli ve besleyici gıda sağlama kabiliyeti, bize ve bir bütün olarak doğaya yaptıkları önemli bir katkıdır. Gıda olarak tüketilen besinlerimizin yaklaşık yüzde 95'i, mahsulün büyümesini destekleyecek besinleri sağlamak için doğal bir kapasiteye sahip olan topraklardan gelmektedir. Ancak küresel olarak tüm topraklar aynı çeşitte ve düzeyde besin sağlama kabiliyetine sahip değildir. Şu anda besin dengesizliklerine ilişkin zıt bir senaryo ile karşı karşıyayız. Bazı bölgelerde topraklar doğal olarak verimsizdir ve tarımsal kabiliyetleri çok azdır ya da hiç yoktur; diğer bölgelerde ise toprak bozulması verimliliği azaltmıştır. Her iki durumda da topraktaki besin eksikliği nedeniyle mahsul büyümesi azalmaktadır. Öte yandan, yanlış yönetim yoluyla aşırı besin maddesi ilavesinin toprak, hava ve su kirliliğine ve ciddi karasal ve sucul biyoçeşitlilik etkilerine yol açtığı topraklar da vardır. Bu son derece zıt besin dengesizliği senaryolarının her ikisi de gıda güvensizliğine katkıda bulunur ve çevresel veya ekonomik olarak sürdürülebilir veya sosyal olarak adil değildir; her ikisi de bizi küresel iklim değişikliğini ve sera gazı emisyonlarını şiddetlendiren bir yola sokar. Her yıl artan uygulama oranıyla 2020 yılında 195 milyon ton gübre uygulanmış olsa da açlık 768 milyon insanı etkilemeye devam etmiştir (FAO, 2022). Besin dengesizliği, gıda üretimini, kalitesini ve güvenliğini doğrudan etkilediği için gıda güvenliğine giden yolda önemli bir engeldir. Gıda güvenliğinin ana boyutlarından biri, toprak verimliliğinin iyileştirilmesiyle desteklenebilecek yeterli gıda üretimidir. Toprak verimliliği, toprağın bitki büyümesi ve ekosistem hizmetlerinin sürdürülmesi için bir habitat olarak temel besin

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

maddelerini ve yeterli kimyasal, fiziksel ve biyolojik koşulları sağlayarak bitki büyümesini destekleme yeteneğidir (FAO, 2015). Makro ve mikro besinler de dahil olmak üzere temel besin maddelerinin eksikliği, bitkilerin az gelişmesine, verimin ve mahsulün besin değerinin düşmesine neden olur.

Bitki besin maddesi alımını ve dengesini artırmaya odaklanan çabalar ve yatırımlar ve Nihayetinde, topraklar sağlıklı değilse insan ve hayvan beslenmesinde kayıplar yaşanabilir. Topraklar ne zaman sıkıştırılmış, aşınmış, besin maddesi ve toprak organik maddesi (SOM) tükenmiş veya kirleticiler, asitler veya tuzlarla kirlenme nedeniyle kimyasal toksite sorunları varsa, bunlar insan sağlığı için gerekli besin maddelerini içeren gıdalar üretememekte, hatta gübre uygulamasıyla eklenen besin maddelerini özümseyememektedir. Artan nüfus için gıda üretimini artırma ihtiyacı tartışılmaz olsa da, odak noktası sadece daha fazla gıda üretmek değil, aynı zamanda daha iyi gıda üretmek olmalıdır. Sürdürülebilir toprak yönetimi (SSM), besin maddelerini korumak ve artırmak için gereklidir. Toprakta, bitkilerde, hayvanlarda ve insanlarda besin içeriği. Besin açısından zengin temel ürün çeşitlerinin toprak sağlığı ile birlikte kullanılması, özellikle temel ürünlerin beslenme çeşitliliğini teşvik eden ve besin döngüsünü ve biyolojik çeşitliliği geliştiren yerli türler veya baklagiller gibi diğer türlerle birlikte veya dönüşümlü olarak yetiştirilmesi durumunda, yetersiz beslenmenin azaltılması için teknolojik bir ilerlemeyi temsil etmektedir. Besin dengesizliği aynı zamanda çevresel bozulmanın ve sera gazı emisyonlarının da önemli bir itici gücüdür. Gübre eklenmesi tarımsal üretim için tartışılmaz faydalar sunsa ve doğru kullanımları SOM ve toprak sağlığının artmasına katkıda bulunabilse de, gübrelerin yanlış ve aşırı kullanımı küresel iklim değişikliğini, toprak ve su kaynaklarının bozulmasını artırmakta ve insan, hayvan ve toprak sağlığına zarar vermektedir. Bazı mineral gübrelerin ve geri dönüştürülmüş besin kaynaklarının kullanımıyla ilgili artan bir endişe de bunların kalitesi ve güvenliğidir. Zararlı mikroplar ve ağır metal içeriği, ciddi ve kalıcı çevre kirliliğine neden olabilir ve önemli insan sağlığı sorunlarına yol açabilir. Toprak verimliliğinin korunması, gübre çıkarma ve işlemeden kaynaklanan çevre kirliliğinden sorumlu olmamalıdır. Buna ek olarak, gübre üretimi için madencilikten kaynaklanan mineral rezervlerinin tükenmesi, toprak besin maddelerinin verimli, güvenli ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasının aciliyetini vurgulamaktadır (FOA, 2022)

Gezegemimizin hayatta kalması toprak ve suyun birbirine bağılılığı ile mümkündür. Ayaklarımızın altındaki bu görünmez evren, gıda üretimimizde son derece önemli bir rol oynuyor ve Birleşmiş Milletler'e (BM) göre tükettiğimiz gıdanın şaşırtıcı bir şekilde % 95'ine katkıda bulunuyor. Sağlıklı topraklar küresel gıda sisteminin temelini oluşturduğundan, toprağın bir kaynak olarak sınırlı doğasını ve iklim değişikliğine çözüm olma potansiyelini kabul etmek çok önemlidir. Bu yıl Dünya Toprak Günü, sürdürülebilir tarımsal gıda sistemlerinin geliştirilmesinde toprak ve su arasındaki karşılıklı bağımlı ilişkiye dair farkındalık yaratmayı amaçlıyor (Behr, 2023).

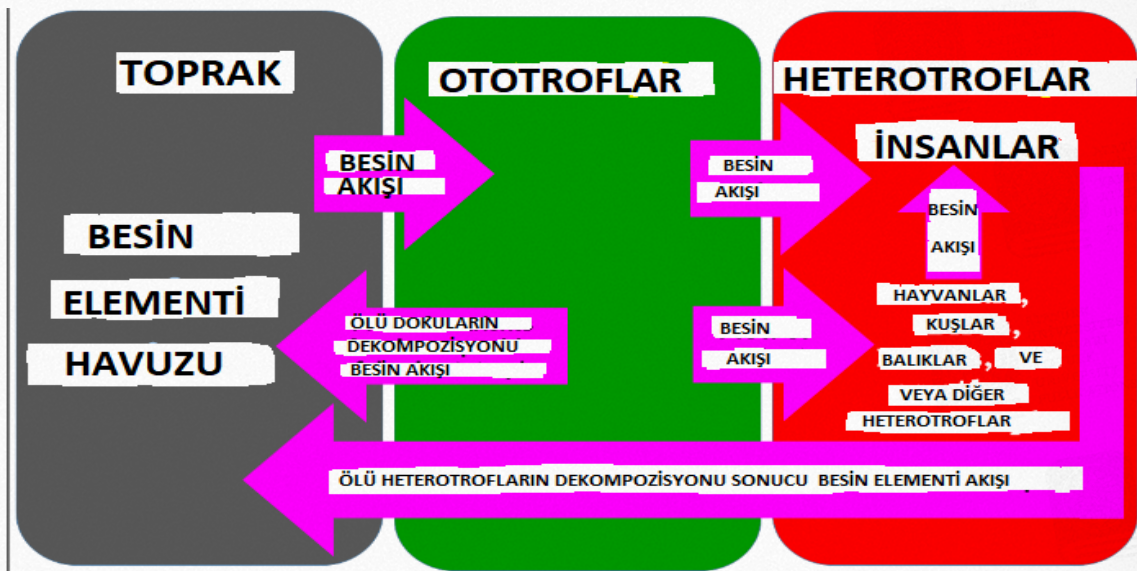
Ekosistemlerimizin hassas dengesi, iklim değişikliği ve insan faaliyetlerinden kaynaklanan önemli tehditlerle karşı karşıyadır ve bunun sonucunda hem toprak hem de su kaynakları bozulmaktadır. Bu bozulmanın geniş kapsamlı sonuçları vardır; gıdalarımızın besin bileşimini, topraktaki organik karbon seviyelerini, biyolojik çeşitliliği, mahsul verimini, mahsul kıtlığı örneklerini, besin dengesizliklerini, kirliliği, tuzluluğu ve suyun genel kalitesini ve miktarını etkiler. Gıda ve Tarım Örgütü'ne (FAO) göre, küresel

toprakların yaklaşık % 33'ü zaten bozulmuş durumda ve % 90'dan fazlası 2050 yılına kadar bozulmayla karşı karşıya kalabilir. Ayrıca, her yıl tahminen 24 milyar ton verimli toprak sürdürülemez hale gelmesine neden olan, erozyon nedeniyle kayboluyor. Toprak yönetimi uygulamaları, zamanla toprak sağlığı ve verimliliğinde önemli bir düşüşe yol açmaktadır.

Küresel Sürdürülebilir Kalkınmada Toprağın Rolü

Toprak bozulması: Sürdürülebilir kalkınmayı tehlikeye sokan küresel bir sorun yediğimiz yiyecekler vücudumuzu besleyecek besinleri sağlar. Dünya nüfusu hızla artıyor ve artan talebi karşılamaya yetecek kadar gıda sağlamak büyük bir zorluk olacak. Birleşmiş Milletler'in en son tahmini, 2030 yılında dünya nüfusunun yaklaşık 8,5 milyar olacağını ve beklenen talebi karşılayabilmek için o zamana kadar tarımsal verimliliği iki katına çıkarmamız gerektiğini gösteriyor. Tarımsal üretkenliğin tamamı ve gıda güvenliğimiz büyük ölçüde toprağın sağlığına bağlıdır.

Aslında toprak; besinlerimizi, suyumuzu, iklimimizi, biyoçeşitliliğimizi ve yaşamımızı sağlamanın temelidir (Şekil 7). Ancak topraklar büyük ölçüde ihmal edilmiştir. Ormansızlaşma, sentetik gübrelerin yaygın kullanımı, madencilik, toprak erozyonu ve hızla artan kentleşmenin neden olduğu hasar başlıca endişelerdir. Çünkü tüm bu toprak tahrip edici faaliyetler iklim açısından nötr değildir. Uluslararası toplum, insanları toprakla buluşturmak ve toprağın hayatımızdaki kritik önemi konusunda farkındalık yaratmak amacıyla her yıl 5 Aralık'ı 'Dünya Toprak Günü' olarak kutluyor. Bu makalenin amacı, toprak korumanın önemini ve koruma ve restorasyon faaliyetlerine başlama ihtiyacını vurgulamaktır. Sürdürülebilir kalkınma hedefleri (SDG'ler) akılda tutularak, toprak sağlığının tarımsal verimliliğin sürdürülebilir bir şekilde artırılmasındaki rolü ve küresel sürdürülebilir kalkınmadaki önemi de vurgulanmaktadır (Bhore ve. Marimuthu, 2016).



Şekil 7. Besin Elementi Havuzu Olarak , Besin Akışını Ve Toprakların önemini Gösteren Şematik Diyagram

Yaşam kaynağı toprak ve su

Gezegimizin hayatta kalması toprak ve su arasındaki değerli bağlantıya bağlıdır. Gıdamızın yüzde 95'inden fazlası bu iki temel kaynaktan geliyor. Bitkiler tarafından besin emilimi için hayati önem taşıyan toprak suyu, ekosistemlerimizi birbirine bağlar. Bu simbiyotik ilişki tarımsal sistemlerimizin temelidir. (Şekil.8)



Şekil 8. Toprağın sağlığı ile suyun kalitesi ve mevcudiyeti birbiriyle bağlantılıdır. Fotoğraf: Hatia/Adobe Stock

Ancak iklim değişikliği ve insan faaliyetleri karşısında topraklarımız bozuluyor ve su kaynaklarımız üzerinde aşırı baskı oluşuyor. Erozyon doğal dengeyi bozarak suyun sızmasını ve tüm yaşam formlarının kullanılabilirliğini azaltır. Minimum toprak işleme, ürün rotasyonu, organik madde ilavesi ve örtü bitkisi ekimi gibi sürdürülebilir toprak yönetimi uygulamaları, toprak sağlığını iyileştirir, erozyonu ve kirliliği azaltır ve suyun sızmasını ve depolanmasını artırır. Bu uygulamalar aynı zamanda toprağın biyolojik çeşitliliğini koruyor, verimliliği artırıyor ve karbon tutumuna katkıda bulunarak iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir rol oynuyor. Dünya Toprak Günü 2023 (WSD) ve kampanyası, sürdürülebilir ve dayanıklı tarımsal gıda sistemlerine ulaşmada toprak ve su arasındaki ilişki ve önem konusunda farkındalık yaratmayı amaçlıyor. WSD, yalnızca toprakları kutlamakla kalmayıp aynı zamanda dünya çapındaki vatandaşları toprak sağlığını iyileştirme konusunda güçlendiren ve etkileşime geçiren benzersiz bir küresel platformdur. Gıda toprakla başlar ve Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine ulaşma hedefi yaklaştıkça, toprağın bozulmasını tersine çevirmek ve bunun tarım-gıda sistemleri üzerindeki etkileriyle mücadele etmek her zamankinden daha acil hale geliyor (Bhore ve Marimuthu, 2016).

Toprağın su kalitesine etkisi

Toprağın kalitesinin hem su temini hem de su kalitesi üzerinde doğrudan etkisi olduğu göz önüne alındığında bu daha da önemlidir. Organik humusun toprakta birikmesi, yoğun yağışlar sırasında üst toprak erozyonunu azaltarak ve kuraklık dönemlerinde suyun tutulmasını artırarak dengeleyici bir güç görevi görür. Üstelik sağlıklı toprak, doğal bir filtre görevi görerek toprağa nüfuz eden suyun arıtılmasında ve depolanmasında önemli bir rol oynar. Bu doğal filtreleme işlemi yalnızca su kalitesini korumakla kalmaz, aynı zamanda

su kaynaklarının yenilenmesine de önemli ölçüde katkıda bulunur. Sürdürülebilir toprak yönetimi uygulamalarının benimsenmesi yalnızca toprak sağlığını geliştirmekle kalmaz, aynı zamanda gıdanın besin değerini de yükseltir, gıda güvenliğini artırır, biyolojik çeşitliliği teşvik eder ve karbon depolama yoluyla iklim değişikliğinin azaltılmasına katkıda bulunur (Behr, 2023).

Toprak kirliliği

"Toprak kirliliği", hedeflenmeyen herhangi bir organizma üzerinde olumsuz etkileri olan, normalden yüksek konsantrasyonda ve/veya yerinde olmayan bir kimyasalın veya maddenin toprakta bulunması anlamına gelir. Toprak kirliliği genellikle doğrudan değerlendirilemez veya görsel olarak algılanamaz, bu da onu gizli bir tehlike haline getirir. Dünya Toprak Kaynaklarının Durumu Raporu (SWSR), toprak kirliliğini küresel toprakları ve onlar tarafından sağlanan ekosistem hizmetlerini etkileyen ana toprak tehditlerinden biri olarak tanımlamıştır. Toprak kirliliğine ilişkin endişeler her bölgede artmaktadır. Kısa bir süre önce Birleşmiş Milletler Çevre Asamblesi (UNEA-3), toprak kirliliğinin ele alınması ve yönetilmesi için makro düzeyde eylem ve işbirliği çağrısında bulunan bir kararı kabul etmiştir. 170'ten fazla ülke tarafından sağlanan bu fikir birliği, toprak kirliliğinin küresel önemini ve bu ülkelerin bu büyük tehdidin nedenlerini ve etkilerini ele almak için somut çözümler geliştirme istekliliğinin açık bir işaretidir. Toprak kirliliğinin başlıca antropojenik kaynakları, endüstriyel faaliyetlerde kullanılan veya yan ürün olarak üretilen kimyasallar, evsel, hayvansal ve belediye atıkları (atık su dahil), tarım kimyasalları ve petrol türevi ürünlerdir (Şekil 9). Bu kimyasallar, örneğin petrol sızıntıları veya çöp sahalarından sızıntı gibi kazara veya gübre ve pestisit kullanımı, arıtılmamış atık su ile sulama veya kanalizasyon çamurunun araziye uygulanması gibi kasıtlı olarak çevreye salınmaktadır. Toprak kirliliği ayrıca eritme, nakliye, pestisit uygulamalarından kaynaklanan sprey sürüklenmesi ve birçok maddenin eksik yanmasının yanı sıra atmosferik silah testleri ve nükleer kazalardan kaynaklanan radyonüklid birikiminden de kaynaklanmaktadır (Eugenio ve ark. 2018).



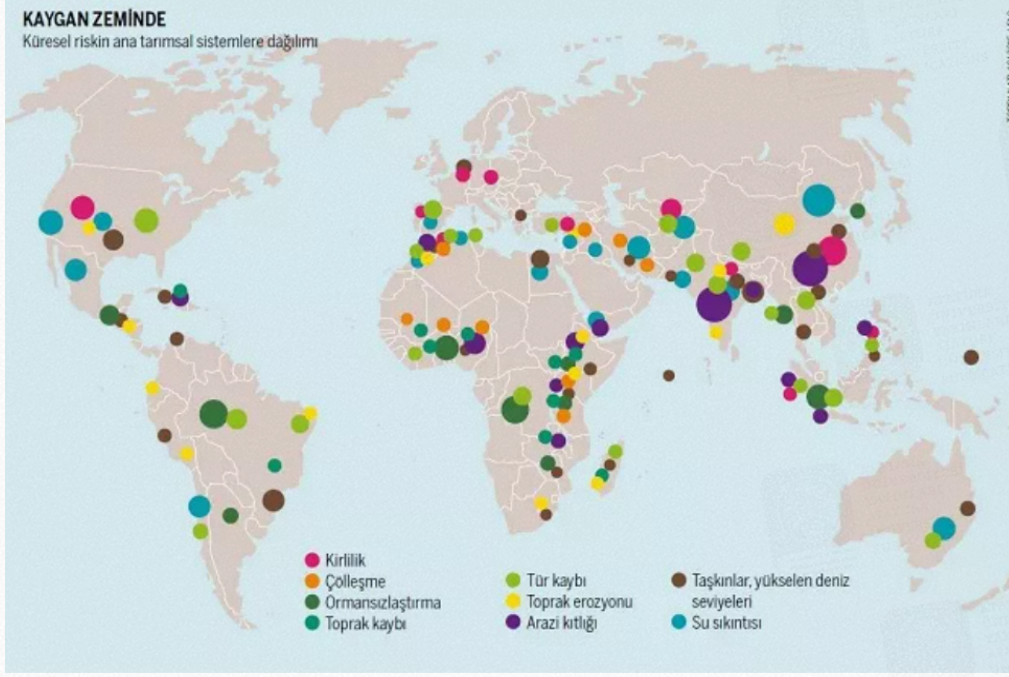
Şekil9. Toprağı kirlüten etmenler (<https://www.yesilgrupenerji.com/toprak-kirliligi-nedenleri>)

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

Diğerlerinin yanı sıra farmasötikler, endokrin bozucular, hormonlar ve toksinler gibi yeni ortaya çıkan kirleticiler ve topraktaki bakteri ve virüsleri içeren mikro kirleticiler gibi biyolojik kirleticiler hakkında yeni endişeler ortaya çıkmaktadır. Bilimsel kanıtlara göre, toprak kirliliği toprağın sağladığı başlıca ekosistem hizmetlerini ciddi şekilde bozabilir. Toprak kirliliği, hem toksik seviyelerdeki kirleticiler nedeniyle mahsul verimini düşürerek hem de kirlenmiş topraklardan üretilen ürünlerin hayvanlar ve insanlar tarafından tüketilmesinin güvenli olmamasına neden olarak gıda güvenliğini azaltır. Birçok kirletici madde (azot ve fosfor gibi ana besin maddeleri dahil) topraktan yüzey sularına ve yeraltı sularına taşınarak ötrofikasyon yoluyla büyük çevresel zarara ve kirli içme suyu nedeniyle doğrudan insan sağlığı sorunlarına neden olmaktadır. Kirleticiler ayrıca toprak mikroorganizmalarına ve toprakta yaşayan daha büyük organizmalara doğrudan zarar verir ve dolayısıyla toprak biyoçeşitliliğini ve etkilenen organizmalar tarafından sağlanan hizmetleri etkiler. Bilimsel araştırmaların sonuçları, toprak kirliliğinin insan sağlığını doğrudan etkilediğini göstermektedir. İnsan sağlığına yönelik riskler arsenik, kurşun ve kadmiyum gibi elementlerden, PCB'ler (poliklorlu bifeniller) ve PAH'lar (polisiklik aromatik hidrokarbonlar) gibi organik kimyasallardan ve antibiyotikler gibi farmasötiklerden kaynaklanan kirlenmeden kaynaklanmaktadır. 1986'daki Çernobil felaketinden kaynaklanan radyonüklidlerin yaygın toprak kirliliğiyle ilişkili sağlık riskleri birçok insan için kalıcı bir anıdır. Kirlenmiş toprakların iyileştirilmesi esastır ve araştırmalar yeni, bilime dayalı iyileştirme yöntemleri geliştirmeye devam etmektedir. Risk değerlendirme yaklaşımları tüm dünyada benzerdir ve toprağın kirlenmesinden doğal veya insan kaynaklı maddelerin sorumlu olup olmadığını ve bu kirliliğin çevre ve insan sağlığı için ne ölçüde risk oluşturduğunu belirlemek ve değerlendirmek için atılması gereken bir dizi adımdan oluşur. Kimyasal inaktivasyon veya depolama sahalarında tutma gibi giderek daha pahalı hale gelen fiziksel iyileştirme yöntemlerinin yerini, gelişmiş mikrobiyal bozunma veya fitoremediasyon gibi bilime dayalı biyolojik yöntemler almaktadır. FAO'nun Gözden Geçirilmiş Dünya Toprak Şartı, ulusal hükümetlerin toprak kirliliğine ilişkin düzenlemeleri uygulamasını ve kirleticilerin toprakta belirlenen seviyelerin ötesinde birikmesini sınırlandırmasını tavsiye etmektedir (Eugenio ve ark. 2018).

1960'larda piyasaya sürülen Yeşil Devrim, tropik kuşaktaki toprakların daha yoğun kullanımına öncülük etti. Yüksek verimli çeşitler, gübreler, tarım ilaçları ve sulama birim başı alınan ürün miktarını arttırdı. Ekilebilir alan kıtlığı fosil yakıt kullanımıyla giderilmeye çalışıldı. Fakat bu tür bir sürdürülemez tarımın sınırları görmezden gelindi. Bütün bu sorunlar yeni bin yıla girerken endüstriyel tarımın sebep olduğu ekolojik yıkımın bariz kanıtlarını gözler önüne serdi. Şimdiyse arazi kıtlığı yine ve bu kez küresel açıdan ortaya çıkmaya başlıyor. Her yerde gıdaya, hayvan yemine ve biyoyakıtlara olan talep artıyor. Tüketiciler birbirleriyle rekabet etmeye başlıyor. Şehirler ve kasabalar şimdilik dünyadaki arazilerin sadece % 1-2'sini kaplıyor. 2050 yılına geldiğimizde % 4-5'ini kaplayacak. 250 milyon hektardan 420 milyon hektara çıkacak. Ekim yapılan alanlar daralacak, ormanlar kesilmek zorunda kalacak, meralar dümdüz edilecek. 1961 ve 2007 yılları arasında ekilebilir alanların kapladığı alan % 11 oranında, yani 150 milyon hektar arttı. Eğer tarımsal ürünlere talep günümüzdeki gibi artmaya devam ederse 2050 yılında yaklaşık 320 milyon ila 850 milyon hektar fazladan ekilebilir alana ihtiyaç duyacağız.

Artan arazi talebi değişik kullanıcı grupları arasındaki gerilimi de yükseltiyor. Toprak cazip bir yatırım aracı. İyi getiri sağlayan ve giderek daha zor bulunur hale gelen bir meta. Dünya çapında 500 milyondan fazla küçük çiftçi, çoban ve yerel insanın yegâne geçim kaynağı. İnsanlar kendilerini topraklarıyla özdeşleştiriyor. Onlar için toprak, kültürel ve hatta ruhani bir değere sahip. Özellikle de sosyal güvenlik mekanizmalarına erişimin yaygın olmadığı ülkelerde toprağa erişim hayatta kalmanın başlıca şartı. Ama toprak üzerindeki bireysel ve müşterek haklar giderek daha fazla tehdit ediliyor (Şekil.10).



Şekil 10. Küresel riskin ana tarımsal sistemlere dağılımı

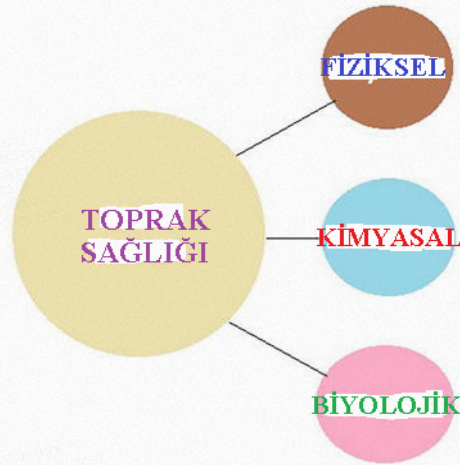
Artan talep ayrıca ekosistemlere de zarar veriyor. Araziler insanca, yani kaliteyi, çeşitliliği ve verimliliği koruyan bir biçimde nadiren kullanılıyor. Tarım ne derece yoğun yapılırsa çevreye verilen zarar da o kadar fazla oluyor. Bu da yerin altındaki ve üstündeki biyolojik çeşitliliğin azalmasına yol açan temel sebep. Her yıl yaklaşık 13 milyon hektarlık orman kesilip yok ediliyor; 200 yılından bu yana dünyanın en yaşlı ormanlarının 40 milyon hektarlık kısmı yok oldu. Verimli topraklar mahvediliyor, çöller genişliyor ve binlerce yıldır toprakta depolanan karbon, sera gazı olarak atmosfere salınıyor (Chemnitz, 2015).

İklim Değişikliğinin Azaltılmasında Toprak Sağlığının Rolü

Toprak sağlığı, iklim değişikliğinin hafifletilmesinde önemli bir rol oynamaktadır; topraklar, karbonun tutulması ve atmosferdeki sera gazı emisyonlarının azaltılması için ana rezervuardır. Kötü yönetilen veya sürdürülemez uygulamalarla işlenen topraklarda karbon, CO₂ formunda atmosfere salınarak iklim değişikliğine katkıda bulunabilir. Ormanların ve meraların tarım arazisine dönüştürülmesi topraktan büyük miktarda karbon kaybına yol açmıştır. Bozulmuş toprakların restorasyonu ve koruma uygulamalarının kullanılması, sera gazı emisyonlarının azaltılmasını, karbon depolama kapasitesinin artırılmasını ve iklim değişikliğine karşı dayanıklılığın sağlanmasını belirleyecektir. Toprak sağlığı,

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

“Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri ve Yeşil Anlaşma doğrultusunda toprağın ekosistem hizmetlerini desteklemeye devam eden kapasitesi” (AB Misyonu Toprak) olarak tanımlanmaktadır. Bu yadsınamaz ekolojik, ekonomik ve sosyal role rağmen, toprak sağlığını korumaya yönelik bütünsel anlayış ve uygulamaya yönelik öneriler hala sınırlıdır. İklim değişikliği, arazi kullanımı ve sürdürülebilir arazi yönetimine ilişkin tartışmalar, tüm endüstriyel sektörlerde büyük zorluklar yaratmaktadır. Toprağın hayati rolü yalnızca güvenli gıda üretimi değil, aynı zamanda sağlıklı ekosistemler ve insan refahı ile de ilgilidir. Tüm canlı organizmaları destekleyen, canlı ve hayati bir ekosistem olarak işlev görme yeteneğinin devam etmesi olarak toprak sağlığı, tarım biliminin politika, paydaş ihtiyaçları ve sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi ile birbirine bağlanması yoluyla korunur. Her ne kadar toprak sağlığı bitkisel üretime odaklanmış olsa da su kalitesi, insan sağlığı ve iklim değişikliğinin yoğunluğunda da bulunuyor (Radulov and Berbecea, 2023). Bununla birlikte, toprak biyolojik çeşitliliğinin öneminin giderek daha fazla takdir edilmesine rağmen, toprak sağlığının niceliksel eştirilmesinde hala kimyasal göstergeler hakimdir (Şekil 11).



Şekil 11. Toprak sağlığı diyagramı.

Yetersiz ve sürdürülemez yönetim uygulamaları, endüstriyel kirlenme, toprak sıkışması, hava kirliliği ve iklim değişikliğinin bir sonucu olarak Avrupa'da ve aynı zamanda dünya çapında toprak bozulması, çevresel etkilerle bağlantılıdır. AB'deki toprakların yaklaşık % 60-70'i sağlıklı ve çeşitli bozulma biçimlerine sahip. Tarımda kimyasal gübre ve pestisitlerin uygunsuz kullanımı, dengesiz ürün rotasyonu ve yoğun makineleşme ile toprağın bozulmasına neden olmaktadır. Bu faktörler toprağın çeşitli özelliklerini etkiler ve toprağın organik madde döngüsü, besin döngüsü, agregat oluşumu ve patojenlerle ve zararlılarla mücadeledeki işlevlerinin yerini alamaz. Tarımda kimyasalların akılcı olmayan kullanımı, çevresel faktörlerin (toprak, su, hava) kirlenmesine ve hedef dışı bitkilere, böceklere, kuşlara, memelilere ve amfibilere zarar vererek biyolojik çeşitliliğin azalmasına büyük ölçüde katkıda bulunur. Toprak erozyonu, sıkışması, kirlilik, tuzluluk ve iklim değişikliği Avrupa'da ve dünyada toprak sağlığı sorunlarını artırmaktadır. İklim değişikliğinin tarımsal üretimin gelişimi, toprak kalitesi, hayvan yetiştiriciliği ve hastalıklar üzerinde doğrudan ve dolaylı etkiler yoluyla tarım üzerinde çok büyük bir etkiye

sahip olacağı tahmin edilmektedir. Sağlıklı topraklar, karbon içeriğini koruyarak veya artırarak ve sera gazı emisyonlarını azaltarak iklim değişikliğine karşı direnci artırmak için gereklidir. Karbonun topraktan atmosfere salınması arazi bozulmasına yol açarak iklim değişikliğine de katkıda bulunuyor. Toprak sağlığının sürdürülebilir yönetimi ve bakımı, kasırgalar, sel ve kuraklık gibi aşırı hava olaylarına karşı dayanıklılığın artırılmasında temel faktörlerdir (Radulov and Berbecea, 2023).

Avrupa'da ve dünya çapında toprak bozulması, tarım ve ormancılıktaki yetersiz ve sürdürülemez yönetim uygulamalarının, endüstriyel kirlenmenin, toprağın sızdırmaz hale getirilmesinin, hava kirliliğinin bir sonucu olup, iklim değişikliği üzerinde büyük etkiye sahiptir. Artan gıda talebini karşılama baskısı ve sürdürülemez tarım uygulamaları; örneğin yoğun toprak işleme tekniklerinin kullanılması, tarım arazilerinin terk edilmesi ve ihmal edilmesi, monokültür ekimi, gübre, gübre ve böcek ilacı formundaki kimyasalların uygulanması Toprak sağlığı üzerinde etkiye sahip olup toprakların sıkışmasına, bozulmasına veya kirlenmesine, mikrobiyal aktivitenin azalmasına, besin maddelerinin biyoyararlılığının azalmasına veya sızıntı veya buharlaşma yoluyla kaybına neden olur. Sürdürülebilir tarımın ana faktörlerinden biri, iklimsel ve antropojenik faktörlerin toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerindeki etkisiyle belirlenen toprak kalitesidir. Toprak kalitesinin bozulması mevcut tarımsal arazi yönetimi uygulamalarının bir sonucudur, ancak sürdürülebilir toprak yönetimi, organik topraklardan antropojenik emisyonları ortadan kaldırarak ve mineral topraklarda depolanan karbon miktarını artırarak iklim nötrlüğüne ulaşmaya önemli ölçüde katkıda bulunabilir. Aşırı gübre kullanımı beslenme dengesizlikleri yaratarak su ve hava kirliliğine yol açarak çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir. Ancak toprağa yetersiz miktarda besin uygulanması, toprağın organik madde içeriğini ve verimliliğini azaltarak mikrobiyal aktiviteyi olumsuz yönde etkileyebilir. Sağlıklı bir toprak ekosistemini sürdürmek için sürdürülebilir bir toprak yönetimi gereklidir; yani toprağın organik madde içeriğinin artırılması, toprak yüzeyindeki bitki örtüsünün korunması, gübrelerin akılcı kullanımı, ekim rotasyonunun uygulanması, hasat sonrası sürüm işleminin ortadan kaldırılması. Bu zorluklarla ilgilenen Yeşil Anlaşma, özellikle Döngüsel Ekonomi Eylem Planı, Tarladan Sofraya ve Avrupa Birliği'nin Biyoekonomi stratejileri, ekolojik dönüşüm ve tarımın iklim değişikliğinin zorluklarına sürdürülebilir adaptasyonu için iddialı hedefler koyuyor. 2030 yılına kadar gübre kullanımı % 20, kimyasal ilaç kullanımı ise % 50 oranında azaltılacak. Aynı zamanda besin kayıplarının % 50 oranında azaltılması ve toprağın verimliliğinin bozulmaması sağlanacak (Radulov and Berbecea, 2023).

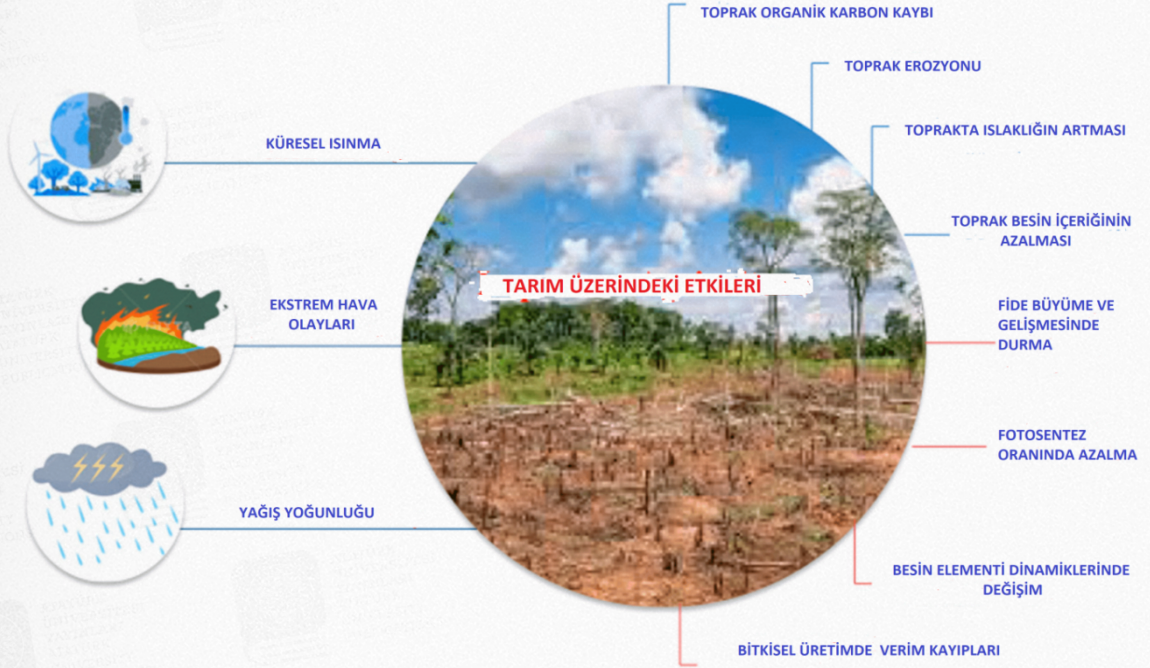
İklim Değişikliğinin Azaltılmasında Toprakla ilgili Bileşenlerin Yönetiminin Etkisi

Son yıllarda, iklim değişikliğinin tarım sektöründeki toprak özellikleri üzerindeki olumsuz etkisi dünya çapında korkunç bir gerçek haline gelmiştir. Tuzluluk, kuraklık ve sıcaklık dalgalanmaları gibi iklim değişikliğinin neden olduğu abiyotik stresler, mahsullerin fizyolojik tepkilerini, üretkenliğini ve genel verimini tahrip etmekte ve sonuçta küresel gıda güvenliği ve agroekosistemler için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Kimyasal gübre ve pestisit uygulamaları iklimin daha da bozulmasına ve hızlı değişimine katkıda

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

bulunmaktadır. Bu nedenle, iklim kaynaklı hasarın tarım sektörü üzerindeki etkisini azaltmak için daha dikkatli, çevre dostu ve sürdürülebilir stratejiler gerekmektedir.

Tarım sektöründe, küresel yağış, karbondioksitin sürekli artışı ve ortalama sıcaklık gibi iklimdeki dalgalanmalar, küresel ürünler ve tahıl verimliliği için ciddi bir tehdit oluşturarak sel ve kuraklık felaketlerine neden olan aşırı olayların sıklığında artışa yol açmıştır (Şekil 12) Sıcaklık ve yağıştaki değişim, mahsullerin büyüme ve olgunlaşma süreleri üzerinde doğrudan etkiye sahiptir ve bu nedenle mahsuller çeşitli biyotik ve abiyotik streslere maruz kalmaktadır. Yakın zamanda yapılan bir çalışmaya göre, bu biyotik ve abiyotik stresler dünya çapında tarımsal verimliliğin %30-50'sinin kaybindan sorumludur. Bu verimlilik kaybına ek olarak, iklim değişikliği, bitki hastalıklarının sıklığında ve şiddetinde artışa yol açabilecek zararlı ve patojenlerin yelpazesinde önemli bir genişleme açısından da bir tehdittir (Bibi ve Rahman, 2023).



Şekil 12. İklim kaynaklı çevresel aşırılıkların tarım, toprak ve ürünler üzerindeki etkisi

Son yıllarda tarım sektöründe iklim değişikliğinin toprak özellikleri üzerindeki olumsuz etkisi dünya çapında korkunç bir gerçek haline geldi. Tuzluluk, kuraklık ve sıcaklık dalgalanmaları gibi iklim değişikliğinin neden olduğu abiyotik stresler, mahsullerin fizyolojik tepkilerini, üretkenliğini ve genel verimini bozuyor ve sonuçta küresel gıda güvenliği ve tarımsal ekosistemler için ciddi bir tehdit oluşturuyor. Kimyasal gübre ve pestisit uygulamaları iklimin daha da bozulmasına ve hızlı değişimlerine katkıda bulunuyor. Bu nedenle iklim kaynaklı zararların tarım sektörü üzerindeki etkisini azaltmak için daha dikkatli, çevre dostu ve sürdürülebilir stratejilere ihtiyaç vardır.

İklim değişikliği; yağış, sıcaklık, rüzgar veya kar düzeni gibi iklim ölçümlerinde uzun vadeli ve önemli bir değişikliği ifade eder. Küresel ısınma ve sera gazı (GHG) emisyonları, iklim değişikliğinin derecesinin olumsuz yönde hızlanmasından sorumlu olan

başlıca faktörler olarak kabul edilmektedir. Sürekli artan antropojenik faaliyetler nedeniyle, küresel ortalama sıcaklık 19. yüzyıldan bu yana 0,9 °C arttı ve 2050 yılına kadar bu sıcaklığın daha da 1,5 °C'ye çıkması bekleniyor. Sera gazı emisyonlarındaki çok yönlü ve sürekli artışlar, önemli ve geri dönüşü olmayan kayıplara neden olarak karasal, tatlı su ve deniz ekosistemlerini oldukça etkilemektedir. Bu sera gazları, atmosferden kaçmaya çalışan kızılötesi radyasyonların iletimini engeller ve böylece bir 'sera' da olduğu gibi ısıyı hapseder. Başlıca sera gazı kaynakları arasında fosil yakıtların yakılması, azotlu gübrelerin kullanımı, toprak yönetimi, sular altında kalan pirinç tarlaları, arazi dönüşümleri, biyokütlenin yakılması, hayvancılık üretimi ve gübre yönetimi yer almaktadır. İklim değişikliğinin mahsuller, topraklar, hayvanlar ve zararlılar üzerinde doğrudan ve dolaylı etkiler yoluyla tarım üzerinde önemli etkileri olacağı öngörülmektedir. İklim değişikliği, uzun süreler boyunca sıcaklık ve yağışta nispeten küçük değişiklikleri içeren yavaş bir süreç olmasına rağmen, iklimdeki bu yavaş değişiklikler yine de çeşitli toprak süreçlerini, özellikle de toprağın verimliliğiyle ilgili olanları etkilemektedir. İklim değişikliğinin topraklar üzerindeki etkilerinin esas olarak toprağın nem koşullarındaki değişiklikler ve bunun sonucunda toprak sıcaklığı ve CO₂ seviyelerindeki artışlar yoluyla olması beklenmektedir. Küresel iklim değişikliğinin toprak süreçleri ve toprak verimliliğinin ve üretkenliğinin yeniden sağlanması için önemli olan özellikler üzerinde değişken etkilere sahip olacağı öngörülmektedir. İklim değişikliğinin ana etkisinin CO₂'deki artış ve sıcaklık ile tuzluluktaki artışlar yoluyla olması bekleniyor (Bibi ve Rahman, 2023).

Bitkisel üretim, iklim değişkenliğine karşı hassastır ve iklim değişikliğiyle ilişkili sıcaklıktaki artışlar, CO₂ artışları ve değişen yağış düzenleri, bitkisel üretimde önemli bir düşüşe yol açabilir. Sıcaklık, nem, ıslak-kurutma ve donma-çözülme döngülerindeki vb. değişiklikler toprak mikroorganizmalarının büyümesinde ve fizyolojisinde değişikliklere yol açabilir. Çevresel parametrelerde iklimin neden olduğu değişiklikler gerçekten de topraktaki mikrobiyal toplulukların yapısını ve işlevini etkileyebilir ve örneğin topraktaki organik kirleticilerin parçalanması için gerekli olan mikroorganizmalar arasındaki etkileşimin düzeyini, toprağın organik karbon stoklarını, toprak özelliklerini değiştirebilir, pH, katyon değişim kapasitesi (CEC), su tutma kapasitesi (WEC) ve besin stoku. Ayrıca kuraklık, aşırı sıcak hava dalgaları ve sellere yol açan yoğun yağışlar gibi aşırı hava olayları geçtiğimiz yıllarda artmış, sızıntı, toprak erozyonu ve yüzeysel akış endişe verici oranlarda artmıştır. Artan nüfusa bağlı olarak artan talepleri karşılamak için bitkisel üretimi artırmak, iklim değişikliğinin tehditleri karşısında zorlu bir iştir. Bu nedenle uyum ve azaltım araştırmalarına daha fazla önem vermemiz gerekiyor. Geçtiğimiz birkaç on yılda, tarım teknolojileri dünyanın birçok yerinde açlığın ortadan kaldırılmasında başarılı oldu, ancak bu, kimyasal araçlar ve kullanım sayesinde çevre, sağlık ve gelecekteki tarıma yönelik endişelerin artmasına neden oldu. Son zamanlarda, yüksek girdili tarım sistemleri ve teknolojilerinde, dünya genelinde tarımsal verimliliğin artırılması amacıyla bitki besin maddesi ihtiyacını karşılamak amacıyla kimyasal gübreler (N, P veya K) aşırı miktarda uygulanmaktadır. Kimyasal gübre kullanımı uzun vadeli perspektifte yarardan çok zarara neden olmuştur. Bu nedenle, modern tarım sektörünün aynı anda mahsul verimliliğini artırmak ve iklim değişikliği etkilerini azaltmak için daha temiz ve yeşil stratejilere ihtiyacı vardır (Bibi ve Rahman, 2023)

Tarımda Yeşil Teknoloji ve Teknikler

Nüfusun ve yaşam standartlarının artmasıyla birlikte tarımda mevcut en iyi yeşil teknolojilere odaklanmak her zamankinden daha önemli hale gelmiştir. Çiftçiliği çevresel açıdan daha sürdürülebilir hale getirmeye yardımcı olan en önemli yeşil teknolojiler ve teknikler şunlardır: yenilenebilir enerji, sıfır toprak işleme, biyoteknoloji, organik tarım, dikey tarım, sulama, entegre haşere yönetimi, dronlar, filo yönetimi ve dijital sensörler gibi yenilikçi teknolojiler ve uygulamalardır. Bazen temiz teknoloji olarak da bilinen yeşil teknoloji, insanların çevre üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için çalışır ve doğru şekilde uygulandığında, bunlar Dünya üzerindeki insan nüfusunu sürdürülebilir bir şekilde destekleyecek ve gelecek nesillere başarılı tarım yöntemleri kullanmaya devam edecek. Tarımda yeşil teknolojilerin kullanılması önemlidir çünkü çevreye verilen zararı azaltır, yan ürün olarak daha az fosil yakıt üretir ve sürdürülebilir tarımsal kalkınmaya yardımcı olur. Yeni teknoloji geliştiriliyor ve bu, araştırmaların yapıldığı ve insanların gezegenimizi daha sürdürülebilir bir yer haline getirmek için çok çalıştığı anlamına geliyor. Tarım, insan nüfusumuz için her zaman vazgeçilmez olacaktır; dolayısıyla onu yeşil ve sürdürülebilir tutmanın en başarılı yolunu bulmak bizim çıkarımızdır (Anonim, 2024).

KAYNAKLAR

- Anonim. (2023). 9. Bölüm: Toprak Kolloidleri. <https://docplayer.biz.tr/52757471-9-bolum-toprak-kolloidleri.html>
- Anonymous, (2023a). Convention on Biological Diversity. Erişim Tarihi : 20 Aralık 2023 tarihinde <https://www.cbd.int/article/world-soil-day-2023> Adresinden Erişildi.
- Anonymous, (2023b). Soil and water, a source of life. Erişim Tarihi : 14 Ocak 2024 tarihinde <https://www.un.org/en/observances/world-soil-day> adresinden erişildi.
- Anonim. (2024). 11 Green Technologies and Techniques In Agriculture. Innovate Eko. <https://innovate-eco.com/11-green-technologies-and-techniques-in-agriculture/?fbclid=IwAR2IbJjrL6rhv2nnj9VDPtkqXCCfPCLS9VUYeEUx7Y6WrzN9Uram1gVNSo>
- Aydemir, O., İnce, F., (1988). Bitki Besleme, Dicle Üniversitesi Eğitim Fakültesi Yayınları No:2, Diyarbakır.
- Behr. C. (2023). December 5, 2023. World Soil Day . Soil and water: a source of life. <https://demeter.net/world-soil-day-2/>
- Bibi. F and A.Rahman . 2023. An Overview of Climate Change Impacts on Agriculture and Their Mitigation Strategies. Agriculture, 13(8), 1508 <https://doi.org/10.3390/agriculture13081508>. <https://www.mdpi.com/2077-0472/13/8/1508#>
- Bhore. S. J. And K. Marimuthu. (2016). World Soil Day: A Brief Overview of Soils Role in Global Sustainable Development. In book: Focus on Environment Edition: First Chapter: World Soil Day: A Brief Overview of Soils Role in Global Sustainable Development Publisher: AIMST University Editors: Subhash Bhore, K. Marimuthu

- Chemnitz. C. (2015). Yerin Üstünde: Ne kadar çok Tarım O Kadar çok Zarar. s.14: FAO Yıllığı 2012, s.284 . <https://tr.boell.org/tr/2015/06/23/yerin-ustunde-ne-kadar-cok-tarim-o-kadar-cok-zarar>
- Eugenio R., M. McLaughlin And D. Pennock. (2018). Soil Pollution: a hidden reality. Rome, FAO. 142 pp. ISBN 978-92-5-130505-8
- FAO. (2015). Soil infographics. Erişim Tarihi ; 10 Aralık 2023 tarihinde <https://www.fao.org/global-soil-partnership/resources/news/presentations-gsb23/en/c/284443/> sitesinden erişildi.
- FAO. (2022). Soils for nutrition: state of the art. Rome. ISBN 978-92-5-136610-3 <https://doi.org/10.4060/cc0900en>. <https://www.fao.org/3/cc5325en/cc5325en.pdf>
- Bhure SJ (2016). World Soil Day: A Brief Overview of Soils Role in Global Sustainable Development. Focus Environ, 107-115. https://www.researchgate.net/publication/311846770_World_Soil_Day_A_Brief_Overview_of_Soils_Role_in_Global_Sustainable_Development
- Hartemink.D.J. (2016). The definition of soil since the early 1800s .Advances in Agronomy, 137 (137) (2016), pp. 73-126. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.12.001>
- McBratney, A., Field, D.J., Koch, A. (2014). The dimensions of soil security. Geoderma 213, 203–213. Van Es,H., 2017.A new definition of soil. CSA News. <https://doi.org/10.2134/csa2017.62.1016>
- McBratney A.B And Hartemink A.E. 2024. Define soil. Soil Security. Volume 14, 100135: www.sciencedirect.com/journal/soil-security<https://doi.org/10.1016/j.soisec.2024.100135>
- Mermut. A.R. (2021). Toprak Bilimi. Yayın No ; 3969. Gıda Tarım ve Hayvancılık No :047 ISBN : 978-635-417-524-4. EISBN: 978-635-417-525-1. 1. Basım. Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti. Sertifika No ; 40340
- Okur. N. (2021). Toprak Bilimi ve Bitki Besleme. 1. Basım. ISBN: 978-625-439-788-2 . E-ISBN : 978-625-439-789-9. 1. Toprağın Fiziksel ,Kimyasal ve Biyolojik Özellikleri 2. Toprak ve Su Koruma 3. Bitki Besin Maddeleri s;1-2
- Radulov. I and A.Berbecea. (2023). Role of Soil Health in Mitigating Climate Change. In. Global Warming - A Concerning Component of Climate Change [Working Title]. ISBN: 978-1-83769-858-5.DOI:10.5772/intechopen.1002402. <https://www.intechopen.com/online-first/1142985#B37>

**SAĞLIKLI YAŞAM İÇİN BİTKİ BESLEME YÖNETİMİ VE GÜBRE ÖNERİLERİNİN
BİLİMSEL TEMELİNE DAİR YAKLAŞIMLAR**

Prof. Dr. Nesrin YILDIZ^{1*}

¹Atatürk Üniversitesi. Ziraat Fakültesi.
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Erzurum, Türkiye
*nyildiz@atauni.edu.tr

Özet

Gıda güvensizliği çoğu zaman toplumsal huzursuzluk ve insan sefaleti olarak ifade edilir. Toplum, çok da uzak olmayan bir gelecekte tarımdan önemli taleplerde bulunmuştur ve bulunmaya da devam edecektir. Gelecekteki sürdürülebilirlik hedeflerini ve çevresel düzenlemeleri karşılarken aynı zamanda gıda, yem, yakıt ve elyaf gereksinimlerini karşılamaya devam etmek, verimlilik/üretkenlik ilkelerimiz ve inançlarımızın yanı sıra bunları ele alan süreçlerle ilgili olarak "bizlerin" mevcut durumumuza toplum olarak nasıl geldiğimizi sağlam bir şekilde anlamayı gerektirir. İlkel bitki beslenmesine ilişkin ilk düşüncelerden, reçeteli ürün beslenmesine ilişkin sofistike bir bilime kadar oldukça ilerlemiş durumdayız. Son çalışmalar, her yıl üretilen dünya gıda arzının yarısından fazlasının mineral gübre kullanımından kaynaklandığını tahmin etmektedir. Gübreler yalnızca mahsul verimliliği için kritik öneme sahip olmakla kalmayıp, aynı zamanda doğru bitki beslemenin mahsul kalitesini, haşere direncini, stres toleransını ve toprak, insan ve hayvan sağlığını iyileştirmedeki rolü de belgelenmiş durumdadır. Uygarlığın sürdürülebilmesi için toprağın en üstteki 20 cm'lik kısmının besin durumunun önemini gözden kaçırmak kolaydır. Zira, "Tarım yanlış giderse, başka hiçbir şeyin doğru gitme şansı olmaz" denmiştir. Nitekim, unutmamak gerekir ki istikrarlı bir gıda arzı olmadan istikrarlı şehirlere, okullara veya ekonomilere sahip olmanın mümkün olmadığı tarihten açıkça görülmektedir. Genel olarak, bitki besleme ile ilgili verim ve ürün kalitesini ve uzun vadeli sürdürülebilirliği iyileştirmek için birçok yeni olasılık vardır. Bununla birlikte, artan gıda ve yem talepleriyle birlikte, yetersiz veya aşırı gübreleme, toprak yorgunluğu, farklı stres faktörleri ve toprak kirliliği riski artmaktadır. Bu makalede bitki beslemeye yönelik bazı yeni yaklaşımlar özetlenmekte, diğer yandan yakın gelecek için önemli olduğunu düşündüğümüz yöntem ve stratejiler açıklanmaktadır. Bitki beslemeye ilişkin verim artırıcı adımların çoğu 20. yüzyılda gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle yeni stratejiler güçlü bir getiri artışı sağlamaktan ziyade istikrar ve sürdürülebilirlik sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Gübre, toprak, bitki, analiz, yeni paradigmlar

APPROACHES TO THE SCIENTIFIC BASIS OF PLANT NUTRITION MANAGEMENT AND FERTILIZER RECOMMENDATIONS FOR HEALTHY LIVING

Abstract

Society has made (and will be making) significant demands on agriculture in the not-to-distant future. Meeting future sustainability goals and environmental regulations while simultaneously continuing to meet requirements for food, feed, fuel, and fiber requires a firm understanding of how “we” have collectively arrived at our current status as it relates to our fertility principles and beliefs as well as the processes that address them. We have advanced far from the earliest thoughts on rudimentary plant nutrition to a sophisticated science of prescription crop nutrition. This article represents the first part of a series that intends to describe crop nutrition and fertilizers from where we have been to where the authors believe that we will likely need to be prepared to go if we are to support world demands into the foreseeable future. Recent studies estimate more than half of the world food supply produced each year is attributable to use of mineral fertilizers. Not only are fertilizers critical to crop productivity, but the role of proper plant nutrition in improving crop quality, pest resistance, stress tolerance, and soil, human, and animal health is well documented. It is easy to overlook the importance of the nutrient status of the top 6 inches of soil for sustaining civilization. It's been said that “if agriculture goes wrong, nothing else will have a chance to go right.” Indeed, it is clear from history that without a stable food supply, it is not possible to have stable cities, schools, or economies. Generally, there are many new possibilities to improve yield and product quality and long-term sustainability related to plant nutrition. However, with increasing food and feed demands, there is an increased risk of under- or over-fertilizing, soil fatigue, different stressors, and soil contamination. It is summarized some new approaches to plant nutrition, on the other hand we describe the methods and strategies we consider the important for the near future. Most yield-increasing steps related to plant nutrition were performed during the 20th century. New strategies, therefore, do not confer a strong yield increase but rather stabilization and sustainability

Key words: Fertilizer, soil, plant, analysis, new paradigms

GİRİŞ

Bilgili ve amacına uygun kültürel tedbirlerin alınmalarını sağlayan bir insan müdahalesi ile doğal verimlilikleri bakımından hemen hiç bir değer taşımayan toprakların dünyanın en verimli toprakları haline getirilmeleri mümkün olabilmektedir. Buna örnek olarak Hollanda'nın bugün sahip olduğu topraklar gösterilebilir. Tanınmış bir Rus bilgininin Hollanda'yı ziyareti sırasında kendisine bu memleket toprakları hakkındaki kanısı sorulduğu zaman verdiği cevap " Bugün sahip olduğu toprakların insan eli ile çok olumlu bir değişikliğe uğratılmış topraklar olduğu ve bu toprakların büyük bir kısmının İNSAN HARİKASI olarak kabul edilebileceği " şeklinde olmuştur (Özbek, 1969).

Toprak Verimliliği, Gübreler ve Bitki Beslemenin: Geçmişi, Bugünü ve Geleceği

Modern Tarımda kültürel işlemlerin kayıtlı tarihi, Irak'ın Mezopotamya Nehir havzalarında ve Mısır'ın Nil Vadisi'nde başlar. Greko-Roma döneminde, bitkisel üretim nispeten yüksek bir gelişmişlik ve verimlilik seviyesine ulaşmıştır. Orada hayvan ve insan kompostları, gübre, ürün artıkları, ürün rotasyonu, kireçtaşı, kül, yeşil gübre ve kıyı yosununun değeri iyi anlaşılmıştır. Bitki beslenmesine ilişkin ilk açıklamalar, bitkilerin ruhları olduğu ve kökleri aracılığıyla toprağı emdikleri gibi kavramları içermektedir. İlk deneysel gözlemlere rağmen, bitki beslenmesi ve toprak verimliliğine ilişkin modern anlayış yüzyıllar boyunca bir gizem olarak kalmıştır. Bitkilerin mineral beslenmesi konusunda daha geniş bir anlayış 19. yüzyılda gelişmiştir. Saussure'ün (1804) erken dönem çalışmaları, bitkilerin kökler yoluyla elde edilen mineral besinlere ihtiyaç duyduğunu ortaya koymaya yardımcı olmuştur. Carl Sprengel, bitki besin maddesi olarak kabul ettiği 20 elementten oluşan bir liste geliştirmiş ve daha sonra 1840 ile 1855 yılları arasında Justus von Liebig tarafından popüler hale getirilen "Minimum Yasası" nı (1828) önermiştir. Bitki beslemedeki bu yeni kavramlar hararetle tartışılmış, çiftçiler için pratik önemi, uygulamalarının daha yüksek mahsul veriminde kolayca gözlemlenmesiyle dünya çapında hızla yayılmıştır. 1800'lü yılların başlarında, toprak ıslah maddelerinin doğru kullanımının bitki büyümesine fayda sağladığı anlaşılmaya başlamıştır. Bitki besin maddelerinin faydaları ve mahsulün besin maddesi ilavelerine verdiği tepkinin değeri fark edildikçe, besin maddesi kaynakları arayışında patlama yaşanmıştır (Mikkelsen and Blaylock, 2024).

Gübrelerin Geçmişten Bugüne Hikayeleri

Fosfat (P)

Öğütülmüş kemiklerin bir besin kaynağı olarak tarımsal değeri erken fark edilmiş ve talep hızla artmıştır. İşlenmemiş kemikler [P bakımından zengin hidroksiapatit minerali içeren; $Ca_5F(PO_4)_3 OH$] ezilerek toprağı 1 ton/ac veya daha fazla oranda uygulanmıştır (Şekil 1 ve 2). İngiltere'de kemik talebi yerli arzı aşmış ve 1815'e gelindiğinde Avrupa'daki diğer ülkelerden kemik ithalatı yılda maksimum 30.000 tona ulaşmış (Nelson, 1990) ve bu durumu ünlü bitki beslenme uzmanı Justus von Liebig'in şikayet etmesine yol açmıştır.



Şekil 1. Tarlalara kemik gübresi serpen çiftlik işçileri (1936). Ref.Fotoğraf; Alamy Stock Photo/Smith Archive

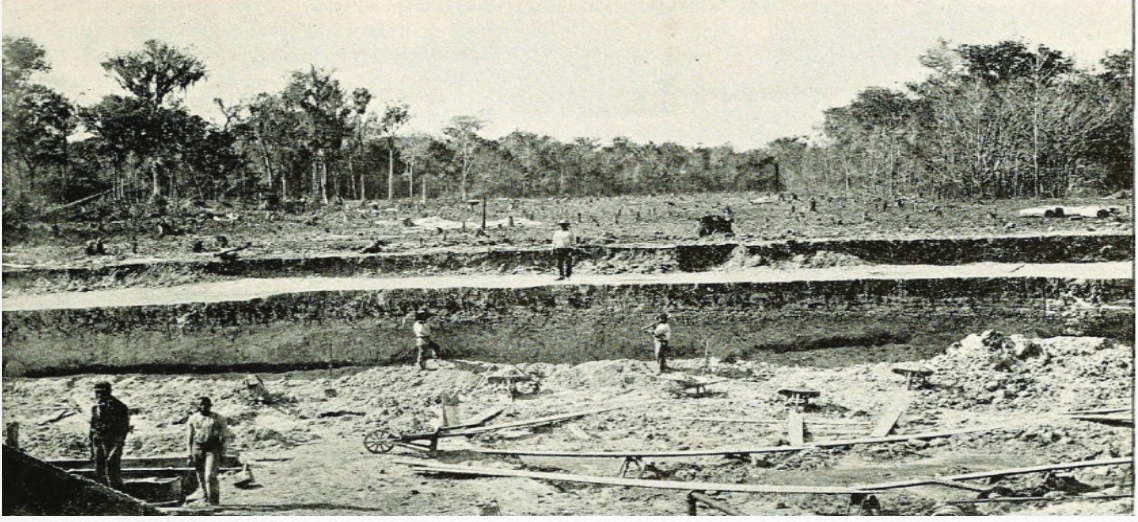


Şekil 2. Canadian Pacific'e yüklenmeye hazır bufalo kemikleri Demiryolu vagonu, Moose Jaw, SK, Kanada (yaklaşık 1887-1889). Ref. Foto; O.B. Buell ve Glenbow Kütüphane ve Arşiv Koleksiyonu'nun izniyle, Kütüphaneler ve Kültürel Kaynaklar Dijital Koleksiyonları, Üniversite Calgary'den.

Kemiklerin besin kaynağı olarak eşit derecede etkili olmadığı gözlemlenmesi, John Lawes'un kemikleri sülfürik asitle muamele etmeyi denemesine yol açmıştır. Bu asitleme işlemi, çözünmeyen hidroksiapatiti nispeten çözünebilir monokalsiyum fosfata $[Ca(H_2PO_4)_2]$ dönüştürmüştü ve bunun mahsul büyümesini teşvik etmek için çok etkili olduğu kanıtlanmıştır. 1842 yılında, monokalsiyum fosfat ve kalsiyum sülfattan (%16-20 P_2O_5) oluşan "kireç süperfosfatı" için patent alınmıştır. Kemiklerden süperfosfat üretimi hızla dünyaya yayılmış ve modern gübre endüstrisinin başlangıcı olmuştur. Hayvan kemiklerinin P kaynağı olarak değeri anlaşıldıkça, et paketleme şirketleri işlenmemiş kemik ununu gübre olarak pazarlanmaya başlamıştır. Et paketleme şirketleri daha sonra kemikten elde edilen süperfosfat gübresinin önde gelen üreticileri haline gelmiştir. Diğer P kaynakları (guano, öğütülmüş fosfat kayası ve bazik cüruf gibi gübreler) bu süre zarfında sınırlı miktarlarda mevcut kalmıştır. Kemik unu bugün hala kullanılmakta ve organik bir P kaynağı

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

olarak tanıtılmaktadır. Sonunda, fosfat kayası (apatit) mineral yatakları keşfedilmiş ve süperfosfat üretiminde kemiklerin yerini almıştır. Fosfat kayası jeolojik yatakları dünya çapında kolayca bulunabilir ve erişilebilir hale geldikçe P gübre endüstrisi endüstriyel çağa girmiştir (örneğin, İngiltere, 1847; Norveç, 1851; Fransa, 1856; ABD, 1867; Tunus, 1897, Fas, 1921; ve Rusya, 1930). Tüm yaygın P gübreleri artık tortul veya magmatik fosfat kayası yataklarından üretilmektedir. İç Savaş'tan kısa bir süre sonra Güney Carolina'da kaya fosfatı yataklarının ticari olarak geliştirilmesi, küresel gübre pazarına çok ihtiyaç duyulan yeni bir besin kaynağı eklemiştir. Bu yataklar nispeten sığdır ve çıkarılan kaya insan emeği kullanılarak kürekle çıkarılmıştır (Şekil.3). Daha sonra 1880'lerde Florida'da kaya P yataklarının keşfedilmesiyle gübre pazarına daha fazla kapasite eklenmiştir (Mikkelsen and Blaylock, 2024).



Şekil 3. Güney Carolina'da fosfor madenciliği. Ref. Foto; Alamy Stock Photo/The Reading Room.

Bu geniş Florida kaynağı çıkarılmaya ve önemli bir fosfor kaynağı olmaya devam etmektedir. İlave kaya fosforu 19. yüzyılın sonunda Nashville, TN civarında çıkarılmıştır. ABD'nin batı eyaletlerinden Utah, Wyoming ve Idaho'daki kaya P kaynakları da aynı dönemde keşfedilmiştir ve günümüzde halen kullanılmaktadır. 1960'larda Kuzey Carolina'da ilave P kaynakları geliştirilmiştir. Çoğu fosfat kayası kaynağı, bitkiler için P kaynağı olarak doğrudan kullanılamayacak kadar çözünmezdir. Birkaç benzersiz fosfat kayası yatağı asitle işlenmeden toprağa doğrudan uygulama için uygundur. Bu P kaynakları, mevcut asitliğin ve düşük toprak Ca konsantrasyonlarının kaya çözünmesini ve P salınımını hızlandırmaya yardımcı olduğu düşük pH'lı topraklarda yetişen çok yıllık ürünlerle kullanım için en uygundur. Süperfosfat 100 yıldan uzun bir süre boyunca dünyada baskın P gübresi haline gelmesine rağmen, artık yaygın olarak kullanılmamaktadır (Avustralya ve Yeni Zelanda'daki meralar hariç). Üçlü süperfosfat (%40-46 P_2O_5) ve amonyaklı fosfatlar (MAP %50-52 P_2O_5 ; DAP %46-53 P_2O_5 , APP %34-37 P_2O_5) gibi modern P gübreleri, yüksek analizli, verimli bir şekilde taşınan bir gübrede kolayca çözünebilir fosfat sağlamak için geliştirilmiştir (Mikkelsen and Blaylock, 2024).

Potasyum (K)

Erken dönem potas kaynakları, geniş sert ağaç ormanlarının yakılmasından sonra odun külünden potasyum karbonat (K_2CO_3) tuzlarının süzülmesi ve toplanmasından elde edilmiştir. Potas, cam yapımı ve sabun üretimi için yüksek talep görmekteymiş. Yosun hasadı bir başka erken dönem potas kaynağı olmuş ve bazı yosunlar doğrudan gübre olarak kullanılıyormuş, ancak hasat edilen yosunların çoğu endüstriyel amaçlarla konsantre potas toplamak için yakılmaktaymış. Potas üretimi, ormanlar temizlendikçe ve limanlara erişim Avrupa'ya nakliyyeyi mümkün kıldıkça, Kuzey Amerikalı ilk kolonistler için önemli bir gelir kaynağı olmuştur.

Ormanların temizlenmesi ve yakılmasından sonra potas satışlarından elde edilen gelir, genellikle yeni bir çiftlik kurulurken ilk yıllarda öncü aileler için gerekli mali desteği sağlamıştır. ABD sınır yerleşimlerinde açılık yaygın bir işti. ABD Patent Ofisi tarafından 1790 yılında verilen ilk patent, geliştirilmiş bir potas çıkarma işlemi için Samuel Hopkins'e verilmiştir. Bitki beslemede K'un öneminin 19. yüzyılda anlaşılmasıyla birlikte, K gübresine olan talep büyük ölçüde artmıştır. Büyük ölçekli K madenciliği, sanayi devriminin teknolojiyle mümkün olmuş ve potas çiftçiler için daha uygun fiyatlı ve kullanılabilir hale gelmiştir. Kuzey Amerika ile Alman Kalisyndicate potas karteli arasındaki potas ticareti I. Dünya Savaşı nedeniyle durmuş ve bu ani potas kıtlığı, 1900'lerin başında ABD'de tuzlu sulardan yeni K kaynaklarının acilen geliştirilmesine yol açmıştır (Mikkelsen and Blaylock, 2024).

Kuzey Amerika ile Alman Kalisyndicate potas karteli arasındaki potas ticareti I. Dünya Savaşı nedeniyle durdu. Bu ani potas kıtlığı, 1900'lerin başında ABD'de yeni K kaynaklarının acilen geliştirilmesine yol açtı. Potas, Nebraska'nın batı Sandhills bölgesindeki tuzlu sulardan çıkarıldı. En yoğun dönemde bölgede 10 tesis faaliyet gösteriyordu ve nakliye için özel bir demiryolu hattı vardı. Kaliforniya'da yosun hasadı 1900'lerin başında önemli bir K kaynağıydı. Yosun aynı zamanda savaş çabaları için önemli olan bir aseton kaynağıydı. Kaliforniya'nın Searles Gölü bölgesinden potasyum ve bor bakımından zengin tuzlu sular ticari gübre ve endüstriyel kimyasallar için çıkarılmıştır. New Mexico'da, potas madenciliğinin bugün de devam ettiği Carlsbad yakınlarında ticari açıdan değerli yataklar geliştirilmiştir. Michigan ve Utah'ta da başka yataklar geliştirilmiştir. Utah, Büyük Tuz Gölü'nden ve güneydoğu Utah'taki yeraltı yataklarından potas üreticisi olmaya devam etmektedir. Michigan yatağı yeniden geliştirilme aşamasındadır. İkinci Dünya Savaşı'nın ardından, en büyük küresel potas yatakları Kanada'nın Saskatchewan eyaletinde 1.000 m veya daha fazla derinliklerde keşfedilmiş ve ticari üretim 1960 yılında başlamıştır. Saskatchewan, Kuzey Amerika'nın potas ihtiyacı için önemli bir tedarikçi olmaya devam etmektedir ve dünyanın en büyük potas ihracatçısıdır.

Jeolojik P ve K kaynakları geliştirilirken, N gübresindeki ciddi eksiklik, dengeli bitki besleme arayışında sınırlayıcı bir faktör olmaya devam etti. Guano yatakları tükendikçe, Şili'nin kurak Atacama Çölü'nde geliştirilen nitrat tuzlarının jeolojik yatakları mühimmat ve tarım için önemli bir N kaynağı haline gelmiştir.

Organik N içeren kaynaklar da önemli bir kaynak sağlamış olup, esas olarak "hayvan tankajı" (insan tüketimine uygun olmayan hayvan parçalarının kurutulup

öğütülmüş hali), pamuk tohumu küspesi, balık atıkları ve kurutulmuş kan gibi kaynaklardan elde edilmiştir. Amonyum sülfat, kömür/kok ve gaz-ışık endüstrilerinin bir yan ürünü olduğu için 1860'lardan sonra giderek daha fazla kullanılmaya başlandı. Niagara Falls, NY (1902), Norveç (Norsk-Hydro, 1904) ve Muscle Shoals, AL (1917) gibi yerlerden başlayarak sabit N üretmek için hidroelektrik santralleri kullanılarak çeşitli miktarlarda azotlu gübre üretilmiştir (Mikkelsen and Blaylock, 2024; Ernst, 1928).

Azot (N)

Deniz kuşları veya yarasaların dışkısı olan ve N ve diğer besin maddelerinin kaynağı olan guano, 1820'lerde ABD'ye ithal edilmeye başlandı ve sonraki yarım yüzyıl boyunca önde gelen gübre kaynağı oldu (Şekil 4). Değeri Güney Amerika ve Avrupa'da daha da erken fark edilmiştir. Guano'nun ticarileştirilmesi, kuşların yaşadığı uzak adalara yerleşimi teşvik etmiştir. İlk ithal edilen guano gübreleri %12-14 N ve %10-12 P₂O₅ içeriyordu. Yüksek kaliteli kaynaklar tükendikçe ve daha zayıf guano kaynakları çıkarılmaya başlandıkça, ithal edilen guano'nun besin konsantrasyonu on yıllar içinde azalmıştır.

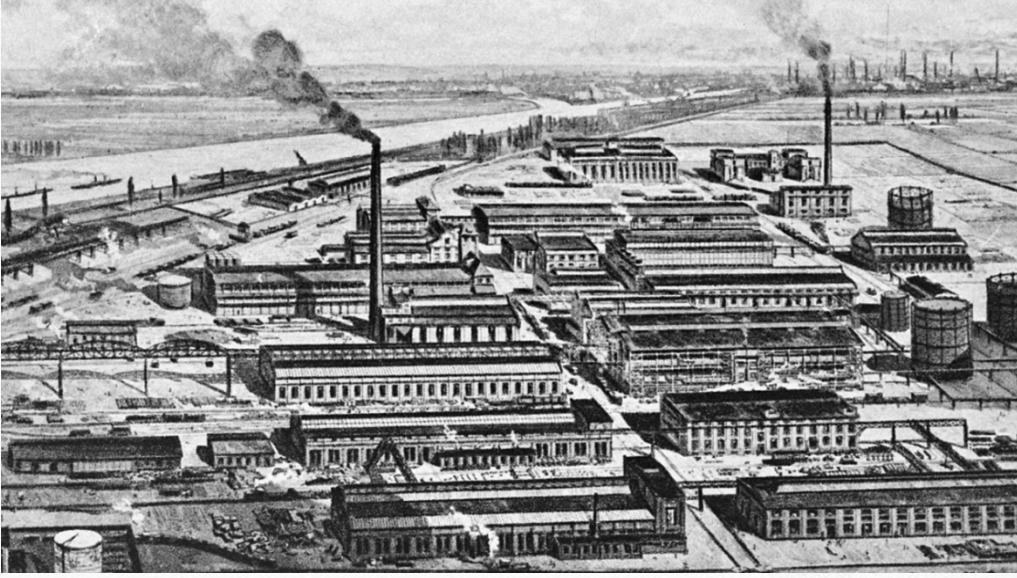
Bu değerli organik kaynak için rekabet Peru ve Şili arasında savaflara yol açtı ve daha sonra Bolivya ve Ekvador'a kadar uzandı. ABD, yerel mahsul üretimi için hayati önem taşıyan stratejik guano adalarını güvence altına almak için Donanmasını da devreye sokmuştur.



Şekil 4. 1860'larda işçiler 60 metreden daha yüksek bir guano "dağını" kazıyor. Ref. Foto; Alamy Stock Photo Album/British Library.

Çiftçiler ürünlere N eklemenin büyük verim ve kalite avantajlarının farkındaydı, ancak N kaynakları sınırlı ve pahalıydı. Ek N kaynakları arayışı, Alman bilim adamları Fritz Haber ve Carl Bosch'un Haber-Bosch amonyak sentezi (1913) olarak bilinen modern

amonyak sentezi sürecini geliştirmek ve ticarileştirmek için işbirliği yapmasıyla 20. yuzyılın en önemli keşiflerinden birine yol açtı. Bu süreç, amonyak üretmek için yüksek sıcaklık ve basınç altında bir demir katalizör varlığında hidrojen gazını (H_2) atmosferik N_2 gazı ile reaksiyona sokar. Süreç, genişleyen küresel nüfusu beslemek için gereken büyük miktarlarda azotlu gübre yapımında verimli ve ekonomik bir süreç haline gelmiştir (Şekil.5).



Şekil 5. İlk Amonyak Sentez Tesisi /1913.

Haber-Bosch süreci bugüne kadar milyarlarca insanın gıdasını güvence altına almıştır. Kısa sürede kimya endüstrisinin imajını belirlemiştir. Haber-Bosch amonyak sentezi günümüzde hala baskın üretim sürecidir. 1950'lerden önce ABD'de sınırlı amonyak üretimi vardı, ancak bunun çoğu endüstriyel amaçlar ve mühimmat için kullanılıyordu. İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra amonyak fabrikaları barışçıl amaçlara dönüştürülürken, petrol şirketlerinin çoğu ABD'nin başlıca amonyak üreticileri haline geldi. Metan, buhar reformu ($CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$; $3H_2 + N_2 \rightarrow 2NH_3$) adı verilen bir "kırma" işlemi yoluyla hidrojen gazı üretmek için ana hammadde haline geldi. Enerji şirketleri metanı daha değerli amonyak gübresine dönüştürmeyi karlı bulmuştur.

Susuz amonyağın doğrudan uygulanması, nakliye, taşıma ve tarla uygulamasındaki zorluklar nedeniyle bu süre zarfında çiftliklerde pratik değildi. Amonyakın büyük bir kısmı zaten mühimmat için amonyum nitratı dönüştürüldüğünden, büyük miktarlarda amonyum nitrat gübresi mahsulün beslenmesi için kullanılabilir hale geldi. Yavaş yavaş, üre üretimi ve kullanımı baskın azotlu gübre olarak amonyum nitratın yerini almaya başladı. 1975 yılına gelindiğinde, üre dünyanın önde gelen azotlu gübresi haline gelmiştir. Bugün Kuzey Amerika'nın bazı bölgelerinde popüler olan doğrudan amonyak uygulaması, büyük ölçüde Kuzey Amerika'ya özgü bir uygulama olarak kalmıştır. Amonyak üretiminde 1950'ler ve 1960'lar boyunca, özellikle ABD'nin orta batısındaki mısır üretiminde ve Güneydoğu'daki pamuk üretiminde artan azotlu gübre talebine yanıt olarak bir artış meydana gelmiştir. Azotlu gübre tüketimi 1960 yılında 2,7 milyon tondan

1969 yılında 7 milyon tona çıkmıştır. Bu tarihte 110 tesiste amonyak üreten 67 şirket vardı. ABD üretim kapasitesi hızla artarken, amonyak fiyatları 90 \$/tondan 20 \$/tona düşmüş, aşırı üretim ve düşük ekonomik getiri yeni gübre endüstrisi için önemli bir sorun haline gelmiştir (Mikkelsen and Blaylock, 2024).

Sülfür (S)

Çözünmeyen apatit minerallerinden fosfatın çözündürülmesi işlemi, sülfürik asit ile asitlendirmeyi gerektirir. İlk P gübre endüstrisi büyürken, kayayı işlemek için kükürt ithalatına bağımlı olmuş.

Fosfat. Daha sonra ABD Körfezi kaynaklarından kükürt yatakları keşfedildi ve ardından pirit ve petrol gibi yan ürünlerden elementel S çıkarma teknolojisi ile kükürt sıkıntısı giderilmiştir. Kükürt ayrıca potasyum sülfat, kalsiyum sülfat, amonyum sülfat, tekli süperfosfat ve bir potas minerali olan langbeinit gibi yaygın gübrelerde de mevcuttur (Mikkelsen and Blaylock, 2024).

Mikro Besinler

Belirli toprak koşullarında mikro besin maddelerinin önemine ilişkin farkındalık 1925'ten 1950'ye kadar artmıştır. İlk mikro besin araştırmalarının çoğu Florida ve Kaliforniya gibi yüksek değerli mahsul üretimi alanlarında gerçekleşmiştir. Bitki bodurluğu ve kloroz, nedeni belirlenmeden ve uygun besin kaynakları geliştirilmeden önce uzun yıllar boyunca tespit edilmişti. Bu dönemde, bitki mikro besin maddelerinin temel rolüne ilişkin birçok çığır açan keşif yapıldı. Mikro besin gübrelerinin çoğu, diğer endüstrilerin yan ürünlerinden geri kazanılan besinlerden elde edilmektedir. Mikro besin ihtiyaçları belirlendikçe, çeşitli endüstriyel yan ürünlerden gübre elde etme süreçleri geliştirilmiştir. 1933 yılında Tennessee Valley Authority Ulusal Gübre Geliştirme Merkezi, ulusal gübre üretimi ve kullanımının verimliliğini arttırmakla görevlendirilmiştir. Bu merkez 1990'lara kadar faaliyet göstermiştir ve yan kuruluşu halen Muscle Shoals, AL'de Uluslararası Gübre Geliştirme Merkezi olarak faaliyet göstermektedir. Gübrelerin çoğu tek tek besin kaynaklarının bir karışımı olarak uygulanıyordu. 1950'lerde TVA mühendisleri, tek bir partikül içinde birden fazla besin maddesi içeren homojen granül gübreler yapmak için teknoloji geliştirmişler. 1960'ların başında 250 granül NPK tesisi pazarın kompoze gübre (8-24-24, 15-15-15 veya 10-20-30 gibi) taleplerini karşılamak için faaliyet gösteriyordu. Sonunda, homojen granül gübrelerin yerini büyük ölçüde, belirli toprak ve mahsul ihtiyaçlarını karşılamak için üretilen, amonyaklı fosfat ve potas gibi bireysel gübre malzemelerinin özel, reçeteli karışımları aldı. Toprak testi ve reçeteli gübre uygulaması yaygınlaştıkça, homojen granül gübrelerin kullanımı artmıştır (Mikkelsen and Blaylock, 2024).

Bitki Besleme Bilimi

ABD'de, 1862 tarihli Morrill Yasası ile finanse edilen eyalet tarım kolejlerinin kurulmasıyla birlikte, bitki beslenmesinin iyileştirilmesine yönelik bilimsel temel yavaş yavaş ortaya çıkmıştır. Ancak tarım bilimi ilk yıllarda büyük ölçüde akademik mühendislik programlarının gölgesinde kalmıştır çünkü tarım çok arzu edilen bir meslek olarak görülmemiştir. 1887 tarihli Hatch Yasası, her bir ziraat fakültesine bir tarımsal deney istasyonu geliştirmeleri için yılda 15.000 dolar sağlamıştır. 1914 Smith-Lever Yasası'nın kabul edilmesiyle birlikte her arazi hibe üniversitesinde bir yayım departmanı kurulmuştur. Bu mevzuatın yürürlüğe girmesiyle birlikte, ABD ekili alanlarının bitki besleme durumunun iyileştirilmesinde hızlı bir ilerleme için zemin hazırlandı. USDA Toprak Bürosu'na ayrıca toprak özelliklerinin bitkisel üretim üzerindeki etkisini araştırma, yeni yerli besin kaynakları arama ve ulusal toprak etüdü projesini başlatma yetkisi verildi. İkinci Dünya Savaşı'nın ardından toprak testleri giderek daha yaygın hale geldi. Arazi hibe kurumları, besin verimliliğini artırmak ve yeni bulunan ve uygun fiyatlı gübre malzemelerini kullanarak mahsul verimini artırmak için bu uygulamayı yaygın bir şekilde teşvik etti. Çiftçiler topraklarını test etmeye teşvik edildikçe her eyalet laboratuvar analizi, kalibrasyon ve gübre tavsiyelerinde hızlı ilerlemeler kaydetti. Örneğin, Kansas Eyaleti 1960 yılında eyalet genelinde faaliyet gösteren 60 ayrı ilçe toprak test laboratuvarından oluşan bir ağ kurmuştur. O zamandan bu yana, devlet destekli toprak test laboratuvarlarının sayısı azalırken, özel toprak test endüstrisi genişledi. Hem kamu hem de özel test hizmetleri çiftçiler için değerli ve benzersiz işlevler sağlamaktadır (Mikkelsen and Blaylock, 2024)

Modern Kuzey Amerika toprak testi hizmeti endüstrisinin gelişimi, her yıl laboratuvarlarda test edilen milyonlarca tarım toprağı ile tarımdaki en büyük başarılarından biridir. Ürünlerin besin maddesi gereksinimlerine ilişkin doğru değerlendirme ve tahminleri daha da iyileştirmek için hala pek çok engel bulunmaktadır, ancak Kuzey Amerika toprak testi endüstrisinin başarılı modeli dünya çapında tekrarlanmıştır. Modern gübre endüstrisinin ortaya çıkışı, 20. yüzyılda insanlığın refahına yapılan en büyük katkılardan biri olarak adlandırılmaktadır. Bu süre zarfında, tüm önemli gıda ürünlerimizde muazzam verim ve kalite artışları ve yaygın açlık ve kıtlığın hafifletildiğini gördük. Besin kullanım verimliliği de bir dizi faktörün (gelişmiş gübre malzemeleri, hassas tarım, analitik araçlar, çiftlik ekipmanları, genetik ve haşere kontrolü gibi) bir araya gelmesiyle artmıştır. Bununla birlikte, besin maddelerinin çevreye kaybı kabul edilemeyecek kadar büyük olduğundan ve kaynakların daha fazla korunması için yenilenmiş bir çabaya ihtiyaç duyulduğundan, büyük zorluklar devam etmektedir (Mikkelsen and Blaylock, 2024).

Kimyasal ve biyolojik toprak testleri, besin eksikliği veya toksisite belirtileri için bitki büyümesinin görsel gözlemleri ve bitki dokularının kimyasal analizi teşhis araçlarından bazılarıdır. Toprağın besin durumunun farklı teknik veya yöntemler kullanılarak teşhis edilmesine toprak verimliliği değerlendirmesi denir. Toprak verimliliğinin zamansal ve mekansal değişkenliğini daha iyi tanımlayıp ele alabilen pasif veya aktif optik algılama teknolojisi ve coğrafi bilgi sistemlerinin kullanılması, toprak verimliliğinin peyzaj ölçeğinde sahaya özgü değerlendirmelerine olanak tanımaktadır. Toprak verimliliği değerlendirmesinde tercihen, sonucun faydasına göre özel bir kalibrasyon yöntemi kullanılmaktadır. Topraklar içerdikleri besin formları bakımından çok

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

heterojendir, bu da gübre ihtiyacını değerlendirmek için Toprak Testinin yorumlanmasını büyük ölçüde zorlaştırır. Bir toprakta bulunan bir besin maddesinin toplam miktarı, o besin maddesinin kullanılabilir miktarına göre çok az bilgi verir. Besin elementlerini topraktan uzaklaştırmak için çok sayıda özütleme (ekstraksiyon) çözültisi ve prosedürü kullanılmıştır, ancak hiçbir bitki köklerinin absorbe ettiği (toprakta uzaklaştırdığı) miktarı tam olarak yansıtamaz. Bu da verilerin yorumlanabilmesi için her bir analitik prosedürden elde edilen sonuçların, söz konusu gübre (besin maddesinin) uygulanmasıyla tarla denemelerinden elde edilen bitki tepkisiyle ilişkilendirilmesi gerektiği anlamına gelmektedir (Yadav et al, 2023).

Sürdürülebilir olarak verimli ve üretken topraklar, toplumların hayati bileşenleridir, çünkü gıda, lif, hayvan yemi ve yemlik, ilaç, endüstriyel ürünler, enerji ve estetik açıdan hoş bir çevre için gerekli olan bitkilerin büyümesini sağlarlar. Toprağın verimliliği, mahsul üretimini destekleme kapasitesini ifade eder. Toprak biyolojisi, toprak kimyası ve toprak fiziğinin temel prensiplerini birleştirerek besin maddelerini kârlı ve çevreye duyarlı bir şekilde yönetmek için gereken uygulamaları geliştiren bilimsel bir disiplindir. Dolayısıyla, toprak verimliliği, toprağın kimyasal, fiziksel ve biyolojik özellikleri tarafından yönetilen belirli bitkilerin optimum büyümesi için gerekli olan temel bitki besin maddelerini yeterli miktar ve oranlarda sağlama kapasitesi olarak tanımlanabilir. Bitkisel üretim için toprakların besin maddesi durumunun optimize edilmesi sırasında toprak, hava ve su kirliliğinin de önlenmesi gerektiğinden, modern toprak verimliliği uygulamaları hem çevrenin korunmasını hem de tarımsal verimliliği dikkate almaktadır. Verimli bir toprak, bitki kök gelişimi için yeterli toprak hacmi, kök gelişimi ve büyümesi için su ve hava, bitkilerin beslenme gereksinimlerini karşılamak için kimyasal elementler ve sonuçta ortaya çıkan bitki yapısı için ankraj (sabitleme, stabilize etme, anchor) sağlayarak tohum çimlenmesinden bitki olgunluğuna kadar optimum bitki büyümesini destekleyebilir. Toprağın bu nitelikleri doğal veya dinamik toprak kalitesi göstergeleri olarak ayırt edilebilir. Doğal toprak kalitesi göstergeleri bitkisel üretimde manipüle edilemez ve toprak tekstürü, derinliği ve mineralojisine bağlı olarak değişir. Dinamik toprak kalitesi göstergeleri ise toprağın organik madde içeriği, besin ve su tutma kapasitesi ve toprak yapısını içerir. Bunlar arasında toprak verimliliği (toprağın mahsul üretimini destekleme kapasitesi), uygun yönetim yoluyla korunabilen veya geliştirilebilen en önemli dinamik toprak parametrelerinden biridir (Yadav et al, 2023).

Kuşkusuz topraklar bitkilere besin sağlama yeteneği yönünden, büyük ayrıcalıklar gösterirler. Başka bir deyişle, üründe azalmaya yol açmadan, toprağın bir bitkiyi ne kadar destekleyebileceği topraktan toprağa değişir. Toprak verimliliğini belirlemede kullanılan teşhis teknikleri tarım topraklarına hangi bitki besininin ne zaman, ne şekilde ve ne kadar uygulanacağını saptanmasında önem taşırlar. Toprak verimliliğini belirleme teknikleri şu ana başlıklar altında toplanabilir; 1. Bitkilerde beslenme bozukluğu belirtilerinin gözlenmesi ve tanısı 2. Bitki analizleri 3. Biyolojik denemeler (makro-mikro biyolojik) ve testler 4. Kimyasal toprak çözümlenmeleri. 5. Kararlı, kararsız izotoplarla laboratuvar, sera, tarla denemeleri (Yadav et al, 2023).

1. Bitkilerde besin eksikliği belirtilerinin Tanısı

i) Bitki besin maddelerinin kullanılabilirliğinin niteliksel bir ölçümüdür. Büyüyen bitkinin anormal görünümü, bir veya daha fazla besin elementinin eksikliğinden kaynaklanabilir. Bitkilerde eksiklik belirtilerinin ortaya çıkması, toprak verimliliğinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir indekstir.

ii) Eğer bir bitki belirli bir elementten yoksunsa, az ya da çok karakteristik belirtiler ortaya çıkabilir. Birçok besin maddesinde ortaya çıkan noksanlık belirtilerinde karakteristik belirtiler karmaşık hal alır ve teşhis güçleşir.

iii) Yaygın eksiklik belirtileri şunlardır; Fide aşamasında tam ürün başarısızlığı. Büyüme geriliği. Anormal renk Örn: Kloroz (sararma), nekroz (doku ölümü).Farklı bitki kısımlarının malformasyonu. Örneğin: yaprakların rozet görünümü. Gecikmiş olgunluk. Düşük protein, yağ, nişasta içeriği gibi düşük kaliteli ürünler.

Zorluklar ; Bazı besin eksikliklerinin semptomlarını ayırt etmek zor olduğundan, kesin teşhis çok fazla deneyim gerektirir. Eksiklik/toksisite belirtileri ortaya çıktığında, mahsul belirgin bir gerileme yaşamıştır ve o sırada alınan iyileştirici önlemler optimum verim sağlamayabilir. Eksiklik belirtilerinin ortaya çıkması besin eksikliğinin en uç sınırındır ancak belirtiler ortaya çıkmaya bile ürün veriminde azalma meydana gelebilir. Bu durum gizli açlık olarak adlandırılmaktadır (Yadav et al, 2023).

2. Bitki analizleri

Toprak verimliliğini değerlendirme görevinde toprak testine değerli bir yardımcı veya destekleyici tekniktir. Bitki analizi, besin maddelerinin topraktan fiili olarak uzaklaştırılmasını gösterir ve bitkinin besin durumunu ve besin elementi eksikliğini tanımlar. Toprağın besin durumunun doğrudan bitkideki yansımadır.

Bitki analizinin avantajları;

- Görünür semptomların teşhisi veya teşhisinin doğrulanması.
- Gizli açlığın tespit edilmesi.
- Yeni başlayan (erken evre) eksiklik alanlarının tespit edilmesi.
- Uygulanan besin maddelerinin bitkilerce alınıp alınmadığını belirlemek.
- Besin elementleri arasındaki etkileşimleri veya antagonizmaları belirlemek (Yadav et al, 2023).

Bitki analizi üç yöntemden oluşur

1.a) Hızlı doku testleri: Hızlı bir testtir ve kalitatif veya yarı kantitatif bir yöntemdir. Taze bitki dokusu veya parçalanmış hücrelerden elde edilen özsu, asimile edilmemiş N, P, K ve diğer besin maddeleri için test edilir. Hücre öz suyuna renk oluşturmak için belirli reaktifler eklenir. Rengin yoğunluğuna göre düşük, orta ve yüksek renk kategorize edilir ve bu da sırasıyla bitkilerdeki besin maddelerinin eksikliğini, yeterliliğini ve yüksekliğini gösterir. Esas olarak besin eksikliklerini tahmin etmek için kullanılır ve belirli üretim sorunlarını tahmin etmek mümkündür. Hücre öz suyundaki besin

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

maddelerinin konsantrasyonu, genellikle bitkinin test sırasında besin maddeleriyle ne kadar iyi beslendiğinin iyi bir göstergesidir.

i) Seçilecek bitki parçası: Genel olarak en son olgunlaşmış yaprağın iletken dokusu test için kullanılır.

ii) Test zamanı: Doku testi için büyümenin en kritik aşaması çiçeklenme zamanı veya çiçeklenmeden erken meyve verme aşamasına kadardır. Nitratlar genellikle sabahları, tedarik azsa öğleden sonraya göre daha yüksektir.

Nitratlar için test ayırıcı: Difenilamin; Fosfatlar için test ayırıcı : Molibdat + Stannöz oksalat ; Potasyum için test ayırıcı : Sodyum kobalt nitrat

2.b) Toplam bitki analizi: Kantitatif bir yöntemdir ve tüm bitki veya bitki kısımları üzerinde gerçekleştirilir. Kurutulmuş bitki materyali asit karışımları ile yakılır ve farklı besin maddeleri için farklı yöntemlerle kantitatif olarak test edilir.

Analiz, bitkilerde Azot, Fosfor, Potasyum Kalsiyum, Magnezyum, Kükürt, Demir, Manganez, Bakır, Bor, Molibden, Kobalt, Klor, Silisyum, Çinko, Alüminyum vb. gibi hem asimile edilmiş (özümlemiş) hem de edilmemiş (özümlememiş) besin maddelerinin konsantrasyonunu vermektedir (Çizelge.1). Prensipte olarak, doğru analiz için yakın zamanda olgunlaşmış bitki materyalinin örneklenmesi tercih edilir.

i) Seçilecek bitki kısmı : Genel olarak en son olgunlaşmış yaprağın iletim dokusu test için kullanılır.

ii) Test zamanı: Doku testi için büyümenin en kritik aşaması çiçeklenme zamanı veya çiçeklenmeden erken meyve verme aşamasına kadardır. Nitratlar genellikle sabahları, tedarik azsa öğleden sonraya göre daha yüksektir.

Nitrat analizinde: Difenilamin ayırıcı; Fosfat analizinde: Molibdat + Stannöz oksalat; Potasyum analizinde : Sodyum kobalt nitrat ayırıcı kullanılır.

Çizelge 1. Bitkilerde Besin elementlerinin Kritik Düzeyleri

Element	Genel Aralık %	Kritik Düzey %
N	2.0-4.0	<2
P	0.2-0.5	<0.1
K	1.5-3.0	<1.0
Ca	0.5-3.0	<0.1
Mg	0.2-0.5	<0.2
S	0.2-0.5	<0.15
Element	Genel Aralık ppm	Kritik Düzey ppm
Fe	50-150	<5
Cu	5-20	<4
Zn	20-100	<15
Mn	20-500	<20
B	2-100	<20
Mo	1-2.0	<0.1
Cl	0.2-2.0	-

3. Biyolojik yöntemler

3.a Makro-biyolojik Testler

Biyolojik uygulamalar, toprağa ilave edilen besin maddelerine (gübrelere) karşı verim tepkilerini kalibre etmek için yürütülür. Bilindiği gibi, toprağın verimlilik durumunu değerlendirmek için farklı yöntemler benimsenmiştir. Bunlar ;

1) Saha testleri (Tarla Denemeleri)

Farklı gübreler ve ürünler üzerinde tarla testleri yapılarak en yüksek verimin elde edildiği uygulamalar seçilmektedir. Bu deneyler, her ürün ve toprak için genel gübre önerileri yapmak için yararlıdır ve ayrıca çeşitli ürünler için doğru gübre türünü ve miktarını seçebilmemize yardımcı olmaktadır.

3.b Makro- Biyolojik Laboratuvar ve sera testleri

Bunlar toprak verimliliğinin değerlendirilmesi için basit ve daha hızlı biyolojik tekniklerdir. Burada, test için daha yüksek bitkiler ve az miktarlarda toprak kullanılır. Tüm bu teknikler, az miktarda toprakta yetiştirilen çok sayıda bitki tarafından besin maddelerinin alımına dayanmaktadır. Çeşitli besin maddelerinin kullanılabilirliğini değerlendirmek için kullanılır ve bunlar tüm bitki ve toprağın kimyasal analizi ile nicel olarak belirlenir. Bazı yaygın yöntemler şunlardır;

Örneğin

- Yulafta NPK durumunu test etmek için Mitscherlich saksı kültürü yöntemi.
- Jehn'in NPK besinleri ile marul mahsulü kullanarak saksı kültürü testi
- NPK için Neubauer fide yöntemi.
- Bor için ayçiçeği saksı kültürü tekniği.

2) Makro-Biyolojik Yöntemlerde Kullanılan İndikatör bitkiler

Bunlar, spesifik bitki besin elementi eksikliğine karşı nispeten daha hassas olan bitkilerdir ve besin eksikliği olan toprakta yetiştirilirse belirgin eksiklik semptomları yansıtmaya eğilimlidirler (Çizelge.2).

Çizelge 2. İndikatör Bitkiler (Yadav et al, 2023 ;Yıldız, 2012)

Besin elementleri	İndikatör bitkiler
N, Ca	Tahıllar, Lahana, Karnabahar, Hardal, Elma, Narenciye
P	Kolza, Mısır, Arpa, Marul, Domates
K, Mg	Patates, Üçgül, Yonca, Fasulye, Tütün, Kabakgiller, Pamuk, Domates, Mısır, Karnabahar, Şeker Pancarı
Fe	Karnabahar, Lahana, Patates, Yulaf, Darı, Arpa, Narenciye, Şeftali, Soya Fasülyesi, Yerfıstığı
Zn	Mısır, Soğan, Narenciye, Şeftali, Darı
Na, B	Şeker Pancarı, Yonca, Karnabahar, Elma, Şeftali, Turp, Ayçiçeği
Mn	Şeker Pancarı, Yulaf, Patates, Elma, Kayısı, Kiraz, Narenciye, Tahıllar, Bezelye, Turp, Domates, Hıyar, Yulaf
Mo	Karnabahar, Narenciye, Baklagiller, Yulaf, Ispanak, Domates

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

Cu	Buğday, Elma, Narenciye, Arpa, Mısır, Yulaf, Marul, Soğan, Tütün, Domates
Cl	Marul, Tütün, Patates
S	Yonca, Üçgül, Kolza

3.c) Mikrobiyolojik testler

Çeşitli mikroorganizma kültürleri kullanılarak da toprak verimliliği değerlendirilebilir. Winogradsky, mineral elementlerin yokluğunda bazı mikroorganizmaların yüksek bitkilerinkine benzer bir davranış sergilediğini gözlemleyen ilk kişilerden biridir. Mikroorganizmalar besin eksikliğine karşı duyarlıdır ve herhangi bir besin maddesinin eksikliğini tespit etmek için kullanılabilir. Bir toprak uygun besin çözeltileri ve çeşitli mikrobiyal türlerin (bakteri, mantar) kültürleri ile muamele edilir ve birkaç gün inkübe edilir. Daha sonra organizmaların büyümesi ve gelişmesi ağırlık veya misel pedinin çapı açısından gözlemlenerek toprakta bulunan besin miktarı tahmin edilmektedir.

Örneğin:

- Ca, P ve K için Azotobaktör yöntemi.
- P ve K için Aspergillus Niger testi , Neubauer Fide Yöntemi.
- P için Mehlich ' in Cunninghamella plaque yöntemi
- P ve K için Sackett ve Stewart teknikleri (Azotobaktör)

4. Toprak testleri (Kimyasal toprak analizleri)

Toprak testi, toprağın mevcut besin durumunu belirlemek için yapılan hızlı bir kimyasal analiz tekniğidir. Toprak testi, kimyasal analiz sonucundan elde edilen verilerin diğer hususlara dayalı olarak yorumlanması, değerlendirilmesi ve gübre öneri sürecini içeren bir yöntemdir .

Toprak testinin amaçları

- 1) Toprağın besin seviyesine göre sınıflara ayrılması.
- 2) Gübre uygulamasına karşı olası kârlı ürün alma olasılığının tahmin edilmesi .
- 3) Gübre önerilerine temel oluşturmak.

Toprak test programının felsefesi;

1) Topraktaki her bir bitki besin maddesinin bitkiye yararlı olabilme düzeyini (tedarikinin) değerlendirmek , dikkatli ve kapsamlı bir toprak test programına dayanmaktadır.

2) Bitki besin maddelerinin kullanımını aşağıdaki hususlara göre test etmek.

a) Bitki besin maddelerinin yetersizliğinin söz konusu olduğu toprakların veya istenilen ürün verimini sağlayamayan toprak ve kaynakların korunması. Yeterli miktarı sağlayabilen topraklardaki ürünler için bitki besin maddesi kullanımı önerilmez.

b) İstenen üretim seviyesi veya verim hedefi. Daha yüksek üretim seviyeleri, daha düşük üretim seviyelerine göre belirli bir toprakta daha fazla besin maddesi gerektirir.

3) Toprak test programının tahmin kabiliyeti aşağıdakilere dayanmaktadır:

a) Toprak analiz verileri ve ürün verimine ait araştırma programının kalibrasyon ve korelasyonu.

b) Çalışma alanını temsil edecek toprak örneklerinin kapsamlı, popülasyonu temsil etme gücü yüksek ve dikkatli bir şekilde toplanması.

c) Doğru ve çok tekerrürlü laboratuvar ölçümleri.

Bilindiği gibi bitki gelişmesini etkileyen, bitki büyümesi için mutlak gerekli ve metabolik işlevlerinde rol alan başat elementlerden ; N, P, K, Ca, Mg, S gibi birincil ve ikincil elementler dışında topraktaki eksikliklerinin mahsul verimini benzer şekilde etkileyen yaklaşık 20 civarında farklı element vardır. Benzer şekilde gerek toprak özelliklerini gerekse bitki gelişmesini ve besin elementi yarıyışlılığını doğrudan ya da dolaylı olarak etkileyen, toprak pH'sı da (asidik , alkalın ya da alkali) bitki gelişimini sınırlandıran faktörlerden biridir. Bu nedenle toprak testi N, P, K, Ca, Mg ve S gibi mevcut besin maddelerinin, mikro besin maddelerinin ve asidik, alkalın ve alkali pH koşullarına bağlı olarak toprağın kireç ve jips ihtiyacının analizini de içeren bir tekniktir.

Toprak verimliliğinin değerlendirilmesinde ve gübre tavsiyesinde modern yaklaşımlar

1) Toprak testi ürün yanıtı (STCR)

Yüksek verimli çeşitlerin ve hibrit ürünlerin piyasaya sürülmesinden sonra, farklı toprak agro-iklim bölgelerinde sistematik toprak testi ürün tepki araştırmalarına duyulan ihtiyaç belirgin hale gelmiştir. Icar (1967)'in geliştirdiği STCR, bir toprak testi değeri ile ürün verimi arasındaki ilişkiyi sağlamaya yarar. Toprak testi değerlerinin tarla koşullarında elde edilen gerçek mahsul tepkisi ile ilişkilendirilmesi gerekmektedir. Her ürün ve toprak için ayrı kalibrasyon tablolarına ihtiyaç vardır. Verimlilik gradyanı ve regresyon yaklaşımı ile hedeflenen verim kavramları geliştirilmiştir. Bu aynı zamanda gübre dozları tavsiye edilirken toprak verimliliğinin ve mahsulün verim seviyesinin de dikkate alındığı doğal bir yaklaşımdır.

STCR'nin Amacı

1) Farklı ürünler ve farklı toprak agro-iklim bölgeleri için ayrı ayrı matematiksel denklemler kullanarak sulama veya koruyucu sulama koşulları altında toprak testi - iklim bölgesi temelinde belirli bir ürün için gübre dozlarını reçete etmek.

2) Bu, toprağın ve eklenen gübre besin maddesinin ürünler tarafından kullanım verimliliğini ve besin maddesini dikkate alır.

STCR Kavramı veya STCR yaklaşımı, değişen toprak testi değerleri ve çiftçilerin tepki koşulları altında ve hedeflenen bitkisel üretim seviyeleri için gübre dozlarının hassas kantitatif ayarlaması için bir temel elde etmeyi amaçlamaktadır. Bunlar, belirli toprak, ürün ve tarımsal iklim koşulları altında danışmanlık amacıyla toprak test laboratuvarlarını desteklemek için saha denemeleri ile takip doğrulamasında test edilir. Regresyon analizi yaklaşımına dayalı gübre tavsiyeleri (maksimum verimin belirli bir yüzdesi için öneriler).

STCR metodolojisi üç faktörü dikkate alır.

- 1) Ürünün kg/dönüm cinsinden besin maddesi ihtiyacı (NR).
- 2) Toprakta mevcut besin maddelerinin yüzde katkısı (SE).
- 3) Belirli verimler için etkili gübre reçeteleri oluşturmaya yönelik ilave gübrelerin yüzde katkısı.

2) Teşhis ve öneri entegre sistemi (DRIS yöntemi)

DRIS Kavramları

DRIS Kavramları: DRIS, yaprak veya bitki ve Tavsiye Entegre Sisteminin (DRIS) yorumlanmasına yönelik yeni bir yaklaşımdır. Bitkisel üretimi sınırlayan tüm beslenme faktörlerini tanımlayan ve doku analizinin yorumlanması için mutlak ve / veya bireysel besin konsantrasyonlarını geliştirerek yüksek ürün verimi elde etme şansını artıran kapsamlı bir sistemdir.

Bir ürün için DRIS geliştirmek için, mümkün olduğunda aşağıdaki gereklilikler karşılanmalıdır.

- 1) Ürün verimi üzerinde etkisi olduğundan şüphelenilen tüm faktörler tanımlanmalıdır.
- 2) Bu faktörler ile verim arasındaki ilişki tanımlanmalıdır.
- 3) Kalibre edilmiş normlar oluşturulmalıdır.
- 4) Belirli koşullara uygun ve bu normların doğru ve mantıklı kullanımına dayanan öneriler sürekli olarak geliştirilmelidir.

Avantajlar

Beslenme dengesinin önemi, normların türetilmesinde ve teşhis konulmasında dikkate alınır. Bitkideki besin dengesinin ölçülmesine yardımcı olur.

Yapraklardaki besin içeriği için normlar aşağıdakilere uygulanabilir belirli bir ürün. Teşhis, mahsulün çok çeşitli aşamalarında yapılabilir gelişme. Fazla ya da yetersiz olması nedeniyle verimi sınırlayan besin maddesi kolayca tanımlanabilir ve verim için sınırlayıcı önem sırasına göre düzenlenebilir (Yadav et al, 2023).

Gerçekçi Gübre Önerilerine Temel Oluşturan Toprak Analizlerinden Verimlilik Ölçütlerinin Elde Edilmesi

Toprak katı, sıvı ve gaz gibi başlıca üç fazdan oluşan heterojen (karmaşık) bir madde olarak düşünülebilir. Her üç toprak dilimi de bitki köklerine besin elementi sağlanmasını kendilerine özgü biçimde etkilerler. Toprak katı fazı, besin elementi ana deposudur. Katı fazın inorganik parçacıkları ; K, Na, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn ve Co gibi katyonik besin elementlerini içermesine karşılık, organik parçacıkları temelde N ve daha az olmak koşuluyla P ve S sağlar. Toprak çözeltisi olarak adlandırılan toprağın sıvı dilimi , asal olarak toprakta besin elementi taşınması görevini yapar. Örneğin besin elementlerinin toprağın değişik kısımlarından bitki köküne taşınması gibi görevler üstlenir. Sıvı toprak fazında taşınan besin elementlerinin , temelde iyonik formda olmalarına karşın ; O₂ ve CO₂ toprak çözeltisinde molekül formda çözülmüş olarak bulunurlar. Toprağın gaz dilimi, çok sayıda toprak organizması (bitki kökleri, bakteri, mantar ve hayvanlar) ve atmosfer

arasında cereyan eden gaz değişiminde aracılık görevi yapar. Bu değişim olayı, yaşıyan toprak organizmalarına O₂ sağlar ve solunumla toprak atmosferinde oluşun CO₂ in atılması sonucunu doğurur. Toprağın her üç dilimi içindeki bitki besin elementleri, birbiriyle yakından ilgilidirler.

Toprakta verim ve kaliteyi etkileyecek etmenlerin başında gelen bitki besin elementleri kapsamının belirlenmesi, eğer varsa yetersizliği giderecek önlemlerin önceden alınması , gübreleme planının çıkarılması ürün miktarını ve kalitesini güvenceye alan bir yoldur. Bu nedenle toprak analizleri en çok uygulanan verimlilik belirleyici yöntemlerin başında gelmektedir. Toprak analizlerinin başarısı öncelikle alınan örneklerin bütünü (toprak popülasyonunu) temsil etmesi temel esasına bağlıdır. Usulüne uygun olarak alınıp analize hazır hale getirilen toprak örneklerinde ; Fiziksel özelliklerin belirlenmesine yönelik (nem, tekstür, saturasyon yüzdesi, tarla kapasitesi, solma noktası,) analizler daha çok toprağın havalanması ve su düzeni ile ilgili bilgileri sağlamaktadır. Toprakların kimyasal özelliklerini ortaya çıkaran analizlerin başında bitki besin kapsamının belirlenmesi gelmektedir. Bilim adamları genellikle bitki büyümesi için gerekli 17 elementi kabul etmektedir . Bu elementler karbon (C), hidrojen (H), oksijen (O), fosfor (P), potasyum (K), azot (N), kükürt (S), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), demirdir (Fe), bor (B), manganez (Mn), bakır (Cu), çinko (Zn), molibden (Mo), nikel (Ni) ve klor (Cl). Bunun yanında toprak verimliliğini etkileyen diğer özelliklerin (pH, organik madde, kireç, katyon değişim kapasitesi, elektriksel iletkenlik vb) analizleri de bilinmesi gereken özelliklerdendir (Karaçal, 2008)

Toprak analizi ile yarayışlı bitki besin elementleri kapsamının belirlenmesinde hareket noktası, toprağı belli bir çözücü (ekstraktant, ekstraktör) uygulanarak ekstraksiyon yapılmasıdır. Bitkilerce besin elementlerinin suda çözülmüş formlarının alınabildiği dikkate alınırsa, ekstraksiyonda da çözücü olarak suyun kullanılması gerektiği düşünülebilir. Ancak, bitki besin maddelerinin büyük çoğunluğunun toprak kolloidlerine (kil, humus vb) bağlı olduğu ve bunların ancak iyon değişimi yolu ile buldukları yerden sökülebileceği, yine mineral ve organik yapıda bağlı elementlerin de bitki gelişme döneminde serbest duruma geçeceği düşünülürse, suyun analiz için yeterli bir çözücü olmadığı anlaşılır. Yapılan ekstraksiyon işleminde, bitki kökleri ile gerçekleşen sömürme taklit edilmekte ve kök yerine, bitki besinini uygulanan kimyasal çözücü bünyesine almaktadır. Çözeltiye geçen besin elementi miktarı daha sonra analitik bir yöntemle belirlenmektedir. Buradan anlaşılmaktadır ki, uygulanacak çözücünün seçimi analizin en kritik aşamasını oluşturmakta ve bitki kökleri ile alınan besin maddesi miktarı ile uyumlu değeri veren yöntem en başarılı sonucu vermektedir. Bu nedenle, toprak analiz yöntemlerinin bitki yetiştirilerek uygulana sera ve tarla denemeleri gibi biyolojik yöntemlerle doğrulanması, kalibre edilmesi gerekmektedir.

Bu kalibrasyonu zorunlu duruma getiren bir diğer özellik de şudur; Kimyasal analiz yöntemleri genellikle ABD ve Avrupa'daki kimi ülkelerde geliştirilmiştir ve uygulanma felsefesi de o ülke topraklarının özellikleri dikkate alınarak geliştirilmiş bir ekstraksiyon yöntemi, farklı özellikler taşıyan başka bölge topraklarında uygulandığında beklenenin dışında sonuçlar ortaya çıkabilir. Bunu bir örnekle açıklayacak olursak; Toprakta fosforu çözeltiye almada (ekstraksiyonda) kullanılan yöntemlerden birisi,

HC+NH₄F olan Bray-Kurtz yöntemidir ve ABD topraklarında geniş anlamda başarıyla uygulanmaktadır. Ancak yöntemi Türkiye topraklarına uyguladığımızda bambaşka sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Bunun nedeni, kireçsiz topraklar için uygun olan bu asidik reaksiyon çözeltisi, kireççe zengin alkalın reaksiyonlu Türkiye topraklarına uygulandığında asit reaksiyonlu çözelti kireç tarafından nötralize edilmekte ve fosforu çözme gücü düşmekte, analiz düşük fosfor değerleri vermektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda alkalın reaksiyonlu ve kireçlitopraklar için geliştirilmiş, çözücüsü NaHCO₃ (pH 8.5) olan Olsen yönteminin Türkiye toprakları için daha uygun olduğu ortaya çıkmıştır. Çeşitli çözücülerin uygulandığı yöntemlerle ekstrakte edile yarayışlı fosfor konsantrasyonları da farklı olabilmektedir, Örneğin; Güney Doğu Anadolu yöresinde yapılan bir çalışmada; Olsen yöntemiyle 8.82 , Bray-Kurtz yöntemiyle 2.13 , Miller Axley yöntemiyle 3.56 pp, Kacar yöntemiyle 11.13 , Truog yöntemiyle 53.45 , Seatz -1 yöntemiyle 13.86, Apatit yöntemiyle 57.60 , Mehlich yöntemiyle 23.35 fosfor ekstrakte edilebilmiştir. Buradan anlaşılmaktadır ki uygun yöntem kullanılarak analiz yapılması kadar, bulunan değerlerin ne anlama geldiğini bilmek te çok önemlidir. Yani analiz sonucunun yorumlanması e belirlenen değer bitki için yeterli olup olmadığının açıklanması, sonucun tarla koşullarına taşınması gerekmektedir. Bu amaçla, her yöntem için toprak analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılan standartlar, sınır değerleri belirlenmiştir. Bu sınır değerleri, analiz sonuçlarının bitki yetiştirilerek yapılan sera ve tarla denemeleri ile uyumlu hale getirilmesi sonucunda ortaya çıkmıştır. Sınır değerlerine bakılarak, toprak analiz sonucunda elde edilen değer yorumlanması gerçekleştirilmektedir. Sınır değerleri yöntemlere göre rakamsal anlamda farklı olabilir, ancak göreceli olarak aynı standardı ifade ederler (Karaçal, 2008) .

Toprakta Besin Elementi Yarayışlılığını Etkileyen Faktörler

Besin elementi veya besin yarayışlılığı deyimi, bitki beslemede çok sık kullanılan bir sözcüktür. Basit olarak; toprakta bitki köklerine geçişi olabilen besin elementi fraksiyonu bitkilere yarayışlı besin elementi olarak düşünülebilir. Böylece besin elementleri yarayışlılığı deyimi, bitki besin elementlerinin bitki kökleriyle ilişkileri (bitki metabolizması) kadar, onların topraktaki fiziksel ve kimyasal durumlarını da kapsar. Bu nedenledir ki, yarayışlı bitki besin elementlerinin topraktaki miktarı kesinlikle ölçülemez ve nicel olarak ifade edilemez. Ancak, bitki besin elementleri yarayışlılığını etkileyen faktörleri ve bu etkenler arasındaki ilişkileri bilmek zorunlu ve yararlıdır.

Bu faktörler;

1. Kesişme ve temas değişimi; Kök yüzeyleri ve toprak kolloidleri arasındaki yakın temasın bitki köklerinde serbeslenen H⁺ iyonlarının, toprak kolloidlerinin değişim yüzeylerinde adsorbe olmuş katyonlarla doğrudan değişimine olanak sağlayan kuramdır (Jenny ve Overstreet, 1938)
2. Kitle akışı ve Diffüzyon; Çözünmüş maddelerin (solutların) suyun konvektif akışıyla topraktan bitki köklerine taşındığı durumdur. Diffüzyon; Bir iyonun yüksek konsantrasyondan düşük konsantrasona doğru rastlantısal ısı hareketiyle taşınması 'geçişme' (diffüzyon) oluşur. İstar kitle akışı ister geçişme

ile olsun, toprakta iyon taşınması veya hareketinin hız ve miktarı, büyük ölçüde toprak nemine bağlıdır.

3. Toprak çözeltisi; Diğer bir ifade ile su ile doyurulmuş toprağın ekstraksiyonu ile elde edilen çözeltide iyon türlerinin konsantrasyonları, toprak özelliklerine bağlı olarak geniş çapta ayrıcalık gösterir. Ancak toprak çözeltisinin genellikle; P iyonu konsantrasyonu çok düşük, K ve Mg iyonu konsantrasyonları orta, Ca iyonu konsantrasyonu ise oldukça yüksektir.
4. İntensite -Kantite; büyüme dönemi boyunca bitkilere yeterli besin elementleri sağlanması zorunludur. Bu nedenle toprak çözeltisinde besin elementleri konsantrasyonunun uygun bir düzeyde tutulması gerekir. Bun göre, besin elementi yayırlılığı, sadece toprak çözeltisinin belli bir zamandaki besin elementi konsantrasyonuna değil, aynı zamanda toprağın toprak çözeltisi besin elementi konsantrasyonunu belli bir düzeyde tutabilme yeteneğine de bağlıdır. Toprağın toprak çözeltisi besin elementi konsantrasyonunu bu tamponlama yeteneği, besin elementi yayırlılığında önemli bir etkidir. Bitkilerce yüksek düzeyde gerek duyulan elementler, genel olarak toprak çözeltisinde oldukça düşük konsantrasyonlarda bulunur. Bu durum özellikle P ve K için doğrudur. Örneğin 1 hektarlık tarım alanındaki toprakta sadece 0.5-1 kg P içermesi gibi. Oysa bitkiler söz konusu besin elementine çok daha fazla ihtiyaç duyar (örneğin bir tahıl bitkisi için 20 kg /ha gibi). Ancak bu koşullarda bitki besin noksanlığı göstermeden yeterli düzeyde beslenebilir. Bu tartışmadan çıkarılacak sonuç; toprakta Kantite (Q) ve İntensite (I) faktörü olarak adlandırılan iki besin fraksiyonu birbirlerine bağımlıdır, bitki köklerine sağlanacak olan besin düzeyi, intensite (toprak çözeltisi besin konsantrasyonunun) nin kantiteye (değişken depo) bağlı değişimi tarafından denetlenir. Kantitenin besin sağlama gücü daha çok iklim ve toprak (pH, sıcaklık, havalanma, nem düzeyi vb) koşullarına bağımlıdır Toprağın besin elementi inensitesini belli bir düzeyde tutabilme yeteneği her toprak için farklıdır. Azot hariç özellikle fosfor ve potasyum için uygulanabilen bir görüştür. Büyük bölümü organik formda olan Toprak azotu tamponlanarak değil, organik maddenin biyolojik olarak mineralizasyonla amonyum ve nitrata dönüşür. Nitrat anyonu düzeyi son derece değişkendir.
5. Kök Büyümesi ve Dağılımı; Besin elementi yayırlılığını iki yolla etkiler. Bunlar, kök sistemi yoğunlaştıkça besin elementlerinin kitlesel akış ve diffüzyonla köklere ulaşma şansı artar, ve diğeri, kök metabolizması bir besin elementi açığı yaratır ve bu açık da besin elementi yayırlılığını etkiler. Aynı zamanda organik ve inorganik maddeler salgılamak suretiyle de kökler besin elementi yayırlılığını etkiler (Aydemir, 1997)

Belli bir besin elementi için, her girdinin oransal büyüklüğü ve büyüme mevsimi boyunca değişimin bilinmesi, o besin elementi için toprak testi geliştirilmesinde yardımcı olur. Örneğin verimlilik testlerinde daima besin intansitesi mi, yoksa kapasitesini m,i analiz etmek daha iyidir? sorusu yöneltilir. Kuramsal olarak, kapasite faktörü büyüme mevsimi boyunca çözelti konsantrasyonunu belli bir düzeyde tutabilecek durumda ise, intensite

faktörünün analiz edilmesi arzu edilir. Bu durum, P, Ca, Mg, ve kimi zaman K için karşılanabilir. Bazı durumlarda bir büyüme mevsiminde kapasite faktörünü sömürmek olasıdır. Böylesi koşullarda intensite yerine kapasite faktörünün yada her ikisinin birlikte ölçülmesi istenir. Bu duruma K bir örnek oluşturur. Azot gibi ana kapasite faktörü toprak çözeltisi ile dengede olmayan elementler için, toprak testleri geliştirilmesi, özellikle güç bir sorundur.

Bu genel tartışma besin elverişliliğini denetleyen etkenlerin, yeni toprak testi geliştiren yada sonuçlarını yorumlayanlar için, iyi anlaşılmasının önemini kısaca vurgulamaktadır. Ancak toprak sistemi çok karmaşık olduğu gibi, söz konusu etkenlerin nasıl işlediği de tam olarak bilinmemektedir. Dolayısıyla, bu faktörlere ilişkin bilgi düzeyi arttıkça, toprak test sonuçlarının, verimliliği belirleme değerlerinin de giderek artacağı söylenebilir (Aydemir, 1992 ; Aydemir, 1993).

Kimyasal Toprak Çözümlemeleri Tekniği ve Kimyasal Çözücü (ekstraktant) geliştirme süreci

Toprak analizleri tekniğinde temel ilke, toprakta bulunan bitkiye yararlı besin elementlerinin bir bölümünü ya da tümünü kimyasal çözücülerle çözmek ve çözeltiliye alınan besin elementleri miktarını kimyasal olarak belirlemektir. Toprak analizleri tekniğinde hiçbir zaman toprakta bulunan besin elementlerinin toplam konsantrasyonlarının belirlenmesi öngörülmez. Çünkü topraktaki bir besin elementinin tümü bitkiye yararlı halde değildir. Bu nedenle de toprağın toplam elementel analizleri, bitkilerin besin gereksinimi ya da toprağın besin sağlama gücü yönünden çoğu zaman bir ölçü olmaz.

Vietz (1962) topraktaki besin elementi kaynaklarını 5 gruba ayırmıştır ;

1. Suda çözünebilir
2. Değişebilir
3. Adsorbe olmuş , kilyetleşmiş, kompleks oluşturmuş bileşikler)
4. Kil Mineralleri, ikincil mineraller ve çözünmeyen metal oksitler ;
5. Birincil mineraller

İlk 3 grubun kendi aralarında dengede olduğu varsayılmaktadır. Bu üç grubun besin kaynağı , bitkilere besin elementi sağlanmasında son iki kaynağa göre çok daha önemlidir. Bu nedenle kullanılan toprak analiz yöntemleri bu üç kaynağın içerdiği besin elementlerinin bir bölümünü ya da tümünü çözeltiliye alabilmelidir.

İyi bir toprak analiz yöntemi Bray (1948)'e göre şu özellikleri taşımalıdır; 1. Kullanılan kimyasal çözücü değişik özellikteki topraklardan bitkiye yararlı besin elementlerinin bir bölümünü ya da tümünü çözebilmeli 2. Çözeltiliye alınan besin elementinin konsantrasyonu oldukça yüksek bir duyarlılıkla ve kolayca ölçülebilmeli 3. Toprakta sömürülen besin elementi miktarı değişik koşullar altında o besin elementinin bitkide ortaya çıkaracağı büyüme ve bitki tepkisiyle yakın bir ilişki içinde olmalı. Her bir bitki besin elementi için bu özelliklerin en azından bir karşılayan çok sayıda kimyasal çözücü geliştirilmiştir. Ekstrakte edici çözücüler ; genellikle su, asitler, bazlar bunların değişen konsantrasyon birimlerindeki karışımları ve bazı organik kimyasallar dahil çeşitli

kimyasal çözeltilerden oluşmaktadır. Örneğin Florida'da Toprak Testi Laboratuvarı asetik asit, amonyum nitrat, nitrik asit, amonyum florür ve etilen diamin tetra asetik asitten (EDTA) oluşan Mehlich-3 toprak testi ekstraktını kullanmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde tarımsal toprak test laboratuvarları tarafından yaygın olarak kullanılan en az bir düzine toprak testi ekstraktörü vardır, ancak tüm ekstraktörler tüm tarımsal bölgeler için uygun değildir. Her ekstraktant belirli hedeflere ulaşmak için geliştirilmiştir, ancak bazı ekstraktörler toprak tipleri ve test edilen besinler arasında geniş uygulanabilirliğe sahip olacak şekilde geliştirilmiştir. Bu son ekstraktlara *evrensel ekstraktörler* denir ve Mehlich-3 bu tür ekstraktör maddelerden biridir. Mehlich-3 ekstraktı, Florida'nın yüksek pHlı tarımsal toprakları için uygundur (Mylavarapu et al. 2014)

Toprak analizleri tekniğinde en büyük güçlük , toprak analiz yöntemlerinin kalibrasyonu ile ilgilidir. Toprak analiz sonuçlarının biyolojik yöntemlerle (tarla ya da sera denemeleri) araştırılan besin elementlerinin uygulanması ile elde edilen bitki tepkisi ilişkilerinin belirlenmesi zorunludur. Bu ilişkinin belirlenmesinden sonra hangi düzeyde ürün için ne kadar besin elementi uygulanacağı belirlenebilir. Toprak analiz sonuçlarının yorumlanarak toprağa uygulanacak besin elementi miktarının belirlenmesinde ayrıca toprak, iklim ve bitki etkenlerinin de dikkate alınması gerekir. Bu yolla daha gerçekçi değerlendirme olanağı vardır.

Topraklarda besin elementi elverişliliğini belirlenmesinin en doğrudan yolu, tarla parsellerinde gübreleme denemeleri aracılığıyla, bitkilerin büyüme tepkilerini ölçmektedir. Ancak bu yol zaman alıcı olduğu kadar, bir yörede elde edilen sonuçlar, bir başka yöreye de kolayca uygulanamazlar. Öte yanda toprak analizleri (toprak testleri) topraklarda gübreleme önerilerine temel oluşturan besin elementleri elverişliliğini belirleme yolu olarak nispeten çabuk ve ucuz yöntemlerdir. Genel olarak bitki yetiştiriciliğinde ve özel olarak da sebzeçilikte toprak testleri, uzun yıllardan beri sınırlı bir başarı ile uygulamaktadır. Bu yöntemin başarısı, toprak test sonuçlarının tarla gübre denemeleri ile kalibre edilmiş olup olmaması ve analiz sonuçlarının yorumu ile çok yakından ilgilidir. Çoğu zaman toprak testlerinden beklentiler, toprak analizlerinin yetenek ve yeterliliğinin çok üstüne çıkmaktadır (Aydemir 1997).

Çoğu zaman aynı bitki besin elementlerinin elverişliliğini toprak testi ile belirlemede birçok yöntem eş düzeyde uygun düşebilmektedir. Örneğin P elverişliliğini belirlemede su ekstraksiyonu, farklı miktarlarda P ekstrakte edilmesine karşın, seyreltik asit çözeltileri ekstraksiyonu düzeyinde uygun düşebilmektedir. Ancak tek başına kimyasal toprak analizleri temeline göre bitkinin gübreye tepkisini ölçmek ya da tahmin etmek, değişik nedenlerden ötürü iyi sonuç vermemektedir. Bu nedenler şu şekilde özetlenebilir:

1. Kimyasal toprak analiz sonuçları sadece toprağın bitkiye besin elementi sağlama kapasitesi ya da potansiyelini gösterir.
2. Halbuki besin elementinin topraktaki hareketliliğini yeterince karakterize etmez.
3. Toprak testi sonuçları, tarla koşullarında bitkinin besin elementi alımında belirleyici rol oynayan bitki kök büyümesi ve bitki kökü tarafından rizosferde yaratılan değişimler gibi bitki etkenleri konusunda hiçbir bilgi vermez (Aydemir 1997). Toprak testinde genellikle ilk akla gelen ve rutin olarak

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

kullanılan üç terim "korelasyon", "kalibrasyon" ve "yorumlama" dır. Bu terimler, toprak testinin temelini oluşturan çok önemli kavramları tanımlamaktadır (Brown 1987). Toprak test yöntemlerinin korelasyonu; Bitki besin alımı ve/veya verim arasındaki ilişkiyi belirleme süreci ve belli bir toprak tarafından ekstrakte edilen besin maddesi miktarı Ekstrakte eden yöntemin seçimini kapsar. Toprak testi kalibrasyonu; Farklı topraklar için bitki besin maddesi ihtiyacının belirlenme sürecini kapsar. Toprak test sonuçlarının yorumu; Toprak testleriyle elde edilen konsantrasyon değerleri (yarayışlılık indeksi) referansıya; toprak, bitki , ekonomik, çevresel ve iklimsel veriler dikkate alınarak gübre önerilerinde bulunulur.

Toprak test prosedürlerinin sürekli olarak değerlendirilmesi gerekir. Örneğin, Florida tarımsal üretiminde 30 ila 40 yıl boyunca kullanılan çoğu arazi için toprak pH'ında artışlar olmuştur. PH'daki artış, rutin kireçlendirme uygulamalarından ve Florida akiferleri gibi kireçtaşı akiferlerinden yüksek pH'lı kuyu suyu ile sulamadan kaynaklanmaktadır. Toprak numunesindeki serbest kireç, günümüz topraklarında işlevini yerine getiremeyen bir ekstrakt yapabilir, bu nedenle yeni bir toprak testi prosedürü gerekebilir. Toprak testinin anlaşılması, çevreyi potansiyel olarak etkileyebilecek aşırı gübre uygulamalarının önlenmesinin ve ticari olarak uygulanabilir verimlerin ve estetik, sağlıklı manzaraların sağlanmasının önemli bir parçasıdır. Toprak testi araştırması bugün ABD'de yaygın olarak yapılmamasına rağmen, araştırma sürecini anlamak ve modern toprak testlerimizin nasıl geliştirildiğini öğrenmek hala önemlidir. Dahası, uygun toprak testlerinin anlaşılması önemlidir, bu nedenle çiftçilere ve bahçecilik alanlarına öğretebiliriz. çiftçilere ve toprak bakıcılarına (profesyonel ve özel) öğretebiliriz.

Toprak testleri, bitki yetiştirmeye yönelik kireç veya gübre tavsiyelerinin temelini oluşturur ve basit, ekonomik bir bilimsel araçtır. Temel olarak, toprak testleri, toprağın o büyüme mevsimi boyunca belirli bir mahsul / bitki için besin sağlama kapasitesini belirlemek için bir toprak numunesinde yapılan kimyasal testlerdir. Bir toprak testinin laboratuvar sonucu aynı zamanda bir toprak test endeksi olarak da adlandırılır, çünkü bir toprak test raporu, bitki besin kullanılabilirliği ile ilgili birden fazla değer (besin değerleri ve toprak faktörleri gibi) bir entegrasyonudur (Hochmuth et al. 2014).

Toprak testi, gübrelemenin yatırımın geri dönüşüyle, diğer bir ifadeyle verim ve / veya kalitede iyileştirme/geliştirme ile sonuçlanacağı toprakları tanımlayabilmelidir. Ek olarak, toprak testi gübrelemenin gerekli olmadığı toprakları tanımlayabilmelidir. Toprak testi gelişiminin bu kısmına korelasyon denir. Uygun şekilde ilişkilendirilmiş bir toprak testi, bitkilerin besin uygulamalarına / uygulamalarına cevap verecekleri ve cevap vermeyenleri tanımlayacaktır. Ayrıca, toprak test işlemi, yanıt vermesi muhtemel olan topraklar için gübre gereksinimlerinin doğru bir tahminini sağlamalıdır. Toprak testi gelişiminin bu kısmına kalibrasyon denir. Kalibre edilmiş bir toprak testi, belirli bir toprak testi değerine (endeks) karşılık gelen belirli bir besin miktarını önerebilir. İlişkili ve kalibre edilmiş bir toprak testine atıfta bulunduğumuz zaman, gerçekten toprak testi-ekstraktan metodunu kastediyoruz. Korelasyon ve kalibrasyon, bazı veri örnekleriyle birlikte aşağıdaki bölümlerde daha ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Ne yazık ki, korelasyon ve kalibrasyon araştırması zaman alıcı ve oldukça pahalıdır. Ülke genelinde kullanılan toprak testlerinin

çoğu, 1950'li ve 1970'li yıllar arasında geliştirilmiştir. Florida'da, son toprak testi geliştirme araştırması 1990'ların sonunda, sebzeler için besin tavsiyelerinin doğrulanması tamamlandığında gerçekleşmiştir (Mitchell ve Mylavarapu 2014).

Toprak testinin aşamaları;

1. Toprak örnekleme

Toprak test programı toprak örneklerinin alınması ile başlar. Örnekleme bir tarla toprağının gerçek verimlilik değişimlerini yansıtmalıdır.

2. Besinlerin topraktan sömürülmesi ve sömürülen besinlerin kimyasal analizi

Toprak testinin temel ilkelerinden biri de toprakta elverişli besin elementleri düzeyini, hassas bir biçimde ölçebilmek için basit ve çabuk kimyasal analiz yöntemleri geliştirebilmektir.

3. Korelasyon Kalibrasyon ve Analiz sonuçlarının Yorumu

Toprak test sonuçlarının akılcı yorumu , daha önce yapılan korelasyon çalışmalarına dayanmalıdır. Toprak testlerinin bir başka temel ilkesi de toprak test değerinin çoğu koşullar altında bağımsız bir değişken olarak ele alınmasını ve bitki tepkisi yada yüzde ürün ile ilişkilendirilmesini öngörür. Bütün toprak test değerleri tepki düzeyi bilinen topraklardaki bitki büyüme tepkisiyle korele edilmelidir (Aydemir 1997).

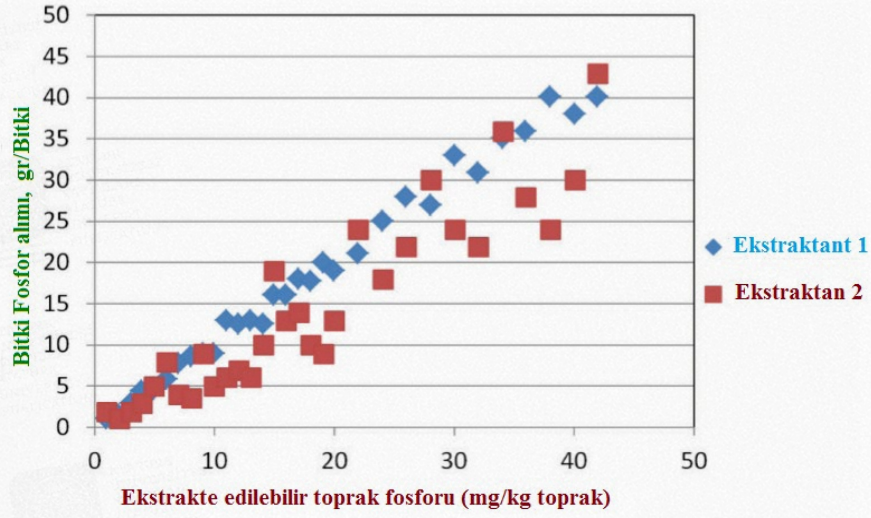
Korelasyon ve kalibrasyonda deneysel yöntemler,

Toprak testinin geliştirilmesine yönelik araştırmalarda başlangıçta iki konuya ağırlık vermiştir; 1.Toprak örneklerinde besin elementi elverişlilik ölçütü elde edebilecek daha iyi laboratuvar testlerinin geliştirilmesi. Ve 2. Bu testleri toprak örneklerinin analizi için laboratuvarlarda kullanmak ve gübre önerilerinde bulunmak.

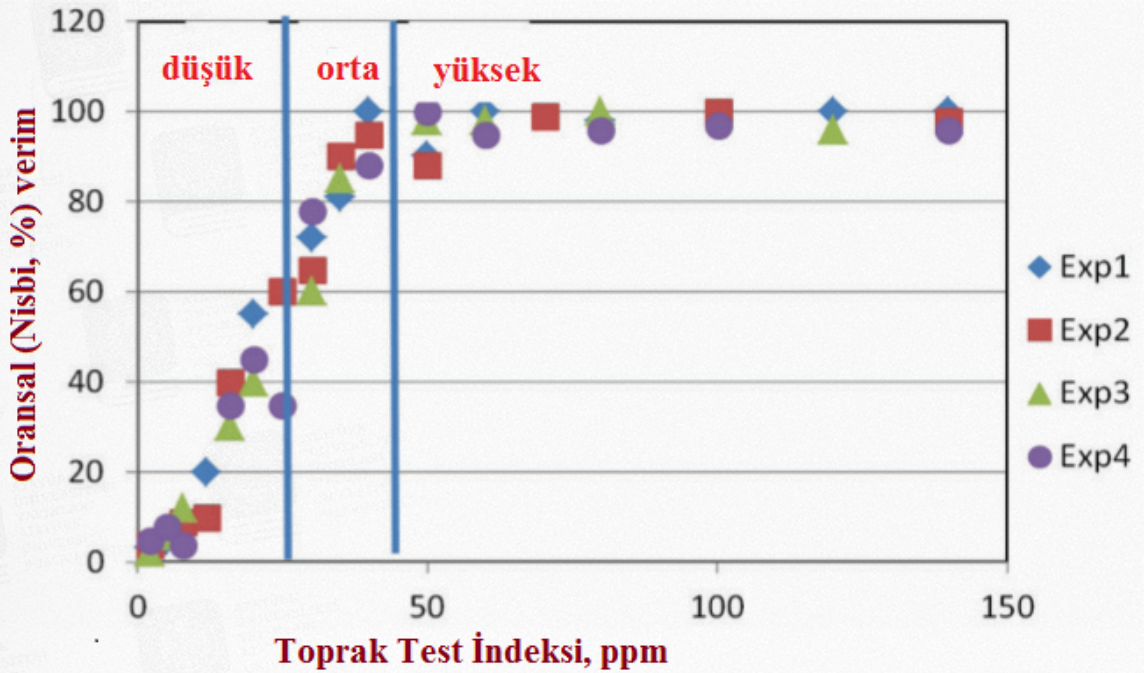
Korelasyon Çalışmaları

Besin elementi elverişlilik ölçütü sağlamak üzere çok sayıda laboratuvar testi geliştirilmiştir. Ancak bunlardan hiç birisi, tüm topraklar için uygulanabilir değildir. Dolayısıyla test edilen toprakta besin elverişlilik ölçütü olabilecek en iyi laboratuvar testini seçebilmek ve ona temel oluşturabilmek için korelasyon çalışmalarının yapılması zorunludur. Güvenilir besin elverişlilik ölçütü elde etmek için, simgeleyeci alt toprak örneklerinde (sera yada büyüme odalarında) araştırılan besinin dışındaki besinlerin yeterli düzeylerde sağladığı koşullarda bitki yetiştirilir. Yine aynı şekilde hazırlanan toprak alt örnekleri potansiyel olarak kullanılabilir kimyasal laboratuvar yöntemleri ile test yada analiz edilir. Bitki deneme sonuçları ve toprak analiz sonuçları arasındaki korelasyonlar, en iyi laboratuvar testini seçmede bir ölçü olarak görev yapar (Şekil 6-7).

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)



Şekil 6. Farklı 2 ekstraktantın sömürdüğü besin miktarlarının bitki besin alımı arası korelasyon. 1 nolu ekstraktant için korelasyon yüksek.



Şekil 7. Ürün tepkisinin oransal verimdeki değişimlere (düşük, orta, yüksek) göre sınıflandırılması

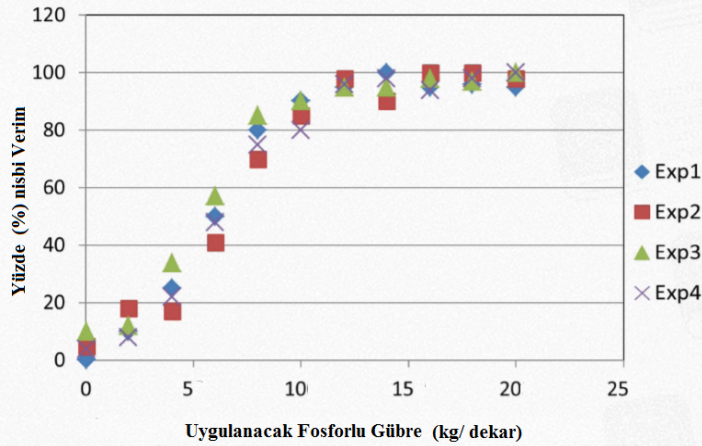
Kalibrasyon Çalışmaları

Çiftçiye gübre önerilerinin temelini oluşturan kimyasal testlerin kalibrasyonu için yapılan denemeler tarlada yürütülmelidir. Kalibrasyonda gerekli verileri elde edebilmek için en azından temelde farklı 3 tip tarla çalışması yada denemesi yapılması gerekir. Bunlar ;

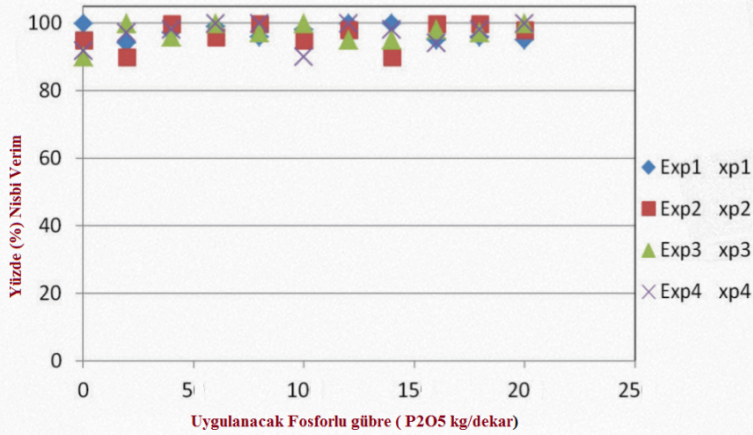
1.Farklı toprakları haritalamak ve karakterize etmek için toprak etüdları ve bölgenin iklimsel koşullarını karakterize etmek için iklimsel çalışmalar yapılır. Toprak ve

iklim verileri toplanır.2 .Değişik denetlenebilir ve kesikli değişkenlerin (bitki çeşidi , yabancı ot ve insekt kontrol yöntemi, kültürel uygulamalar ve gübre çeşidi) etkilerini karşılaştıracak tarla denemeleri 3.Denetlenebilir ve denetlenemeyen kesiksiz değişkenlerin etkileri ve aralarındaki etkileşimleri belirleyecek tarla kalibrasyon çalışmaları

Her 3 deneme çeşidi de önemli olmakla birlikte kalibrasyon çalışmalarında 3 tip denemeler ön plandadır ve tarla denemeleri özellikle bu amaca yönelik olarak planlanmalı ve yürütülmelidir. Bu denemelerde değişik etkenlerin etkileri sonucu elde edilen ürün tepkisi ve toprak test sonuçları çoklu regresyon analizleriyle ilişkilendirilerek kalibrasyon çalışmaları gerçekleştirilebilir (Hochmuth et al. 2014).



Şekil 8. Kalibrasyon çalışmasında düşük toprak test değerine karşılık, uygulanan gübre miktarına karşılık olası verim



Şekil 8. Toprak testi sonucu yüksek besin (P) içeriğine sahip topraklarda ürün tepkisi, ve sıfır gübre önerisi

Toprak Test Sonuçlarının Yorumu

Toprak testinin amacı, toprağın kimyasal özellikleri ile bitki büyümesi arasında deneysel olarak belirlenen ilişkileri kullanılarak, toprağın bir verimlilik klavuzunu elde etmektir. Bu ilişkiler, çok sayıda tarlaya uygulanabilecek kadar geniş bir tabana oturmalıdır. Toprak –bitki ilişkileri belirleme sürecine “kimyasal test sonuçlarının

kalibrasyonu" adı verilir. Kalibre edilmiş bir toprak test değeri, belli bir besinin noksanlık derecesini ve noksanlığı düzeltmek için ne kadar besin (gübre) gerektiğini gösterir.

Toprak Test Kalibrasyonunda uygulamalar;

Kısa Süreli Tarla Denemeleri

Deneme işlemlerinin bir tarla parselinde bir yıl uygulandığı denemele, toprak test değerleri ve doruk ürün için, o toprakta bulunan besinlerin yeterlilik ilişkisini belirlemede yararlıdır. Bu tür denemeler, işlemlerin ürün, toprakta besin birikimi yada kaybını ölçmediği için yüksek ve sürekli verimlilik için önerilecek gübre oranlarını belirlemede yararları çok değerlidir.

Uzun Süreli Tarla Denemeleri

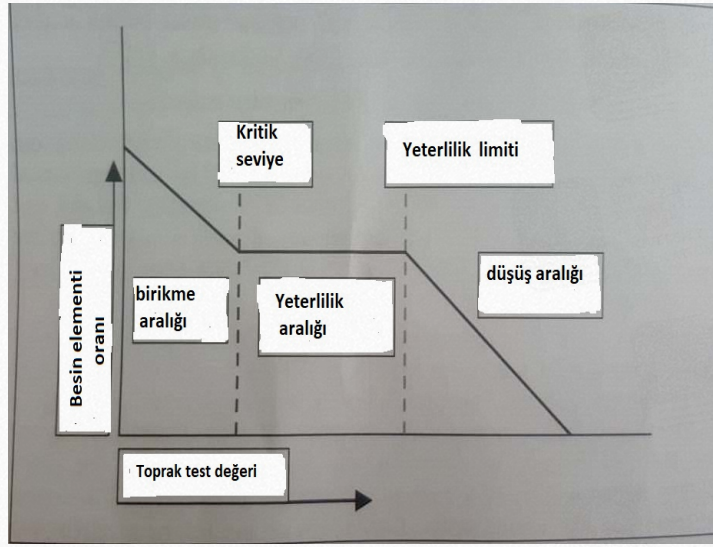
Önerilecek gübre dozlarını belirlemede en iyi sonuç ve verileri sağlayacak denemeler, uzun süreli denemelerdir. Sonuç olarak toprak test sonuçlarının kalibrasyonunda en sağlıklı sonuçlar uzun süreli tarla denemeleri ile elde edilir.

Laboratuvar Araştırmaları

Denemelerden alınan toprak örnekleri, çalışmaya konu laboratuvar yöntemlerine tabi tutulmalıdır. Böylece ürün ve kimyasal yöntemle topraktan sömürülen besin değerlerini karşılaştırmak olası olur. Kimyasal yöntemde kullanılan toprak/çözelti oranını, çalkalama süresini ve ekstraksiyon çözeltilerini karşılaştırmada bitki tepkisi olduğu bilinen toprak örnekleri arzu edilir.

Toprak Test Değerinin Basamaklandırılması ve Verimlilik Ölçütünün Kullanılması

Bir çok laboratuvar, toprak test değerlerini belirlemede, farklı kademelendirme sistemleri kullanılır (Şekil 10-12 ve Çizelge 3).

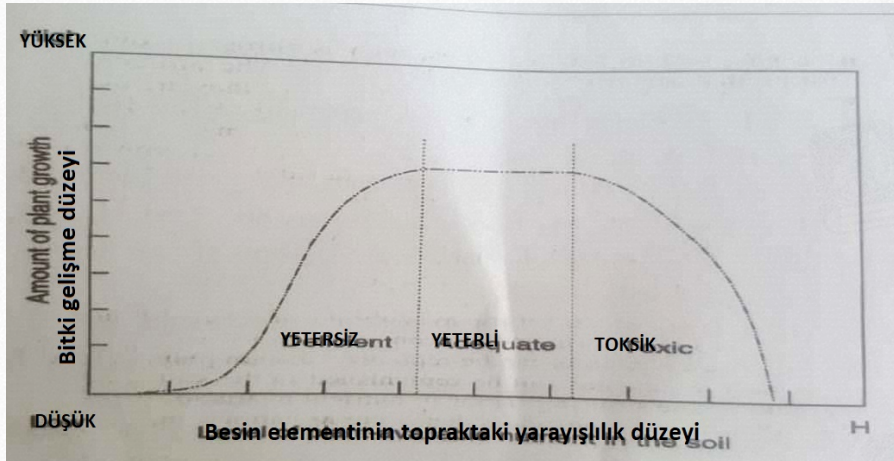


Şekil 9. Toprak test değeri ve besin alım oranı arası ilişki (Carrie, 2008)

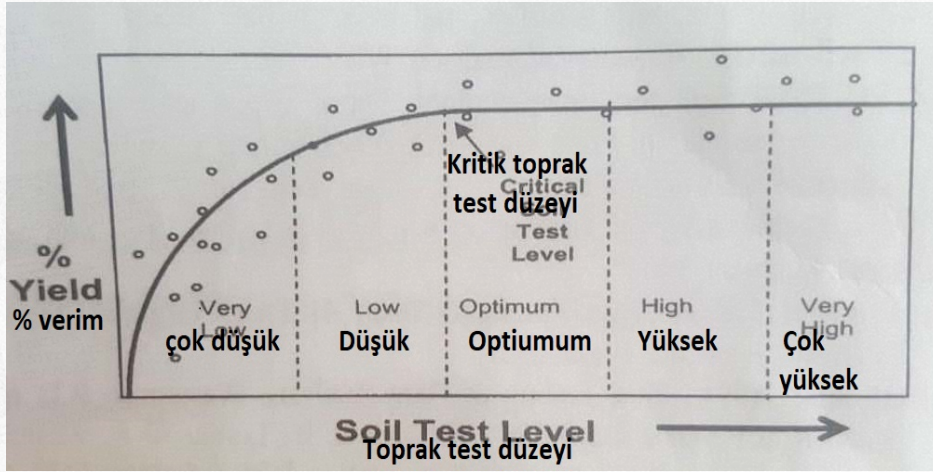
Toprak test değeri	Toprak ve gübreden besin elementinin sağlanma oranı	Muhtemel verim artışı
çok yüksek	TOPRAK	< %5
Yüksek	TOPRAK GÜBRE	% 5-10
optimum	TOPRAK GÜBRE	% 30-60
düşük	TOPRAK GÜBRE	%60-90
çok düşük	TOPRAK GÜBRE	> % 90

←—————→
 Toprağın besin yararlanılabilirliği Besin elementi gereksinimi

Şekil 10. Toprak test sonuçlarının yorumlanmasında kullanılan katagoriler (Carrie , 2008)



Şekil 11 Kalibrasyon eğrisi 1 (Heckendorn, 2007)



Şekil 12. Kalibrasyon eğrisi 2 (Heckendorn, 2007)

Çizelge.3 Toprak test değerleri ile gübre önerileri arası ilişkiler (yeterlilik seviyeleri) (Aydemir, 2013)

Test kategorisi	Gübre önerisi
Çok düşük, düşük	Bitki gübre içeriği fazla
Optimal	Gübre alımı söz konusu
Yüksek	½ oranında gübre ister
Çok yüksek	¼ oranında gübre kaldırır
Aşırı yüksek	Gübreleme gereksiz

SONUÇ

Bir toprak test ekstraktörü geliştirmeye yönelik araştırmanın en önemli süreci, dikkatli ve özenle yürütülen korelasyon ve kalibrasyondur. Hızlı toprak test yöntemlerinin belirlenmesi sonucu elde edilen yarıyışlılık indeksi, tüm gübre önerilerinin belirlenme sürecine temel oluşturmaktadır. Korelasyon ve kalibrasyon süreci olmaksızın, toprakların verimlilik durumunun belirlenmesi ve gübre önerilerinde bulunulması amacıyla kullanılacak olan hızlı toprak test yöntemlerinin hiçbir anlamı yoktur. Kalibre edilmiş toprak testi, çiftçilerin kârını maksimize etmesine ve çevreyi korumasına yardımcı olur.

Toprak test indeksi sonuçlarının yorumlanması

Toprak testi indeksi, toprağın besin sağlama kapasitesinin ve beklenen nispi veriminin bir göstergesidir (Çizelge 4). Topraktaki bir besleyicinin toplam miktarı, gübre tavsiyelerinin belirlenmesinde çok önemlidir, çünkü büyüme mevsimi boyunca bitkinin kullanımı için bir besleyicinin sadece bir kısmı mevcut olabilir. Örneğin, bir toprağın besin kullanılabilirliği, bir besleyicinin zamanla geçirebileceği sayısız kimyasal reaksiyonu içerir ve bir besin, birden fazla biçimde bulunabilir (bazıları çözünmez). Bu nedenle, toprak testi endeksinde genellikle uygunluk indeksi denir. Kullanılabilirlik indeksi, önceki araştırmalara dayanarak, muhtemelen büyüme mevsimi boyunca mahsulün besin ihtiyacına katkıda bulunacak olan bir besinin besin seviyesini gösterir.

Toprak testi, topraktan tedarik edilebilecek ürün besin ihtiyacının bir kısmının belirlenmesi için önemlidir. Toprak testi, toprakta oldukça hareketli olmayan besinler açısından en etkilidir. Toprak testi önemli bir en iyi yönetim uygulamasıdır. İlişkili ve kalibre edilmiş toprak testi uygulayan çiftçiler uygun gübre oranlı uygulamalardan faydalanacak ve uygun olmayan gübreleme uygulamaları nedeniyle çevreyi besin kirliliğinden koruyacaktır (Mylavarapu et al, 2014).

Daha önce de belirtildiği gibi, toprak numunesinden ekstarkte edilen besin konsantrasyonunun indeksi, toprak testi endeksini ifade etmekte olup, toprağın besin sağlama kapasitesinin ve beklenen nispi veriminin bir göstergesidir (Çizelge 4). Topraktaki bir besleyicinin toplam miktarı, gübre tavsiyelerinin belirlenmesinde çok önemlidir, çünkü büyüme mevsimi boyunca bitkinin kullanımı için bir besleyicinin sadece bir kısmı mevcut olabilir. Örneğin, bir toprağın besin kullanılabilirliği, bir besleyicinin zamanla geçirebileceği sayısız kimyasal reaksiyonu içerir ve bir besin, birden fazla biçimde bulunabilir (bazıları çözünmez). Bu nedenle, toprak testi endeksine genellikle uygunluk endeksi denir. Kullanılabilirlik endeksi, önceki araştırmalara dayanarak, muhtemelen büyüme mevsimi boyunca mahsulün besin ihtiyacına katkıda bulunacak olan bir besinin besin seviyesini gösterir.

Çizelge 4. Toprak test indeksi (Tahmini ürün verimi ile toprak test indeksi yorumu)

Düşük	=% 75'ten az
Orta	=% 75 -% 100
Yüksek	= Beklenen verimin% 100'ü

Laboratuarda kullanılan özütleyici (ekstraktör, ekstraktant), ürün tepkisi ile ilişkilendirilmelidir. Bu korelasyon, eğer ekstraksiyon toprağın işlemi düşük düzeyde özütlemeye neden olursa, o zaman yeterince yarayışlı besin içermeyen toprağın, düşük verimli bir ürün üreteceği anlamına gelir. Eğer ekstarkte etme işlemi yüksek bir yorumlama ile sonuçlanırsa, toprak yüksek verimli bir mahsul üretecektir. Ayrıca, özütleyici kalibre edilmelidir, bu, özütleyici kullanan laboratuvarın bir gübre önerisini her bir toprak test sonucu yorumlaması ile doğru bir şekilde birleştirebileceği anlamına gelir (Mitchell ve Mylavarapu 2014).

Toprak testi sıklığı

Toprak testi çoğu durumda düzenli, yıllık bir işlem olmalıdır. Bununla birlikte, yüksek değerli ürünler için toprak testi mevsimsel olarak yapılmalıdır. Belirli bir besin maddesi için endekste herhangi bir düşüş göstermezse, örnekleme sıklığı her iki veya üç yılda bir azaltılabilir Düşük düzeyde katyon değişim kapasitesine sahip kumlu topraklarımızda besin maddelerinin oluşma olasılığı daha düşüktür, bu nedenle yıllık toprak testi düşük besin içerikli topraklara bitki ekim yapmamanıza yardımcı olacaktır. Toprak analiz değerleri kendi başlarına toprak verimliliği konusunda hiç bir anlam taşımazlar. Toprak verimliliği yönünden anlam kazanabilmesi için, bu değerlerin önce biyolojik ölçütlerle ilişkilerinin saptanması ya da biyolojik ölçütlerle kalibre (ayar) edilmeleri gerekir

Bitki Beslemede Geçmişten Alınan Deneyimlere Dayalı Yeni Yöntemler

Bitki beslemede modern yollar incelenirken tarih unutulamaz. Daha önce doğrulanmış bazı veriler genellikle yeni çalışmalarda tekrar tekrar doğrulanır veya iyileştirilir. Önemli sonuçlar elde etmek için uzun süreli gözlemlere ihtiyaç vardır. Bir veya iki yıllık saha şartlarında iyi sonuçlar alınması, uygulanan stratejinin gelecek sezonlarda mutlaka başarılı olacağı anlamına gelmemektedir. 1843'ten bu yana, dünyanın her yerinde, farklı toprak ve doku türlerinde ve iklim koşullarında (yağış ve sıcaklık), çeşitli çeşitler ve farklı sürelerde uygulamalarla birçok uzun vadeli arazi deneyi yapılmıştır. Söz konusu araştırma çalışmalarında denemeler, çoğunlukla farklı organik ve mineral gübre uygulamalarının değerlendirilmesine odaklanmıştır

Yeni teknolojilerde olduğu gibi bitki beslemede de son yirmi yılda büyük bir ilerleme kaydedildi. Özellikle, yeni analitik teknolojiler (tomografi, spektrometri ve kromatografi), yoğun olarak çalışılan ortamlar (rizosfer, toprak mikrobiyal toplulukları ve enzimatik aktivite), besin ilişki indeksleri ve uygun veri değerlendirmesi gibi konuların genel önemine değinilen çalışmalar artmıştır. Diğer taraftan bitki besleme stratejilerinden , bitki yetiştirme , hassas tarım, gübre yerleştirme, biyostimülanlar, besin kaynağı olarak atık materyaller ve nanoteknolojiler konularına odaklanılmıştır. Çözüm odaklı mercek altına alınan çalışmalarda ise , toprak tuzluluğu tehdidi başta olmak üzere, biyotik ve abiyotik stresi de içeren, bitki beslemeyle ilgili artan çevresel riskler üzerine yoğunlaşan çalışmalar artmıştır (Kulhanek et al, 2023)

Yeni Enstrümantal Analitik Yöntemler veya Teknikler

Uzun vadeli tarla deneylerinin sonuçları genellikle yalnızca verimin, toplam toprak organik madde içeriğinin ve biyolojik olarak kullanılabilir besin durumunun değerlendirilmesini içerir. Ancak analiz olanakları ve sonuçların değerlendirilmesi son birkaç on yılda büyük ölçüde gelişti. Dolayısıyla değerlendirmenin pek çok farklı açıdan yapılması mümkün olabileceği gibi, yeni yaklaşımların da hayata geçirilmesi mümkündür.

Bitkilerde ve toprakta bulunan element veya moleküllerin içeriğini ve bunların etkileşimlerini belirlemek için kullanılan bazı yeni yöntem ve teknik ekipmanlara ek olarak, rizosfer gibi belirli toprak alanlarının araştırılması ve toprağın enzimatik aktivitesinin ve mikrobiyal kompozisyonunun belirlenmesinin önemi daha çok vurgulanmaktadır.

Spektrometrik ve Kromatografik Yöntemler

Bu yöntemler genel olarak yeni değildir. Örneğin kromatografinin kökeni 19. yüzyılın sonlarına kadar uzanmaktadır. Son birkaç on yılda ölçülen maddelerin duyarlılığı ve spektrumu çerçevesinde güçlü bir gelişme gösteren yöntemlerdir.

İndüktif olarak eşleşmiş plazma-optik emisyon spektroskopisi (ICP-OES), artık bitki toprak sistemlerindeki farklı elementlerin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir araçtır. İndüktif olarak eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS) güvenilir bir yöntemdir, ancak zahmetlidir ve digestion (yaş veya kuru yakma) ve kapsamlı numune hazırlama gerektirir

Tomografi, Manyetik Rezonans ve X-ışını Floresansı

Yeni ve çok güçlü bir araca örnek olarak, toprak bileşenlerinin doğasını ve mekansal konfigürasyonunu anlamak için kullanılabilen bilgisayarlı tomografi (BT) verilebilir. CT, toprağın ayrıntılı kesitsel görüntülerini oluşturmak için bir bilgisayar ve dönen bir X-ışını kaynağı kullanır

Bitki Rizosferinin İncelenmesi

Son zamanlarda araştırmalar giderek toprak-kök arayüzüne yani rizosfere yoğunlaştı. Bunun nedeni ise besin alımında, stres ve hastalıklara karşı korunmada rizosferin önemidir. Toprak ve kök sistemleri arasındaki etkileşimler, tarımın üretkenliğini ve çevresel etkilerini iyileştirmede önemli bir faktör olarak görülmektedir. Rizotronlar, kök fenotipleme ve kök büyümesinin gözlemlenebildiği şeffaf bir kap kullanılarak toprakta kök büyümesi ve mimarisinin tahribatsız bir şekilde incelenmesi için kullanılan cihazlardır. Kök ortamını incelemenin başka bir yöntemi de toprağa, köklere ve mikrobiyal etkileşimlere daha fazla odaklanan rizokutular aracılığıyla. Rhizobox'lar genellikle laboratuvar/sera deneyleri için tasarlanmış küçük cihazlardır ve plastik veya kompozit malzemelerden yapılır; şeffaf bir katman aracılığıyla kök büyümesinin gözlemlenmesine ve kök, toprak, mikrobiyal veya kimyasal analiz için rizosferin farklı kısımlarından örnek alınmasına olanak tanır.

Toprağın Mikrobiyal Bileşimi

Toprak mikrobiyal topluluğu ve yapısı, toprak mikrobiyal topluluğunun mikrobiyal fizyolojik durumunu ve özelliklerini (bakteriyel bolluk, mantar bolluğu ve bakteri bileşimi) analiz etmek için fosfolipit yağ asidi (PLFA) biyobelirteç yöntemi kullanılarak değerlendirilebilir. Bakteri ve mantarların mutlak bolluğu, toprağın bakteri ve mantar topluluğu bileşimini yüzeyden 0-10 cm derinlikte analiz etmek için 16S/18S rRNA gen yöntemlerinin moleküler tekniği ve gerçek zamanlı kantitatif bir polimeraz zinciri kullanılarak belirlenebilir.

Toprak Enzimatik Aktivitesinin Önemi ve Belirlenmesi

Kök rizosferi, enzim üretimi için önemli bir sıcak nokta alanıdır ve toprak enzimlerinin aktivitesi ve dağılımı, rizodepozitlerin (salgılar, müsülaj, eksüdalar ve dökülen hücreler) aktif ve pasif salınımı nedeniyle toplu topraktakinden daha fazladır. mikrobiyal aktiviteyi ve enzim üretimini artıran çeşitli kök bölgelerinden elde edilir. Selüloz, ksilan, kitin, fosfat, organik kükürt veya ürenin ayrışması yoluyla C, N, P ve S besin döngülerinde veya dönüşümlerinde çeşitli toprak enzimleri rol oynar. Zengin mikrobiyal çeşitlilik, yüksek toprak organik madde içeriği, toprağın solunumu nedeniyle organik tarımda proteaz, üreaz, asit/alkalin fosfataz, β -glukosidaz, selüloz, sakaraz ve ksilanaz enzimlerinin aktiviteleri geleneksel tarıma kıyasla önemli ölçüde daha yüksektir. Enzimlerin önemi nedeniyle toprakta veya rizosferde enzimatik aktiviteyi ölçmek için birçok yöntem geliştirilmiştir. Çoğu, spesifik enzimlerle ayrıştırılan substratların kullanımına dayanmaktadır. Enzimatik aktivite daha sonra substrat tüketimine dayalı olarak belirlenir

Bitki Besin İndeksleri - Bitkilerde Optimal Besin Durumunun Hesaplanması

Eski ve güncel yöntemler genellikle belirli bir zaman veya yer için yalnızca tek bir değişkenin belirlenmesine odaklanır. Ancak bitkiler, toprak ve çevre, besinlerin genellikle

laboratuvar raporları farklılık gösterebilir. Çiftçiler, aynı toprak örneğini çeşitli laboratuvarlara gönderip farklı gübre önerileri aldıklarında önerilerdeki bu farklılığı fark ediyorlar. Gübre önerilerindeki bu belirgin tutarsızlığın nedenleri nelerdir? Çiftçiler başvurdukları laboratuvara bağlı olarak değişen gübre önerileri alırlar çünkü laboratuvarlar (1) numuneleri analiz etmek için farklı kimyasal yöntemler ve prosedürler kullanır ve (2) farklı gübre öneri felsefelerine abone olurlar (Hochmuth et al, 2014).

En yaygın kullanılan üç gübre öneri felsefesi şunlardır:

Mevcut Besin Yeterliliği Düzeyi (SLAN), aynı zamanda Yüzde Yeterlilik kavramı veya Mahsul Besin Gereksinimi (CNR) kavramı olarak da adlandırılır. SLAN yaklaşımında toprak test indeksleri çok düşük, düşük, orta, yüksek veya çok yüksek olarak yorumlanır ve ilgili besin maddesi önerisi (miktarı) yapılıdır. SLAN kapsamında çalışma prensibi, belirli bir besin maddesi açısından yüksek veya çok yüksek test edilen toprakların mevcut sezonda maksimum mahsul üretimi ve kalitesi için bu besin ihtiyacının % 100'ünü karşılayabilmesidir. Gübre gerekmez. Yüksekten düşük veya çok yüksek toprak testleri gübreleme gerektirebilir ve bu toprak testi indekslerine sahip topraklarda yetiştirilecek mahsuller için eşit miktarda besin tavsiye edilecektir.

Oluşturma ve Bakım felsefesi, toprak testine göre indeksleri orta veya daha düşük olarak yorumlanan belirli besin maddelerinin eklenmesiyle öncelikle toprağın verimlilik düzeyini yüksek kategoriye çıkarma yaklaşımını benimser. Bu süreç birkaç sezon sürebilir. Sonraki sezonlarda, yetiştirilecek mahsulün ortadan kaldıracağı öngörülen besin maddelerini değiştirmek için minimum gübre önerisi yapılıdır (toprak testleri yüksek olsa bile). Buradaki prensip, verimin hiçbir zaman olumsuz etkilenmemesi için sürekli gübre ilavesi ile toprağın verimliliğinin yüksek seviyede tutulmasıdır. Bu felsefe, mahsulden besin maddesi uzaklaştırma değerlerinin hesaplanabilmesi için çiftçi tarafından sağlanan verim hedeflerini kullanır. Gübre tavsiyeleri hesaplanan besin giderme değerlerinden yapılıdır; bu yaklaşımda topraktan gelen doğal katkılar hiçbir şekilde dikkate alınmaz. Besin maddelerinin mahsulden uzaklaştırılmasını hesaplamak için toprak testine bile gerek yoktur. Besinlerin verimi ve doku konsantrasyonu, herhangi bir alandan uzaklaştırılan miktarları hesaplamak için kullanılabilir.

Katyon Oranı Kavramı olarak da adlandırılan Temel Katyon Doygunluk Oranı (BCSR) kavramı, katyonlar, potasyum (K), magnezyum (Mg) ve kalsiyum (Ca) üzerine odaklanır ve prensip olarak bunların istenen oranlarını korumaya çalışır. toprak katyon değişim kompleksindeki katyonlar. Bu felsefeyle değiştirilebilir besin maddelerinin arzu edilen dağılımı % 65 Ca, % 10 Mg, % 5 K ve % 20 H'dir. Elde edilen arzu edilen oranlar 6,5Ca:1Mg, 13Ca:1K ve 2Mg:1K'dir. Geçmiş toprak testi prosedürleri, katyonları toprağın matrisinden değiştirmek için amonyum asetat gibi ayrı ekstraksiyon çözeltilerinin kullanımını ve ardından çözeltide mevcut katyonların analizini içeriyordu. Bugün, besin katyonlarının laboratuvarın ana evrensel toprak testi özütleyicisi ile ölçülmesi ve değiştirilebilir H⁺ın ise kireçleme gereksinimini belirlemek için kullanılan tampon çözeltisi ile ölçülmesi daha muhtemeldir. Katyon miktarları toplanır ve oranlar belirlenir. Üst toprak katmanındaki (yaklaşık altı inç derinlik) oranları ayarlamak için gübre önerileri yapılıdır. Bu oranlar kolayca hesaplanabilir ve yaklaşım her zaman besin ilavesi gerektirecektir. Topraktaki besin maddelerinin doğal geri dönüşümü dikkate alınmaz. Farklı gübre

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

tavsiyelerinin çiftlikteki gübre programının maliyetleri ve topraktaki besin seviyeleri üzerinde farklı etkileri olacaktır (Hochmuth et al, 2014).

Özetle, gübre önerilerinde bulunmaya yönelik en az üç ana yaklaşım veya felsefe vardır. En iyi yaklaşımı seçmeye çalışan çiftçiler hüsrana uğrayabilir, ancak iki ana hedefi aklımızda tutarsak seçim daha kolay hale gelir: kârlı mahsul üretimi ve bunun sonucunda çevre üzerinde minimum olumsuz etki. Gübre, hem mahsul üretimine harcanan para hem de gübre akışı nedeniyle su kütlelerinin ötrofikasyonu gibi çevreye olan maliyetler açısından daha maliyetli hale geliyor. Araştırmaya göre, yeterince kalibre edilmiş CNR (veya SLAN) yaklaşımı, çoğu zaman mevcut mahsulün ihtiyaçlarını karşılamak ve tesis dışı besin taşınmasında en düşük riski sunmak için doğru miktarda gübreyi BCSR ve Build'den daha fazla hesaplar. -Up ve Bakım yaklaşımları. Mahsul çıkarma yüzdesine dayalı gübre tavsiyeleri %100'den %50'ye veya daha azına düşürülürse, Oluşturma ve Bakım ile CNR (veya SLAN) felsefeleri, en azından toprak rezervinde bulunan besinler için daha benzer hale gelir. geliştirilebilir. Ancak CNR'nin, gübre önerilerinin, çeşitlerin değiştirilmesi ve üretim uygulamalarının yoğunluğunun artırılması da dahil olmak üzere bitkisel üretim uygulamalarındaki değişikliklere ayak uydurabilmesini sağlamak için sürekli saha araştırmasına ihtiyacı var.

KAYNAKLAR

- Aydemir, O. (1992). Bitki Besleme ve Toprak Verimliliği. A.Ü. Yayınları No.734. Cilt No. 16 Erzurum
- Aydemir, O. (2013). Correlation and Calibration of soil tests for sustainable soil fertility. Soil-water journal. Vol. 2, number 2(2). ISSN; 2146-7072
- Aydemir, O. (1993). Toprak Verimliliği. A.Ü. Ziraat Fakültesi. Ders Kitabı Yayın No. 155. Erzurum.
- Aydemir, O. (1997). Toprak Verimliliği II.Toprak Bitki İlişkileri. Atatürk Üniversitesi. Ziraat Fakültesi. Ofset Tesisi. Yayın no: 192 Erzurum
- Barker, AV ve DJ Pilbeam. (2007). Bitki Besleme El Kitabı. CRC Press, Taylor ve Francis Grubu. Boca Raton, FL.
- Brown, J.R.1970. Plant Analysis. Missouri Agr. Exp. Sta. Bull. SB 881.
- Carrie, L. (2008) Soil testing & plant analysis. Dept. Of soil science.UW-Madison. www. Soils.wisc.edu
- Ernst, F.A. (1928). Fixation of atmospheric nitrogen. Industrial Chemical Monograph. Chapman & Hall.
- Fischer, G., F. Nachtergaele, S. Prieler, H.T. van Velthuisen, L. Verelst, D. Wiberg, (2008). Global Agro-ecological Zones Assessment for Agriculture (GAEZ 2008). IIASA, Laxenburg, Austria and FAO, Rome, Italy
- Gainesville: Florida Üniversitesi Gıda ve Tarım Bilimleri Enstitüsü. <http://edis.ifas.ufl.edu/ss620> .
- Heckendorn,S. (2007). Soil testing & Plant analyses, Virginia Cooperative Extension. www. Dcr.cirginia.gov
- Hochmuth, G., R. Mylavarapu, and E. Hanlon. (2014). Soil Testing for Plant-Available Nutrients—What Is It and Why Do We Use It? Gainesville: University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences. <https://edis.ifas.ufl.edu/ss621>.
- Hochmuth, G., R. Mylavarapu, and E. Hanlon. (2014). Developing a Soil Test Extractant: The Correlation and Calibration Processes. Gainesville: University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences. <https://edis.ifas.ufl.edu/ss622>.
- Hochmuth, G., R. Mylavarapu, and E. Hanlon. (2014). The Four Rs of Fertilizer Management. Gainesville: University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences. <https://edis.ifas.ufl.edu/ss624>.
- Karaçal.İ. 2008. Toprak Verimliliği. Nobel yayın no; (1335). Fen bilimleri; 80 Nobel bilim ve araştırma merkezi yayın no; 35. ISBN 978-605-395-133-9
- Kulhánek, M; Asrade, D.A.; Suran, P.; Sedlář, O.; Cerný, J.; Balík, J. (2023). Plant Nutrition—New Methods Based on the Lessons of History: A Review. Plants 2023, 12, 4150. <https://doi.org/10.3390/plants12244150>. https://www.mdpi.com/2223-7747/12/24/4150#table_body_display_plants-12-04150-t001
- Mengel. K ve Kirkby, E.A. (2001). Principles of Plant Nutrition. 5th edn. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

- Mikkelsen. R and A. Blaylock, 2024 . Soil Fertility, Fertilizers, and Crop Nutrition: Past, Present, and Future. Part One: A Look Back. Crops & Soils published by Wiley Periodicals, Inc. on behalf of American Society of Agronomy [https : //doi.org/10.1002/crso.20344](https://doi.org/10.1002/crso.20344) ISSN; 0162-5098e ISSN; 2325-3606 Pages; 4 – 12 <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/crso.20344>
- Mitchell, CC ve R. Mylavarapu. (2014). Toprak Testi Korelasyon Önerileri ve Kalibrasyon Önerileri. In Güneydoğu ABD'den Toprak Testi Yöntemleri. Güney Kooperatif Serisi Bülteni No. 419. USDA-SERA-IEG-6. ISBN 1-58161-419-5.
- Mylavarapu, R., T. Obreza, K. Morgan, G. Hochmuth, V. Nair ve A. Wright. (2014). Florida'nın Asit Mineral Toprakları için Mehlich-3 Reaktifini Kullanarak Toprak Besin Maddelerinin Çıkarılması.
- Özbek.N. (1969). Deneme Tekniği. I. Sera Denemesi, Tekniği ve Metodları. Ankara Üniversitesi. Ziraat Fakültesi Yayınları. 406. Ders Kitabı: 138.
- Yadav. K. K., D. S. Sachan and R. Sacha. (2023). Soil Fertility Evaluation Techniques. Chapter.3 In book: Current Research and Review in Soil Science Volume - 3 Publisher: Bright Sky Publications https://www.researchgate.net/publication/369401793_Soil_Fertility_Evaluation_Techniques.
- Yıldız, N, (2012). Bitki Beslemenin Esasları ve Bitkilerde Beslenme Bozukluğu Belirtileri. Eser ofset matbaacılık, ISBN 978-605-62759-0-6, 1-477, Erzurum.

TÜRKİYE'DE GÜBRE KULLANIMINDA SORUNLAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Prof. Dr. Sait GEZGİN, Dr. Öğr. Üyesi Fatma GÖKMEN YILMAZ

Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi,
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Konya
sgezgin@selcuk.edu.tr

Özet

Ülkemizde 21 milyon ha alanda yaklaşık 310 milyar TL (Tüik, 2022) değerinde bitkisel ürün elde edilmektedir. Dengeli gübreleme ile bitkisel üretimde %10 oranında bile bir artış sağlanması durumunda ülkemizin bitkisel üretim değerinde çok önemli artışlara neden olacağı aşikardır. Ancak ülkemizin bu zamana kadar birim alana tükettiği en yüksek (2020 yılında 127 kg/ha) saf NPK miktarını dikkate aldığımızda bile dünya ortalaması, gelişmiş ülkeler ve hatta benzer iklime sahip olduğumuz İspanya'dan daha az kimyasal gübre tüketmekteyiz. Bunun yanında kimyasal gübrelerle topraklara uyguladığımız besin elementlerinin bitkilerce alım etkinliği de çok düşük düzeydedir. Bu durum başta topraklarımızın organik madde eksikliği olmak üzere toprak özellikleri, gübre özellikleri, gübrelerin uygulama zamanı, uygulama şekli, uygulama miktarı, iklim ve bitki özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Gübrelerle uygulanan besin elementlerinin etkinliğinin kompoze gübreler, inhibitörlü gübreler, mikrogranül gübreler, yavaş çözünür gübreler, organomineral gübreler, biyoorganomineral gübreler, mikrobiyal gübreler, sıvı gübreler, nano gübrelerin kullanımı gibi yeni yaklaşımlarla artırılması hedeflenmektedir. Nitekim son yıllarda ülkemizde de kompoze gübreler, inhibitörlü gübreler, mikrogranül gübreler, yavaş çözünür gübreler, organomineral gübreler ve mikrobiyal gübrelerin kullanımı her geçen yıl artmaktadır. Ancak kompoze ve organomineral gübrelerdeki Zn'nun bitkilerce hiç alınamaması, organomineral gübrelerdeki fosforun suda çözünürlüğünün düşüklüğü başta olmak üzere bu gübrelerdeki bazı sorunlara bağlı olarak besin elementlerin etkinliğinin artırılması mümkün olmamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Gübreler, gübre tüketimi, NPK etkinliği

PROBLEMS IN FERTILIZER USE IN TURKEY AND SOLUTION SUGGESTIONS

Abstract

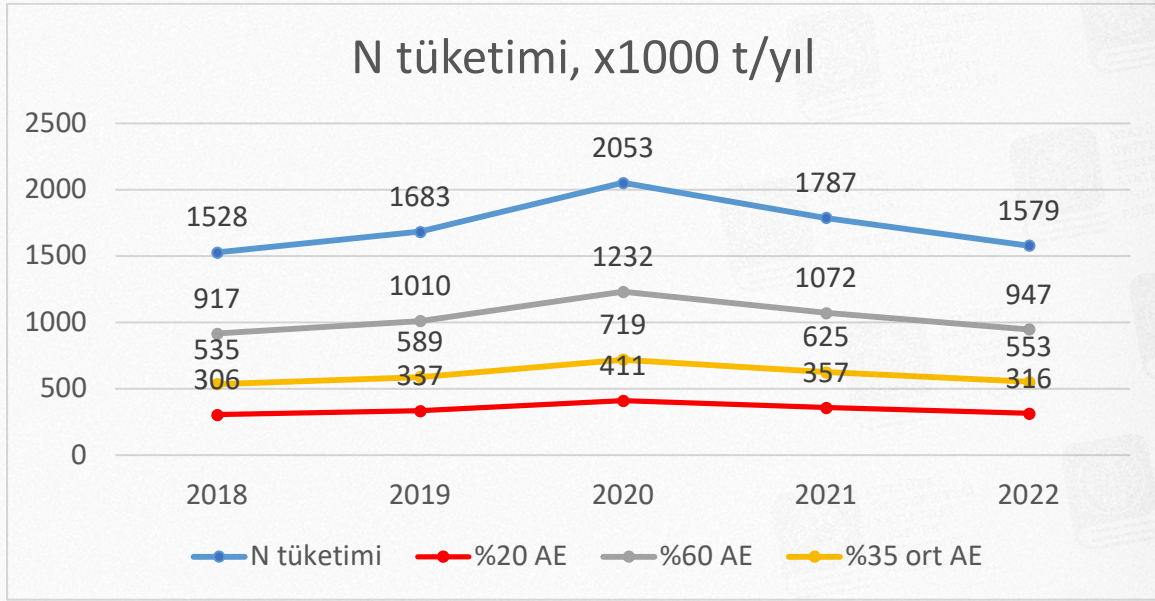
In our country, plant products worth approximately 310 billion tl (Tüik, 2022) are produced in an area of 21 million hectares. It is obvious that if even a 10% increase in crop production is achieved through balanced fertilization, it will cause a significant increase in the value of crop production in our country. However, even when we take into account the highest amount of pure NPK that our country has consumed per unit area so far (127 kg / ha in 2020), we consume less chemical fertilizer than the world average, developed countries and even Spain, where we have a similar climate. In addition, the efficiency of

the plants' uptake of the nutrients we apply to the soil with chemical fertilizers is at very low levels. This situation is due to the lack of organic matter in our soil, soil properties, fertilizer properties, fertilizer application time, application method, application amount, climate and plant characteristics. It is aimed to increase the effectiveness of nutrients applied with fertilizers with new approaches such as the use of compound fertilizers, inhibitor fertilizers, microgranular fertilizers, slowly soluble fertilizers, organomineral fertilizers, bioorganomineral fertilizers, microbial fertilizers, liquid fertilizers and nano fertilizers. As a matter of fact, in recent years, the use of compound fertilizers, inhibitor fertilizers, microgranular fertilizers, slowly soluble fertilizers, organomineral fertilizers and microbial fertilizers has been increasing every year in our country. However, it is not possible to increase the effectiveness of nutrients due to some problems in these fertilizers, especially the fact that Zn in compound and organomineral fertilizers cannot be absorbed by plants and the low water solubility of phosphorus in organomineral fertilizers.

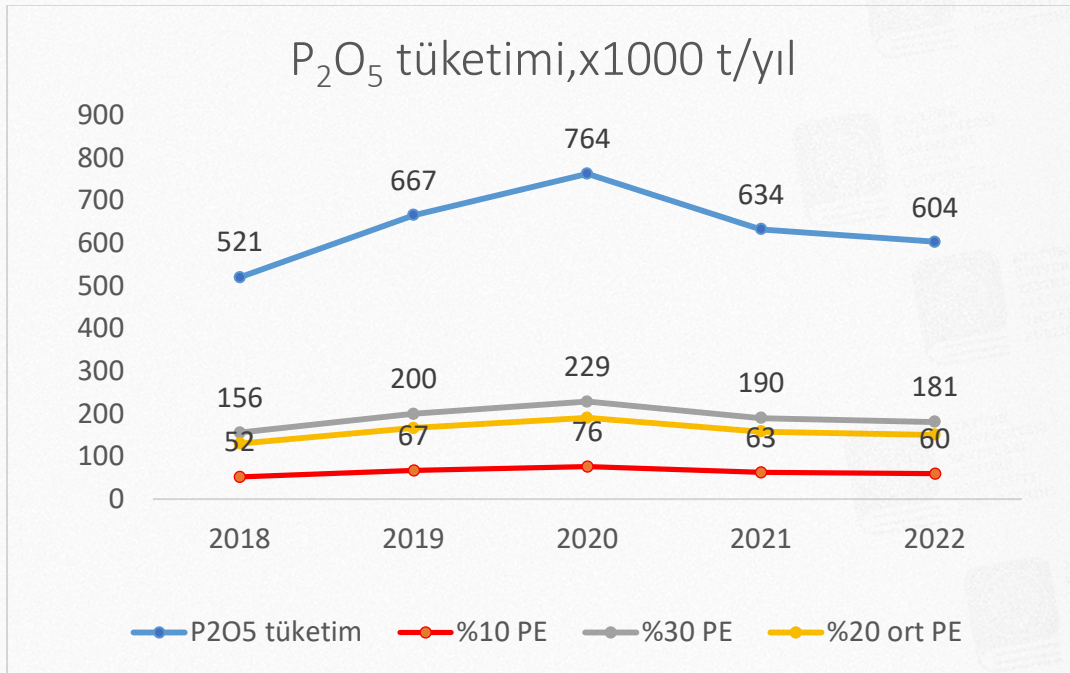
Key words: Fertilizers, fertilizer consumption, NPK efficiency

GİRİŞ

Bitkisel üretim bütün insanlık ve ülkemiz için çok büyük bir öneme sahiptir. Bitkisel üretim bütün insanların beslenmesi açısından çok önemli olması yanında üretim ile iştigal olan çiftçilerimiz için de ekonomik gelir sağlama yönüyle çok önemlidir. Bu nedenle bitkisel üretimde amaç, birim alandan kaliteli en yüksek verimi almaktır. Bitkisel üretimde kaliteli en yüksek verimin elde edilmesi sertifikalı tohum kullanımı, bitki hastalık ve zararlıları ile mücadele, sulama, uygun mekanizasyon kullanımı, dengeli gübreleme gibi kültürel işlemler, iklim faktörleri ve toprak özelliklerine bağlıdır. Dengeli gübreleme bu faktörler içinde çok önemli bir yere sahiptir. Çünkü bu zamana kadar yapılan araştırmalarda dengeli gübreleme ile bitkilerin kalite ve verimlerinde %60'lara kadar artışlar sağlanabileceği ortaya konmuştur. Ülkemizde 21 milyon ha alanda yaklaşık 310 milyar TL (Tüik, 2022) değerinde bitkisel ürün elde edilmektedir. Dengeli gübreleme ile bitkisel üretimde %10 oranında bile bir artış sağlanması durumunda ülkemizin bitkisel üretim değerinde çok önemli artışlara neden olacağı aşikardır.



Şekil 1. Ülkemizde 2018-2022 yıllarında N tüketimi ve kullanım etkinliği

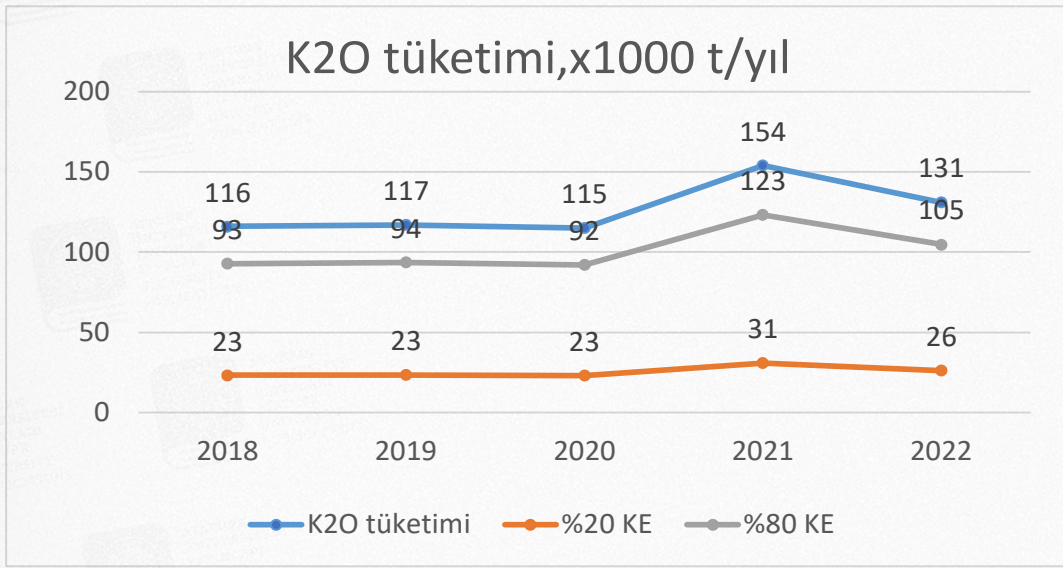


Şekil 2. Ülkemizde 2018-2022 yıllarında P₂O₅ tüketimi ve kullanım etkinliği

Ülkemizde bitkisel üretimde kimyasal gübrelerle NPK tüketimimiz daha çok kimyasal gübre ve ürün fiyatları arasındaki dengeye bağlı olarak yıllara göre değişiklikler göstermektedir. Tüik (2023) verilerine göre bitkisel üretimde 2018-2022 yılları arasında N (Şekil 1) ve P₂O₅ (Şekil 2) tüketimimiz 2020 yılına kadar bir önceki yıla göre sırasıyla %10, %22 ve %28, %14.5 oranlarında artarken 2020 yılından sonra sırasıyla %13, %12 ve %17, %5 oranlarında azalmıştır. K₂O (Şekil 3) tüketimimiz ise 2018-2020 yıllarında hemen hemen aynı düzeylerde olurken 2021 yılında bir önceki yıla göre %34 oranında artarken, 2022 yılında %15 oranında azalmıştır. N ve P₂O₅ tüketimimiz 2020 yılından sonra azalmasının en önemli sebebi Covid-19 pandemisi ile birlikte dünyada gübre hammadde

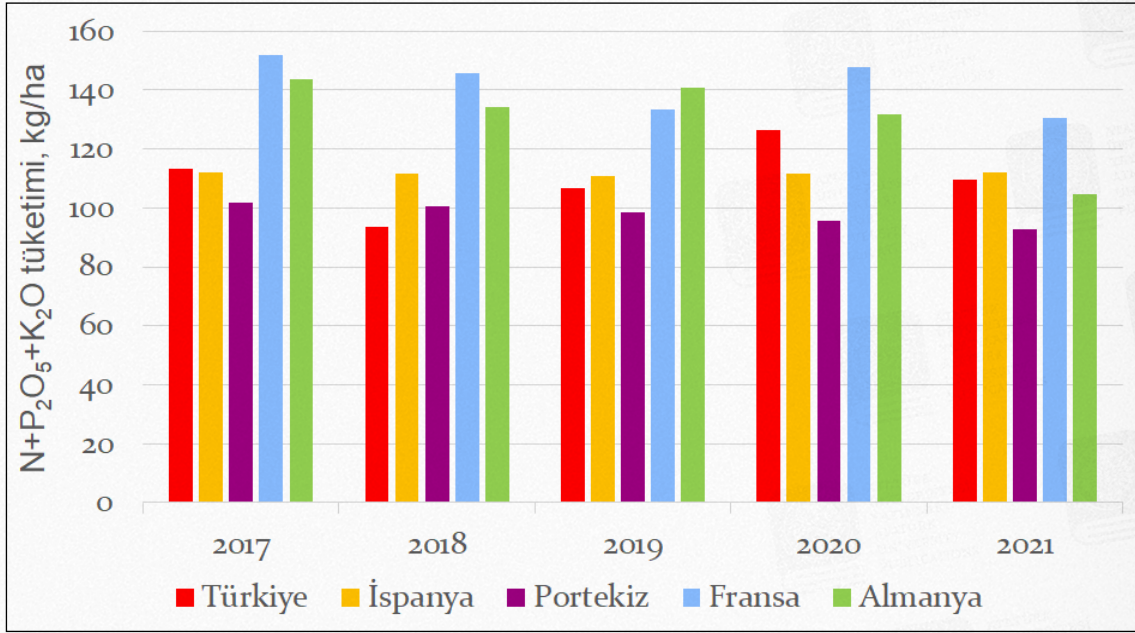
Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

fiyatları ve dolar kuru artışıdır. Nitekim nakliye hariç amonyak (NH_3) ve fosforik asit (H_3PO_4) fiyatları 2020 yılı eylül ayında sırasıyla 220 \$/ton ve 655 \$/ton iken 2021 yılı eylül ayında 620 \$/ton ve 1190 \$/ton ve 2022 yılı eylül ayında 1300 \$/ton ve 1800 \$/ton seviyelerine çıkmıştır. Ülkemizde kurulu fabrika kapasitemiz ihtiyacımız olan kimyasal gübrelerin tamamının üretimi için yeterlidir. Ancak ülkemizde kimyasal gübre üretiminde kullanılan başta amonyak ve fosfor olmak üzere diğer hammaddelerin en az %95'inin ithalat ile karşılanması nedeniyle devlet tarafından kimyasal gübrelerde belli oranlarda sübvansiyon yapılmasına rağmen bütün dünyada olduğu gibi kimyasal gübre fiyatlarının aşırı oranda artmasına karşılık ürün fiyatlarındaki artış oranlarının aynı düzeylerde olmaması nedeniyle gübre ve ürün fiyatları arasındaki denge bozulmuştur.

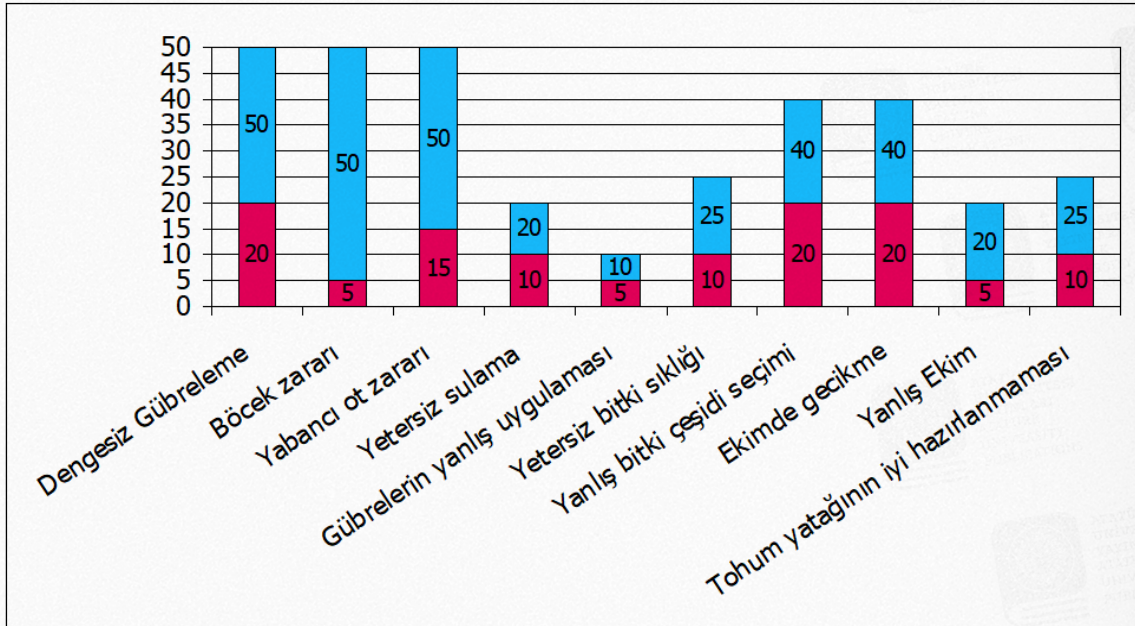


Şekil 3. Ülkemizde 2018-2022 yıllarında K₂O tüketimi ve kullanım etkinliği

Son yıllara baktığımızda ülkemizde birim alanda N ve P₂O₅ tüketimi Avrupa ülkeleri seviyesinde olmasına rağmen K₂O tüketimimiz başta toprak özelliklerimiz ve bitki desenimize bağlı olmakla birlikte toprak analizlerine göre dengeli gübreleme programları oluşturamadığımız için 5-6 kat daha düşüktür. Bu durum ülkemizde birim alana toplam NPK tüketimimizin bazı Avrupa ülkelerinden daha fazla olmasına neden olmaktadır. Şekil 1, 2, 3 ve 4 incelendiğinde son 5 yılda gübreleme yaptığımız alan, bitki deseni, iklim ve sulama durumunu dikkate aldığımızda birim alan NPK tüketimimiz yeterli olmamakla birlikte başta benzer iklime sahip olduğumuz İspanya ve Portekiz ülkeleri seviyesine ve hatta N ve P₂O₅ tüketimimiz Almanya ve Fransa seviyelerine ulaşmış durumdadır. Ancak kimyasal gübrelerle uyguladığımız besin elementlerinin bitkilerce alım etkinliği çok düşük düzeydedir. Bu durum Şekil 5'ten de görülebileceği gibi gübrelerin kullanım etkinliğini azaltan başta dengeli gübreleme olmak üzere bazı faktörler yanında volatilizasyon, yıkanma, immobilizasyon, denitrifikasyon ve NH₄ fiksasyonu ile N kaybı, asit ve alkalın topraklarda fiksasyon yoluyla P fiksasyonu, K'un Ca ve Mg ile antagonistik etkileşimi ve K fiksasyonundan kaynaklanmaktadır.



Şekil 4. Dünya’da NPK tüketimi (FAO, 2023)

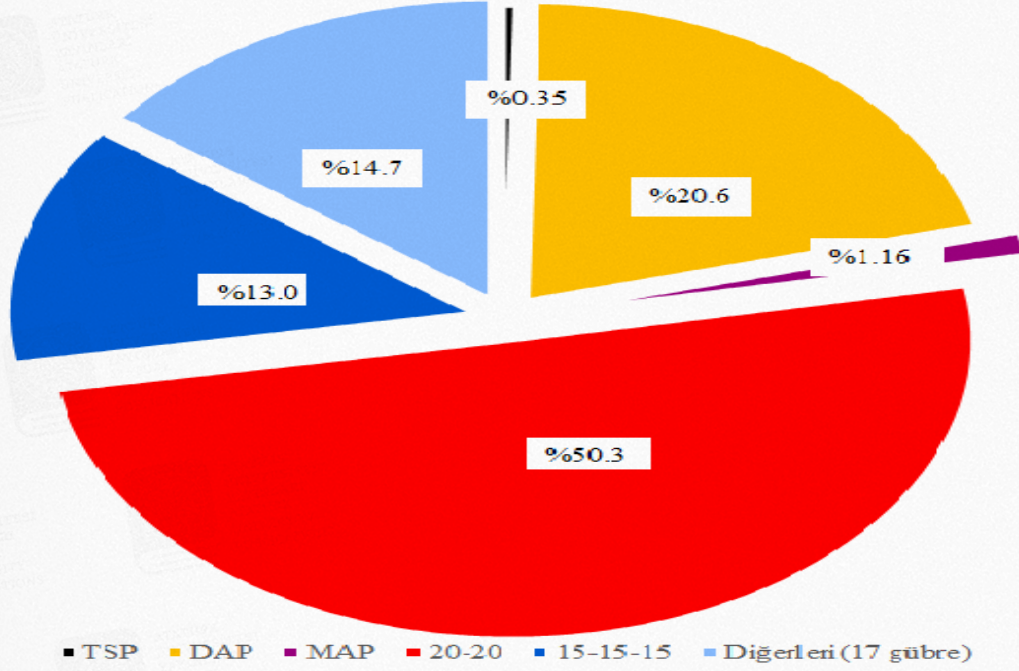


Şekil 5. Gübrelere etkinliği azaltan faktörler (FAO,1978)

Kimyasal gübrelere uygulanan N, P ve K'nın alım etkinliğinin düşük olmasına neden olan kayıpların fazlalığı besin elementlerinin uygun zamanda, uygun miktar ve formlarda ve uygun şekilde verilememesi yanında tarım topraklarımızın yüksek pH, yüksek kireç içeriği, kil miktarı ve düşük organik maddeye sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Kaliteli bir tarım toprağı en az %3 düzeyinde organik madde içermelidir. Ancak ülke tarım topraklarımızın %95'i %3'ün altında organik madde içermektedir. Topraklarımızın organik madde içeriğinin düşük olma sebepleri arasında organik gübrelere kullanılmaması, anızın yakılması, biyokütle enerjisi üretimi amaçlı bitkisel atıkların yakılması, iklim ve yanlış toprak işleme yer almaktadır.

1- Taban gübresi kullanımımız

Ülkemizde 2022 yılında bitkisel üretimde taban gübresi olarak 2 217 030 ton fosforlu ve kompoze gübre kullanılmıştır. Bu gübrelerin %50.3'ü 20-20 kompoze gübre, %20.6'sı DAP, %14.7'si 17 adet farklı kompoze gübre, %13'ü 15.15.15 kompoze gübre, %1.16'sı MAP ve %0.35'i TSP'dir (Tüik, 2023).



Şekil 7. Fosforlu ve kompoze gübrelerin tüketim oranları

Bu veriler ülkemizde taban gübresi seçiminde hatalar yapıldığını göstermektedir. Çünkü 20.20 ve 15.15.15 gibi eşit oranda N ve P₂O₅ içeren gübrelerin kullanılması durumunda bitkilere özellikle toprak su miktarına bağlı olarak 3-6 kg/da'dan daha fazla fosfor uygulandığında aynı miktarda azot da verilmiş olduğundan, gübrelerin tohum veya fideye tuz ve amonyak toksisitesi etkisini artırarak birim alandaki bitki sayısının azalmasına ve ayrıca ekim esnasında uygulanan fazla azottan bitkinin kök gelişiminin azalmasına neden olarak da bitkilerin abiyotik stres faktörlerine daha duyarlı olmasına neden olabilmektedirler. Nitekim Gezgin ve ark., (1999)'nın şeker pancarı (Tablo 1) ve Yılmaz ve ark., (1999)'nın buğday (Tablo 2) ile yaptıkları çalışmalarda ekim esnasında fazla azot uygulamanın birim alandaki bitki sayısının ve verimin olumsuz yönde etkilendiğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca Shangguan ve ark., (2004) 2 farklı kışlık buğday çeşidine artan seviyelerde azot uyguladığında gövde ağırlığı artarken kök ağırlığının azaldığını ve kök/gövde oranının ise düştüğünü belirleyerek görüşlerimizi teyit etmektedirler (Tablo 3).

Tablo 1. Ekimde mibzerle banda verilen farklı N miktarlarının şeker pancarı tohumlarının intaşına etkisi

Azot miktarı, kg N/da	1.Lokasyon		2.Lokasyon		Ortalama	
	Bitki sayısı, adet/da	Değişim	Bitki sayısı, adet/da	Değişim	Bitki sayısı, adet/da	Değişim
0	8919	100	7474	100	8196	100
4	8889	99.7	7315	97.9	8102	98.8
8	8559	96.0	5996	80.2	7277	88.1
12	8093	90.7	5563	74.4	6828	82.5

Tablo 2. Hububat ekiminde tohum yatağına kompoze gübrelerle verilen farklı N miktarının çıkış ve verime etkisi

Gübre çeşidi	N kg/da	P ₂ O ₅ kg/da	m ² 'de bitki sayısı, adet	Verim, kg/da
DAP	2.7	7	257	548
DAP*	7*	7	234	474
20-20-0	2.7	7**	246	516
20-20-0*	7	7	210	437

Tablo 3. Buğday çeşitlerinin gövde ve kök gelişimine (g/bitki) azotun etkileri

N miktarı, mg/L	Xinong no:1043			Xinong no:6		
	Gövde ağırlığı, g	Kök ağırlığı, g	Kök / Gövde oranı	Gövde ağırlığı, g	Kök ağırlığı, g	Kök/Gövde oranı
0	0.062	0.064	1.03	0.061	0.062	1.02
52.5	0.167	0.066	0.39	0.191	0.064	0.33
105.0	0.178	0.059	0.33	0.186	0.051	0.27
157.5	0.205	0.040	0.22	0.267	0.054	0.21
210.0	0.180	0.035	0.22	0.198	0.039	0.19
262.5	0.169	0.031	0.18	0.184	0.030	0.17

Ülkemizde taban gübreleri ile uygulanan fosfor ve hatta üst gübresi olarak kullanılan azotun alım etkinliğinin azalmasına neden olan bir diğer durumda taban gübresi olarak kullanılan fosforlu ve kompoze gübrelerin uygulama şeklinin yanlış olmasıdır. Çiftçilerimizin büyük bir kısmı fosforlu ve kompoze gübreleri ekim öncesi toprak yüzeyine serpip belli bir derinlikte toprakla karıştırarak (serpme şeklinde) uygulamaktadır. Oysa literatürde suda çözünür fosfor içeren gübrelerin topraklara bu şekilde uygulanması durumunda toprak özelliklerine bağlı olarak uygulanan fosforun büyük bir kısmının

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

bitkilerin alamayacağı şekilde toprakta fikse edildikleri belirtilmektedir. Özellikle ülkemiz tarım topraklarının çoğunluğunun sahip olduğu gibi kireçli, bazik reaksiyonlu, organik madde içeriği düşük, kil içeriği yüksek, asit reaksiyonlu topraklarda fosfor fiksasyonunun çok fazla olduğu belirtilmektedir. Fosforlu gübrelerin serpm şeklinde uygulanması bitkilerin fosfor alım etkinliğinin çok düşük olmasına neden olan en önemli faktörlerin başında gelmektedir

Nitekim Gökmen ve Sencar (1999), tarafından fazla kireçli, bazik reaksiyonlu, az organik madde ve bitkiye elverişli fosfor içeriği düşük bir toprağa sahip bir arazide yapılan çalışmada fosforlu gübrelerin uygulama yöntemlerinin (serpme, hububat mibzeri ile tohumun 5 cm sağ ve soluna ve tohumun 5 cm altına) Bezostaja buğdayının verimine etkisi araştırılmıştır. Sonuçta DAP gübresinin geleneksel hububat mibzeri ile tohumla birlikte yan yana verilmesi ile tohumun çıkış süresi diğer uygulamalara göre %40 daha uzun ve birim alandaki bitki sayısı %30 daha az olmuştur. Diğer uygulamalarda tohum ile gübre temas etmediğinden tohumun çimlenme süresi ve bitki sayısı hemen hemen aynı olmuştur. Bunun yanında gübrenin serpme şekilde verildiği uygulamada tane verimi diğer uygulamalara göre sırasıyla %7, %15 ve %21 oranlarında azalarak en düşük düzeyde olmuştur (Tablo 4). Gübrenin serpme şeklinde uygulanmasıyla tohum ve gübre temas etmediği için çıkış süresi ve bitki sayısı olumsuz yönde etkilenmemesine rağmen tane veriminin en az düzeyde olması bitkinin gelişme döneminde uygulanan fosforun büyük bir kısmının toprakta fikse edilerek bitki tarafından yeterli düzeyde alınamamasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca hububat mibzeri ile tohumla gübrenin yan yana verildiği uygulamada (tohumla) diğer uygulama şekillerine göre tohumun çimlenme süresinin daha uzun ve bitki sayısının daha az olması gübrenin tohuma tuz ve amonyak toksisitesi etkisi yapması nedeniyledir. .

Tablo 4. Farklı gübre uygulama yöntemlerinin bitki gelişimine etkileri

Uygulama yöntemi	Çıkış süresi, gün	Bitki sayısı, adet	Verim, kg/da
Serpme	20.8	469	322
Tohumla	29.1	331	345
Tohumun 5 cm sağ ve soluna	21.2	470	378
Tohumun 5 cm altına	20.2	477	406

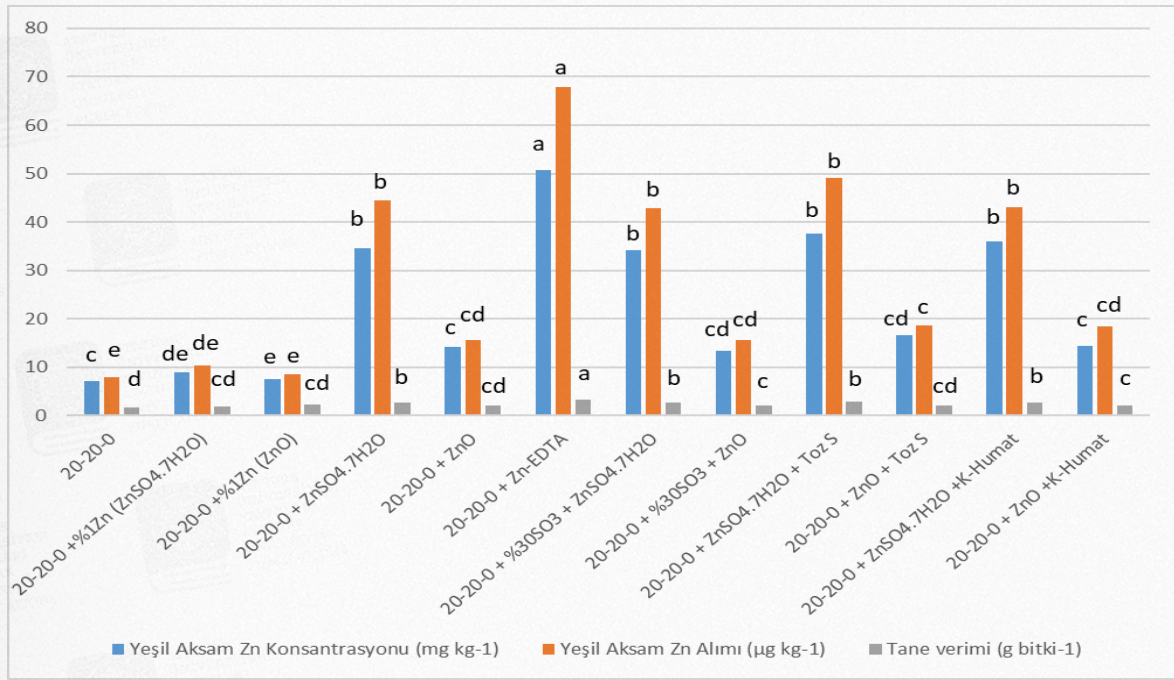
Son yıllarda gübrelerle uygulanan fosforun alım etkinliğinin artırılıp fosforlu gübre tüketimini azaltabilmek amacıyla organomineral gübrelerin üretimi ve kullanımı Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından desteklenmekte ve teşvik edilmektedir. Ancak Korkmaz ve ark., (2021) TİGEM Ceylanpınar tarım işletmesinde ayçiçeği ve ikinci ürün mısır ile yapılan araştırma, bu gübrelerden beklenen faydanın sağlanmadığını göstermektedir. Araştırmacılar bu durumun ülkemizde üretilen bazı organomineral gübrelerde fosfor kaynağı olarak tamamen veya belli bir oranda ham kaya fosfatının kullanılması, üretimde kullanılan organik madde kaynağının mikroorganizmalarca kolay parçalanabilir labil karbon içeriğinin düşük olması ya da başlangıçta suda çözünür formda

olan fosforun üretim esnasında suda çözünürlüğünün azalmasına bağlı olarak gübrelerdeki suda çözünür fosfor içeriğinin düşük olmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Ülkemizde kimyasal gübre kullanımında bir önemli sorunda taban gübresi olarak çinko içeren gübrelerin üretimi ve kullanılmasıdır. Topraklarımızda çinko eksikliği yaygın olduğu için bu gübreler 1996 yılından bu yana üretilip kullanılmaktadır.

Ülkemizde 2021 ve 2022 yıllarında 20.20.0, 15.15.15, 13.24.12, 20.32.0 ve 10.25.20 gibi %1 Zn katkılı e sırasıyla toplam olarak 647 271 ton ve 464 398 ton gübre üretilip kullanılmıştır. Bu gübrelerin üretiminde 2021 ve 2022 yıllarında 6 473 ton ve 4 644 ton saf Zn kullanılmıştır (Tüik, 2023). Çinko katkılı gübreler çinko katkısızlarına göre 2023 yılı sonları ve 2024 yılı başlarında 1000 TL/ton daha yüksek ücretle satılmaktadır. Ancak bu gübrelerdeki çinko suda çözünür formda olmadığı için bitkilerce hiç alınmamaktadır. Bu durumda çinko katkılı gübrelerden üreticiler çinkosuz gübrelere göre daha fazla kazanmalarına rağmen çiftçiler tarafından 2021 yılında yaklaşık 647 milyon, 2022 yılında ise 464 milyon TL karşılığı alınamayan boşuna bir harcama yapılmış olmaktadır. Çünkü Saba ve Harmankaya (2021) sera şartlarında çinko katkısız 20.20.0, ayrı ayrı $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ve ZnO formunda %1 Zn katkılı 20.20.0+%1 Zn gübreleri çinko eksikliği olan kireçli ve bazik reaksiyonlu bir toprakta yetiştirilen buğday bitkisine uygulayarak bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada kullandıkları gübreleri analiz etkilerinde $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ formunda Zn katkılı 20.20.0+%1 Zn gübresinin toplam Zn içeriğinin %1.1 ve suda çözünür Zn içeriğinin %0.007 (70 ppm, toplam çinkonun %0.064'ü suda çözünür) ve ZnO formunda Zn katkılı 20.20.0+%1 Zn gübresinin toplam Zn içeriğinin %1.0 ve suda çözünür Zn içeriğinin %0.002 (20 ppm, toplam çinkonun %0.02'si suda çözünür) olduğunu belirlemişlerdir. Çalışmada bitkinin yeşil aksam Zn içeriği, Zn alımı ve tane veriminin en düşük kontrol olarak uygulanan çinkosuz 20.20, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ve ZnO formunda çinko katkılı 20.20+%1 Zn gübrelerin uygulamasıyla elde dildiğini bildirmişlerdir (Şekil 8). Diğer bir deyimle bitkinin yeşil aksam Zn içeriği, Zn alımı ve tane verimi bakımından çinkosuz ve çinko katkılı 20.20 kompoze gübreler arasında bir fark bulunmamıştır. Bitkinin yeşil aksam Zn içeriği, Zn alımı, tane Zn içeriği ve tane verimi en yüksek çinkosuz 20.20.0 gübresine ilaveten Zn-EDTA uygulaması ile elde edilmiş olup bunu $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ uygulaması takip etmiştir. Çinkosuz 20.20.0 gübresine ilaveten suda çözünür formda Zn içermediği için ZnO uygulamasının da bitkinin çinko alımına ve verimine bir katkısının olmadığını bildirmişlerdir (Şekil 8).

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)



Şekil 8. Farklı çinko formlarının makarnalık buğdayın yeşil aksam Zn konsantrasyonu, Zn alımı ve tane verimi üzerine etkileri

Ayrıca Kendirci ve Gezgin (2022), Sivas Altınyayla'da kireçli, bazik reaksiyonlu, düşük organik madde ve elverişli Zn içeriğine sahip toprakta buğday bitkisine kontrol olarak çinkosuz 20.20 ve ZnO formunda Zn katkılı 20.20 +%1 Zn, çinkosuz 20.20 gübresine ilaveten çinkolu 20.20 gübresi ile uygulanan kadar çinkonun ZnSO₄.7H₂O ve ZnO formunda uygulayarak bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda bitkinin yaprak ve tane Zn içeriği ve tane verimi bakımından kontrol olan çinkosuz 20.20 uygulaması ile çinko katkılı 20.20 +%1 Zn ve 20.20 gübresine ilaveten ZnO formunda çinko uygulamaları arasında önemli bir fark olmadığı diğer bir deyimle bu şekilde uygulanan çinkodan bitkinin yararlanmadığını belirlemişlerdir. 20.20 gübresine ilaveten ZnSO₄.7H₂O formunda çinko uygulaması ile kontrole göre bitkinin yaprak ve tane Zn içeriği ve tane veriminde çok önemli düzeylerde artışlar olduğunu belirlemişlerdir (Tablo 5). Montalvo ve ark., (2016) tarafından da çinko katkılı fosforlu gübrelerdeki çinkodan bitkilerin yararlanması konusundaki bulgu ve görüşlerimiz teyit edilmektedir. Bu araştırma sonuçları ülkemizde çinko katkılı fosforlu gübrelerin üretimi ve tüketimi konusunda ilgili yönetmeliklerde değişiklikler yapılarak, fosforlu ve kompoze gübrelerdeki toplam çinko içeriğinin en az %85'inin suda çözünür formda olması zorunluluğunun getirilmesi gerekmektedir.

Tablo 5. Farklı çinko uygulamalarının buğday bitkisi yaprak ve tane Zn konsantrasyonu ve verimine etkileri

Uygulamalar	Yaprak Zn Konsantrasyonu, mg/kg	Tane Zn konsantrasyonu, mg/kg	Verim, kg/da
Kontrol	12.3 B	9.4 B	210 B
20.20.0	13.2 B	9.7 B	249 A
20.20.0+%1Zn (ZnO)	13.6 B	9.8 B	249 A
20.20.0+ ZnSO₄.7H₂O	18.3 A	16.6 A	266 A
20.20.0+ZnO	13.4 B	9.9 B	241 A

Ülkemizde bitkilerin fosfor ihtiyacının karşılanması amacıyla genellikle %10-25 arasında fosfor ile birlikte N, K, Zn ve diğer bazı elementleri içeren mikrogranül gübrelerin kullanımı söz konusudur. Bu gübreler ekim esnasında dekara 2-5 kg/da miktarlarında tohum yatağına verilerek bitkilerin fosfor ihtiyacının karşılanabileceği belirtilmektedir. Bu gübrelerin elverişli tohum gübrelemesi sağladığı diğer bir deyimle çimlenme esnasında tohum etrafında tuzluluk ve amonyak toksisitesi oluşturmayacak düzeylerde kolay kullanılabilir besin elementi sağladığı bilinmektedir. Ayrıca bu gübrelerin tohum çimlenmesi ve ilk çıkışın oldukça iyi olmasına neden olarak elverişli fosfor içeriği yüksek topraklarda iyi sonuçlara neden olduğu ancak elverişli fosfor içeriği düşük ve hatta yeterli düzeyde olan topraklarda ise vejetasyon döneminin ilerleyen zamanlarında fosfor eksikliği nedeniyle kötü sonuçlar verdiği belirtilmektedir.

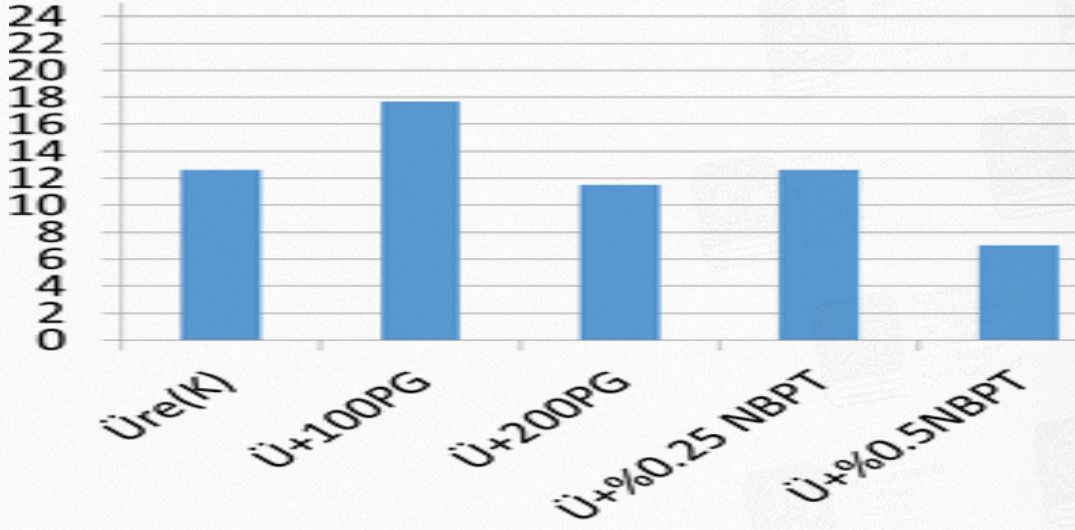
2-Üst gübresi kullanımımız

Ülkemizde üst gübre olarak çoğunlukla üre (%46 N), amonyum sülfat (%21 N) ve amonyum nitrat (%26N ve %33 N) gübreleri kullanılmaktadır. Bu gübrelerden uygulama miktarı, gübre çeşidi, toprak ve iklim özelliklerine bağlı olarak azot kayıpları meydana gelmektedir. Bu azot kayıplarının miktarına bağlı olarak bitkilerin verim ve kalitelerini de olumsuz yönde etkileyerek azot alım etkinliği düşmekte, ayrıca su kirliliği ve sera gazı etkisi nedeniyle çevre sorunları oluşmaktadır. Bu zamana kadarki literatür bilgileri ışığında azotun asit reaksiyonlu topraklardan çoğunlukla nitrat (NO₃⁻) şeklinde yıkandığı, nötr ve bazik reaksiyonlu ve kireçli topraklardan ise amonyak (NH₃) gazı şeklinde uçma yoluyla kayıp olduğu bildirilmiştir. Tarım topraklarından kaybı en fazla olan besin elementi de azottur. Ayrıca meydana azot kaybı ile topraklarda bulunan amonyum (NH₄⁺) ve nitrat (NO₃⁻) miktarı arasında çok önemli bir ilişki bulunmaktadır. Diğer bir deyimle topraklarda bulunan amonyum (NH₄⁺) ve nitrat (NO₃⁻) azotu miktarı arttıkça amonyak (NH₃) gazı uçuşması ve nitrat (NO₃⁻) yıkanması şeklinde azot kayıpları artmaktadır. Nitekim Gezgin ve Bayraklı (1995) tarafından arazi şartlarında yapılan araştırmalarda kireçli ve bazik reaksiyonlu topraklarda toprak yüzeyine serpererek uygulanan üre'den ortalama %12, amonyum nitrat (%33 N)'dan %17 ve amonyum sülfat (%21 N)'dan %35 oranında amonyak gazı uçuşması şeklinde azot kaybı meydana geldiğini bildirmişlerdir.

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

Son yıllarda ülkemizde azot kayıplarının azaltılması amacıyla inhibitörlü azotlu gübreler üretilip tüketilmektedir. Hatta bazı firmalar bu gübrelere yavaş salınımlı veya akıllı gübreler demektedirler. Bu gübrelerin üretilmesi amacıyla amonyum nitrat (%26N, %33 N) ve amonyum sülfat (%21 N) gübrelere belli oranlarda çoğunlukla DMPP (3,4 Dimetilpirazol fosfat) ve bazen de DMPP yerine DCD (dicyandiamide) inhibitör maddeleri ilave edilmektedir. Bu gübreler toprağa uygulandıklarında içerdikleri inhibitör maddeleri gübrenin çözünmesiyle açığa çıkan amonyum (NH_4^+) azotunun nitrifikasyon olayı ile nitrat (NO_3^-) azotuna dönüşümünü belli bir süre engelleyerek azotun toprakta amonyum (NH_4^+) şeklinde kalmasını ve bitkilerin bu şekilde almasını sağlamaktadırlar. Bu nedenle bu gübreler asit reaksiyonlu topraklarda azot kayıplarının azaltılmasında yarar sağlarlar. Ancak tarım topraklarımızın %90'ının bazik reaksiyonlu ve %60'ının kireçli olduğunu ve bu topraklardan azot kaybının amonyak (NH_3) gazı uçması şeklinde olduğunu dikkate aldığımızda ülkemizde inhibitörlü amonyum nitrat (%26N, %33 N) ve amonyum sülfat (%21 N) gübrelere, azot kayıplarını azaltılmasının aksine artışına neden olabileceği, ayrıca bitkilerin en fazla tercih ettiği NO_3^- -N'u formunda azot alımını engelleyerek te verim ve kaliteyi olumsuz yönde etkileme ihtimalleri bulunmaktadır. Asit ve bazik reaksiyonlu topraklarda amonyum sülfat (AS) ve inhibitörlü AS uygulamalarının domatesin verim ve N beslenmesine etkisinin belirlendiği bir çalışmada, meyve veriminin inhibitörlü AS uygulamasının AS uygulamasına göre bazik toprakta verimi %15 azaltırken, asit toprakta %16 artırdığını bildirmiştir (Nazzal, 2018). Bu nedenlerle inhibitörlü amonyum nitrat (%26N, %33 N) ve amonyum sülfat (%21 N) gübrelere yönetmelikleri ile ambalajlarının üzerine sadece asit topraklarda kullanılabileceği, nötr ve bazik reaksiyonlu topraklarda kullanılmayacağı şeklinde uyarılar bulunmalı ve tarım sektöründe yer alan çiftçi ve ziraat mühendisleri devamlı bilgilendirilmelidir.

Ülkemizde inhibitörlü üre gübresi de üretilip kullanılmaktadır. İnhibitörlü üre gübresi, üre gübresine belli bir oranda NBPT [N-(n-butyl) thiophosphoric triamide] inhibitörü ilave edilerek üretilmektedir. İnhibitörlü üre gübresi toprağa uygulandığında içindeki NBPT inhibitörü üre gübresinin yapısında yer alan amin (NH_2) azotunun amonyum (NH_4^+) azotuna dönüşümünü yavaşlatarak topraklardan azot kayıplarının azaltılmasını sağlamaktadır. Bu yönü ile diğer inhibitörlü gübrelerden çok farklıdır. Kireçli ve bazik reaksiyonlu topraklarda kayıpların azaltılması ve bitkilerin azot alım etkinliğinin artırılmasında yarar sağlayabilir. Ancak inhibitörlü ürenin içerdiği NBPT miktarı, gübrenin uygulama zamanı, başta organik madde miktarı, nem ve sıcaklık olmak üzere toprak özellikleri bu yararın sağlanmasında çok etkilidir. Nitekim Bayraklı ve Gezgin (1996) arazi şartlarında şekerpancarı bitkisine üre ve farklı oranlarda NBPT içeren inhibitörlü üre (üre+%0.25NBPT, üre+%0.5NBPT) uygulayarak yürüttükleri çalışmada %12 düzeyinde NH_3 -N kaybı meydana gelen üre ve üre+%0.25NBPT uygulamalarına göre Üre+%0.5NBPT uygulaması ile %45 düzeyinde azalarak %6.6 düzeyinde NH_3 -N kaybı olduğunu bildirmişlerdir (Şekil 9).



Şekil 9. Farklı gübre uygulamaların şekerpancarı bitkisinde NH₃-N kaybına etkileri

Sonuç olarak ilgili yönetmeliklerle inhibitörlü üre gübresinin en az düzeyde içermesi gereken NBPT oranının belirlenmesi gerekir. İnhibitörlü üre gübresinin normal üre gübresine göre fiyat farkını ve inhibitör içeriği belli olmadığı için azot kaybında meydana gelecek azalma oranı dikkate aldığımızda, çiftçilerin mevcut şartlarda inhibitörlü üre gübresini kullanması ekonomik olmayacaktır.

Ülkemizde azotlu gübre kullanımında bitkilerin azot istekleri ve gübre özelliklerini dikkate aldığımızda ciddi olarak eksikliği hissedilen bir gübrede %33 oranında azot içeren amonyum nitrat gübresidir. Ülkemizde güvenlik nedeniyle üretimi ve tüketimi yasaklanan bu gübrenin güvenlik sıkıntımızın olmaması nedeniyle üretim ve tüketiminin serbest bırakılması gerekmektedir.

Bitkisel üretimde bu denli fazla kullanılan gübrelerin bitkiler tarafından alım miktarları önemlidir. Bitkiler arasında besin elementi alım etkinlikleri bakımından farklılıklar bulunmaktadır. İslahçılarımız ıslahta verim, kalite ve hastalık ve zararlılara dayanıklılık kriterleri yanında besin elementlerini alım etkinliği yüksek olan çeşitlerin geliştirilmesi ile de ilgili ıslah çalışmaları yapmalıdır. Bu durum gelecek zaman içerisinde çevre sorunlarının çözümü bakımından kimyasal gübre üretim ve tüketiminin azaltılması kararları alındığında çok önemli olacaktır. Nitekim Gökmen Yılmaz (2015) 39 adet ekmeklik buğday çeşidinin azot kullanım etkinliklerini belirlediği bir çalışmada, çeşitler arasında farklılıkların bulunduğunu, azotun fizyolojik, agronomik ve geri alım etkinliğinin sırasıyla %19 ile %31, %8 ile %14.5 ve %31 ile %68 arasında değiştiğini belirlemiştir. Bu çalışmanın sonuçları da besin elementi kullanım etkinliği yüksek olan bitki çeşitlerinin geliştirilmesi ile kimyasal gübre tüketiminin belli oranlarda azaltılabileceğini göstermektedir.

Sonuç olarak, artan nüfusu beslemek ve gıda güvenliği bakımından kimyasal gübre üretimi ve tüketimi kaçınılmazdır. Ancak çevre sorunların çözümü ve ekonomik nedenlerle kimyasal gübrelerle uygulanan besin elementlerin alım etkinliğinin artırılarak kimyasal gübre tüketimimiz belli oranlarda azaltılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Bayraklı, F., Gezgin, S. 1996. Controlling Ammonia Volatilization From Urea Surface Applied to Sugar Beet on a Calcareous Soil. *Commun. Soil Sci. Plant Analy.* 27 (9-10): 2443-2451.
- Gezgin, S., Bayraklı, F. 1995. Ammonia Volatilization From Ammonium Sulphate, Ammonium Nitrate, and Urea Surface Applied to Winter Wheat on a Calcareous Soil. *J. Plant Nutrition*, 18(11):2483-2494.
- Gezgin, S., Hamurcu, M., Dursun, N., Ayaslı, Y., Nalcıoğlu, C. 1999. Konya Ovasında Şeker Pancarının Gübrenilmesi. Şeker Pancarı Tarım Tekniği 1. Uluslararası Sempozyumu, 12-13 Haziran 1999, Konya, Sempozyum Kitabı: 40-47, Pancar Ekicileri Eğitim ve Sağlık Vakfı yayınları: 5, 2000.
- Gökmen, S., Sencar, Ö. 1999. Effect of phosphorus fertilizers and application methods on the yield of wheat grown under dryland conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23(4), 393-400.
- Gökmen Yılmaz F. 2015. Orta Anadolu Bölgesinde Yetiştirilen Bazı Ekmeklik Buğday Çeşitlerinin Azot Kullanım Etkinlikleri ile Verim ve Kalite Özellikleri Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Konya.
- Kendirci B. E. ve Gezgin S. 2022. Farklı Çinko Kaynaklarının Buğday Bitkisinin Verim ve Çinko Alımına Etkileri, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Korkmaz, A., Gezgin, S., Gökmen Yılmaz, F. 2021. Organomineral ve kimyasal gübre ile farklı fosfor uygulamalarının silaj mısırın verimi ve fosfor kullanım etkinliği üzerine etkileri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 36(2), 268-275.
- Montalvo, D., Degryse, F., Da Silva, R., Baird, R. ve McLaughlin, M. J. 2016, Agronomic effectiveness of zinc sources as micronutrient fertilizer, *Advances in agronomy*, 139, 215-267.
- Nazzal, M. 2018. Asit ve Bazik Reaksiyonlu Topraklarda Farklı Azotlu Gübre ve Potasyum Uygulamalarının Domatesin Verim ve Verim Unsurlarına Etkileri. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Saba, M. ve Harmankaya, M. 2021. Kompoze Gübrelere İlave Edilen Farklı Çinko Kaynaklarının Etkinliklerinin Belirlenmesi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Shangguan, Z. P., Shao, M. A., Ren, S. J., Zhang, L. M., Xue, Q. 2004. Effect of nitrogen on root and shoot relations and gas exchange in winter wheat. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 45.
- Tüik 2022. Bitkisel Üretim İstatistikleri Veri Tabanı. www.tuik.gov.tr. 2023.
- Tüik 2023. Bitkisel Üretim İstatistikleri Veri Tabanı. www.tuik.gov.tr. 2024.

TARIMSAL ÜRETİM SÜRECİNDE ATIK YÖNETİMİ

Prof. Dr. Süleyman TABAN

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Toprak Bilimi ve Bitki besleme Bölümü, Ankara
Suleyman.Taban@agri.ankara.edu.tr

Özet: Tarımsal üretim sürecinde tarımsal faaliyetlerin her aşamasında atıklar açığa çıkmaktadır. Ortaya çıkan bu tür atıklara örnek olarak; tarla, bağ ve bahçeden oluşan toprak işleme, budama, ilaçlama vb. sürecinde ortaya çıkan atıklar gösterilebilir. Gübre çuvalları, zirai ilaç kalıntıları ve kutuları, budama atıkları, mekanizasyondan kaynaklanan yağ, mazot vb. atıklar, tarıma dayalı sanayiden kaynaklanan atıklar (konserve, salça, hazır gıda vb.) ile hayvansal atıklar (dışkı, mezbahana işleme atıkları vb.) ilk olarak aklımıza gelen atıklar olmaktadır. Söz konusu bu atıklar bilerek yada bilmeyerek açıkta bırakıldıkları sürece önemli çevre kirleticileri olmaktadır. Bu atıkların çevreye oluşturacağı olumsuz etkiler arasında; toprakta ve yeraltı ile yerüstü sularda oluşturacağı kirliliği, istenmeyen veya rahatsız edici türde koku, atıkların cinsine göre toprakta veya açıkta ayrışma sürecinde açığa çıkacak olan metan (CH₄), karbondioksit (CO₂), karbon monoksit (CO), hidrojen sülfür (H₂S) gibi gazlar aracılığıyla atmosferin kirlenmesi, ayrıca atıklardan oluşan yığınlar sinek, böcek vb. canlıların doğal yaşam ortamları olması nedeniyle çevre, insan ve diğer canlıların yaşam koşulları üzerine oluşturacağı hastalıklar sıralanabilir. Tarımsal üretim sürecinde açığa çıkan ve kontrol altına alınmayan atıklardan kaynaklardan/kaynaklanabilecek olan olumsuz etmenlerin etkilerini ortadan kaldırmak ya da en aza indirebilmek amacıyla bu atıkların yönetimi belli bir plan çerçevesinde yapılmalıdır.

Atıkların yönetilmesinde izlenecek yollar arasında;

- Organik kökenli tarımsal atıklar kompostlanarak organik gübreye dönüştürülerek kullanılmasının yaygınlaştırılması,
- Bitkisel ve hayvansal kökenli tarımsal atıkların piroliz işlemine tabi tutulmasıyla biyokömürlerin elde edilmesi ve elde edilen biyokömürün tarımda gübre, toprak düzenleyici olarak kullanılmasının teşvik edilmesi,
- Toplanan atıklardan elde edilecek faydalı ürün olmadığı durumlarda atık bertaraf yöntemi devreye alınmalı ve atıklar bu amaca uygun tesislerde kontrollü koşullarda yakılması yoluna gidilmesi,
- Atık yönetimi kapsamında eğitim çalışmalarının yapılması ve yaygınlaştırılması,
- Çevre koruma bilincinin geliştirilmesi ve ilaç, gübre, sulama suyu vb. tarımsal girdilerin bilinçli bir şekilde ve optimum düzeyde kullanımının teşvik edilmesi,
- İlgili mevzuatların güncelleştirilmesi, genişletilmesi ve yaptırım gücünün artırılması gibi yöntemler sayılabilir.

WASTE MANAGEMENT IN AGRICULTURAL PRODUCTION PROCESS

Abstract: In the agricultural production process, wastes are revealed at every stage of agricultural activities. As an example of such wastes; Field, vineyard and garden processing, pruning, spraying and so on. Wastes that occur during the process can be displayed. Fertilizer sacks, agricultural residues and boxes, pruning waste, fat, diesel, etc. caused by mechanization. Wastes, wastes (canned, tomato paste, ready food, etc.) and animal wastes (stools, slaughterhouses processing wastes, etc.) are the wastes that come to mind first. These wastes are important environmental pollutants as long as they are left exposed intentionally or unknowingly. Among the negative effects of these wastes to the environment; The pollution to be created in soil and underground waters, unwanted or disturbing type of smell, gases such as methane (CH₄), carbon dioxide (CO₂), carbon monoxide (CO), hydrogen sulfide (H₂S) The pollution of the atmosphere through it, as well as the masses of waste flies, insects and so on. Due to the fact that living things are natural living environments, diseases to be formed by the environment, human and other living things can be listed. In order to eliminate or minimize the effects of negative factors that may be caused by sources/from the wastes that are released in the agricultural production process, the management of these wastes should be carried out within a certain plan in order to eliminate or minimize.

Among the ways to be followed in the management of wastes;

- a) The expansion of the use of agricultural waste of organic origin into organic fertilizer by composting it,
- b) The obtaining biocrheats by subjecting pyrolysis of agricultural waste of herbal and animal origin, and the encouragement of the use of biocrhews obtained as fertilizer in agriculture, soil regulator,
- c) In cases where there is no useful product to be obtained from the collected wastes, the waste disposal method should be commissioned and the waste is to be burned under controlled conditions in the facilities appropriate for this purpose,
- d) Conducting and disseminating training activities within the scope of waste management,
- e) Development of environmental protection awareness and medication, fertilizer, irrigation water and so on. Encouraging the use of agricultural inputs at the optimum level,
- f) Methods can be sorted, such as updating, expanding and increasing the sanction power of the relevant legislation.

GİRİŞ

İnsanoğlu avcı ve toplayıcı yaşam şeklinden günümüze değin temelde üç olgu üzerinde yaşamlarını sürdürmüştür. Bu olgular; beslenme, giyinme ve barınmadır (Taban, 2018).

Sıralama toplumların gelişmişlik, ekonomik güç ve sosyolojik yapısı gibi durumlarına göre değişiklik gösterebilir. Diğer yandan bu üç olgu incelendiğinde;

- a) Beslenme; bitkisel ve hayvansal gıdalardan sağlandığı için doğrudan tarıma dayalı,
- b) Giyinme; pamuk, lif, keten gibi tarımsal ürünler ile deri, yün vb. ile hayvansal ürünlerden yararlanıldığı için doğrudan ya da dolaylı olarak tarıma dayalı,
- c) Barınma ise; üzerinde yaşam ev vb. yapıldığı için dolaylı olarak toprağa dolaylı olarak tarım alanlarına dayalı olduğu görülmektedir.

Bu nedenlerle insanoğlunun tarımdan vazgeçmesi ya da tarıma sırt çevirmesi düşünülemez.

Tarımsal amaçlı olarak toprak uzunca bir süre gübre uygulaması yapılmadan kullanılmıştır. Zamanın ilerlemesiyle beslenecek nüfusun artmasına bağlı olarak insanoğlu toprağı yakından tanımaya başlamış ve bazı girişimlerde bulunmuştur.

Arkeolojik bulgular toprağın insanlar tarafından bitki yetiştirmek amacıyla kullanımının Milattan öncesi yıllara dayandığını ortaya koymuştur. Tarihte en eski tarımsal veriler M.Ö. 13.500 yılından kalma tarımsal alet kalıntılarında edinilmiştir. Hindistan'da M.Ö. 7000 yıllarında ve Mezopotamya'da M.Ö. 5000 yıllarında, Amman'da ise 10.000 yıllık bir köyde arpa, buğday, bezelye ve mercimek yetiştiriciliği yapılarak tarımla uğraşıldığı bilinmektedir (Anonim, 2017).

Sanayi devrimi ile birlikte oluşan üretim patlaması beraberinde önemli bir çevre sorununu da getirmiştir. Başlangıçta pek te önemsenmeyen çevre ve çevreyi koruma bilinci zamanla gelişmiştir. Gelişigüzel ortama (çevreye) bırakılan ya da belli bir yerde korunaksız olarak depo edilen ya da yığılarak biriktirilen atıkların yönetilememesi önemli bir çevre sorunu oluşturmaya başlamıştır. Bu atıkların içerisinde tarımsal üretimden kaynaklanan atıklar önemli bir yer işgal etmektedir. Günümüzde tarımsal faaliyetler sonucu oluşan atıklar dikkat çekmeye başlamış ve tarımsal faaliyetler sonucu ortaya çıkan atıkların geri kazandırılması, üzerinde önemle durulan bir konu olmuştur.

Özellikle üretici için sorun oluşturan hasat artıklarının değerlendirilmesi konusunda pratikte de uygulanabilirliği yüksek olan bir yöntem olmuştur. Böylelikle, topraklarda oluşan organik madde kaybının ya da noksanlığının da önüne geçilmiş olacaktır.

Son yıllarda, dünyada olduğu gibi ülkemizde de toplumda oluşan temiz çevre ve çevreyi koruma bilinci sonrası kaynağı ne olursa olsun oluşan her türlü atıkların yönetilmesi gündeme gelmiştir.

Tarımda üretimden sorumlu olduğumuz kadar, tarımsal faaliyetler sonucu oluşan atıklardan ve onların yönetilmesinden de sorumluyuz.

Atık Yönetimi Neden Önemlidir?

Tarımsal uygulamalar ile meydana gelen atıkların yanı sıra gerek kentsel gerekse kırsal alanlarda yetişen ağaçların ve bitkilerin yaprakları, dalları, kabukları, meyveleri gibi atıklar ile bu alanların mekanizasyonu sonucu ortaya çıkan atıklar-kirleticiler, endüstriyel

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

alanlarda işlenmiş tarımsal atıklar ve hayvansal üretim sonucunda artakalan atıklar önemli tarımsal kaynaklı atıklar olarak tanımlanabilir ve sınıflandırılabilir.

Tarımsal atıkları yönetilmesini zorunlu kılan nedenler olarak,

- Tarımsal üretim ve sonrası süreçte oluşan bilinçli ve bilinçsiz atıklar çevreye önemli ölçüde olumsuz etkiler yaratmaktadır.
- Bu olumsuz etkiler arasında; başta toprak kirliliği olmak üzere, yeraltı ve yerüstü suların kirlenmesi, bitkisel ve hayvansal atıklardan oluşan kötü koku ve bu atıkların toprakta ayrışması sürecinde açığa çıkan metan gazı (CH₄) ve karbondioksit (CO₂) ile atmosferin kirlenmesi sayılabilir.
- Ayrıca atılan atıkların doğada yok oluş süreleri de oldukça uzundur. Şekil 1’de bazı ürünlerin doğada yok oluş süreleri verilmiştir.

CAM ŞİŞE 4000 yıl	ÇİKLET 5 yıl	İÇECEK KÜTUSÜ 10 yıl	PET ŞİŞE 400 yıl	ŞİGARA FİLTRESİ 2 yıl	PLASTİK MALZEME 1000 yıl
PLASTİK ÇAKMAK 100 yıl	KAĞIT, GAZETE 3 ay	ALÜMİNYUM 100 yıl	TELEFON KARTI 1000 yıl	POLİÜRETAN 1000 yıl	PLASTİK TABAK 500 yıl

Şekil 1. Bazı ürünlerin doğada yok oluş süreleri (Anonim 2024). **Atık Yönetimi – Doğa ve Çevre Vakfı – DOÇEV (docev.org.tr)**

- Ayrıca gelişigüzel atılan bitkisel ve hayvansal atıkların gelişigüzel atılmaları veya bir yerde depolanmaları sinek vb. canlıların doğal yaşam ortamlarını oluşturması nedeniyle çevre, insan ve diğer canlıların yaşam koşulları üzerine oluşturacağı hastalıklarda göz ardı edilmemelidir.
- Bitkisel ve hayvansal üretim sürecinde ve sonrasında oluşabilecek atıklar ve bu atıklardan meydana gelebilecek olan olumsuz etmenlerin etkilerini ortadan kaldırmak ya da en aza indirebilmek amacıyla farklı yollarla bu atıkların yönetimi yapılmalıdır.

Bitkisel ve hayvansal üretim sürecinde oluşan atıkların yanı sıra; gerek kentsel gerekse kırsal alanlarda yetişen ağaçların budama atıkları, çevre düzenlemede kullanılan bitkilerin yaprakları, dalları, kabukları, meyveleri gibi atıklar, tarıma dayalı işletmelerde üretim ve üretim sonrası süreçlerde oluşan atıklar ile hayvansal gıdaların işlenmesi ve değerlendirilmesi sürecinde oluşan atıklar da önemli tarımsal kaynaklı atıklar olarak tanımlanabilir.

Atık, Atık Yönetimi ve Atık Yönetim Planı Kavramları Nedir?

Günümüzde temiz çevre ve temiz çevrede yaşama bilincinin gelişmesine bağlı olarak çeşitli üretim ya da tüketim faaliyetleri sonucu oluşan /oluşabilecek olan atıkların yönetilmesi zorunlu hale gelmiştir. Bu bağlamda yöneticiler atık yönetimine ilişkin kuralları ortaya koymuşlardır.

Nitekim 2 Nisan 2015 tarih ve 29314 sayılı Resmi Gazete’de “**Atık Yönetimi Yönetmeliği**” yayımlanmıştır. Bu yönetmelikte atıkların nasıl ve ne şekilde yönetileceği/bertaraf edileceği belirtilmiştir. Ayrıca atık, atık yönetimi ve Atık Yönetim Planı tanımlamaları da yapılmıştır.

Adı geçen yönetmeliğe göre;

Atık: Üreticisi veya fiilen elinde bulunduran gerçek veya tüzel kişi tarafından çevreye atılan veya bırakılan ya da atılması zorunlu olan herhangi bir madde veya materyal” olarak;

Atık yönetimi: “Atığın oluşumunun önlenmesi, kaynağında azaltılması, yeniden kullanılması, özelliğine ve türüne göre ayrılması, biriktirilmesi, toplanması, geçici depolanması, taşınması, ara depolanması, geri dönüşümü, enerji geri kazanımı dâhil geri kazanılması, bertarafı, bertaraf işlemleri sonrası izlenmesi, kontrolü ve denetimi faaliyetleri” olarak ve,

Atık yönetim planı: “Çevreyle uyumlu bir şekilde atık yönetimini sağlamak üzere hazırlanan kısa ve uzun vadeli program ve politikaları içeren plan” olarak tanımlanmıştır.

Tanımlardan da anlaşılacağı gibi atık oluşumu her türlü endüstriyel faaliyetlerin yanı sıra gerek tarımsal faaliyet, gerekse de tarıma dayalı faaliyetler sonucu oluşan doğal bir süreç olarak kabul edilmektedir. Önemli olan bu atıkların çevreye zarar vermeden yönetilmesi ve çevre ile uyumlu atık yönetimi planı oluşturulması zorunlu olmaktadır. Çünkü günümüzde canlı yaşamını çevre ile iç içe olarak sürdürmektedir. Bu nedenle çevreye gerekli önem verilmelidir.

Tarımsal üretimin ülkemizde yaygın ve dağınık, yer yer de kontrolsüz olarak yapılması oluşan atık miktarının kontrolünü de zorlaştırmaktadır. Tarımsal faaliyetler sonucu oluşan atıklar doğrudan ve/veya dolaylı olarak önce insan sağlığı olmak üzere tarım, çevre ve ekonomi gibi diğer alanları da etkilemektedir.

Atık Yönetimi Nasıl Yapılmalıdır?

Atık yönetimindeki amaç, atık yönetimi sistemi içinde oluşan her türlü atıkların bertaraf edilmesiyle çevreye ve ekonomiye olan etkilerinin en aza indirilmesidir.

Atığın kaynağında azaltılması, özelliğine göre ayrılması, toplanması, geçici depolanması, ara depolanması, geri kazanılması, taşınması, bertarafı ve bertaraf işlemleri sonrası kontrolü ve benzeri işlemleri içeren bir yönetim biçimidir.

Atık yönetimi Entegre Atık Yönetimi ve Atık Yönetim Piramidi olmak üzere iki yol ile yapılmaktadır.

Entegre Atık Yönetimi

Belirli bir atık yönetimi hedefine yönelik olarak gerekli uygun yöntem, teknoloji ve yönetim programlarının seçilmesi ve uygulanması olarak tanımlanabilir (Kemirtlek, A, 2020). Atık yönetimine entegre olarak tüm atıklarla beraber uygulanmasıdır. Entegre atık yönetimi aynı zamanda ilgili yasal mevzuatta öngörülen hususların sağlanmasını da kapsar.

Günümüzde entegre atık yönetiminin işleyiş sıralaması ise;

- a) Atık önleme
- b) Atık azaltma
- c) Yeniden kullanım
- d) Geri dönüşüm
- e) Geri kazanım
- f) Nihai Bertaraf

şeklinde olmaktadır.

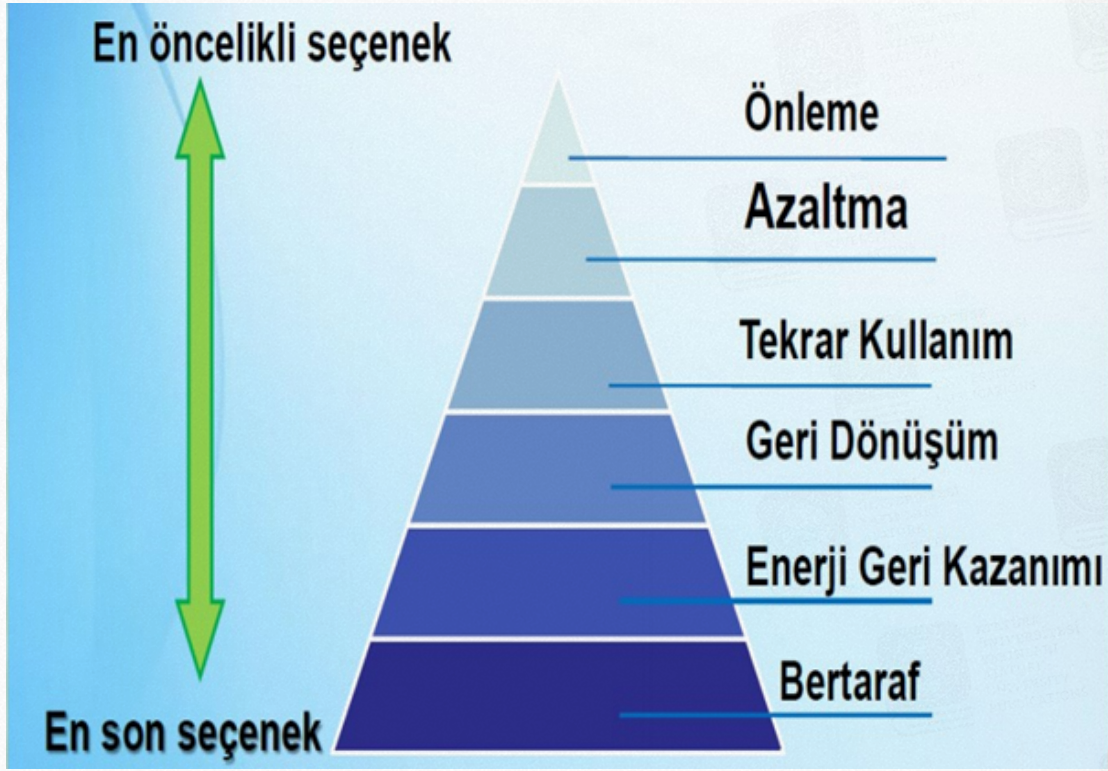
Entegre katı atık yönetim sisteminin verimli ve uygulanabilir olması için sırasıyla bütüncül bir sistem olmalı, ekonomik değer oluşturabilmeli, esnek olmalı ve bölgesel planlama yapılabilir olmalıdır. Sıralanan bu özellikleri taşımayan yönetim sistemi entegre olma özelliğinden uzaktır.

Atık Yönetim Piramidi

Atık yönetiminin üst basamaktan alt basamaklara doğru değerlendirilmesidir (Şekil 2). Diğer bir deyişle ilk aşamada atığın oluşmasının önlenmesi, eğer bu sağlanıyorsa atığın en aza indirilmesi amaçlanmalıdır. Daha sonra atığın yeniden kullanımı eğer bu da mümkün olmuyorsa önce geri dönüşümü ve sonra enerji geri kazanımı amaçlanmalıdır. Bu uygulanan yöntemlerden sonra elimizde kalan atığa ya da bu yöntemleri uygulayamadığımız atığa yapılacak en son işlem bertaraf (düzenli depolama, yakma gibi).

Bu uygulanan yöntemlerden sonra elimizde kalan atığa ya da bu yöntemleri uygulayamadığımız atığa yapılacak en son işlem ise düzenli depolama, yakma gibi bertaraf işlemidir (Gürkan, E. 2023).

Atık yönetimde öncelikle sorumlu kişi ya da kişiler belirlenmelidir. Konu ile ilgili tüm kişi/kişilere eğitim/bilgi verilmesi sağlanır. Ardından atık tanımlanır. Atığın kaynağına bağlı olarak toplanacağı alan belirlenir ve kaynaktan ayrılması sağlanır. Gerekli ise ön işlemleri yapılır, ilgili geri kazanım alanına gönderilir ve yapılan tüm işlemler kayıt altına alınır.



Şekil 2. Atık yönetim pramidi.

Atık Yöntemine İlişkin Genel İlkeler

Atıkların doğru bir şekilde yönetilmesi ve doğaya zarar vermemesi için göz önünde bulundurulacak ilkeler;

- Doğal kaynakların olabildiğince az kullanıldığı temiz teknolojiler geliştirilmeli ve kullanılmalı,
- Üretim, kullanım veya bertaraf aşamalarında çevreye zarar vermeyecek veya en az zarar verecek şekilde teknikler geliştirilmeli,
- Geri kazanım sonrasında bakiye kalan varsa tehlikeli maddelerin nihai bertarafı için uygun tekniklerin geliştirilmesi ve uygulanması, suretiyle olumsuz etkilerin azaltılması,
- Atık oluşumunun kaçınılmaz olduğu durumlarda geri dönüşüm, tekrar kullanım ve ikincil hammadde elde etme amaçlı teknikler geliştirilmek suretiyle atığın geri kazanılmasını veya enerji kaynağı olarak kullanılmasını sağlamak,
- Atıkların en yakın ve en uygun olan tesiste, uygun yöntem ve teknolojiler kullanılarak bertaraf edilmesi,

şeklinde sıralamak mümkündür (Gürkan, E. 2023)

Atıkların ayrılması, toplanması, taşınması, geri kazanılması ve bertarafı sürecinde doğal kaynaklar (su, hava, toprak) ve bitki ile hayvanlar için risk yaratmayacak, gürültü, titreşim ve arzu edilmeyen koku yoluyla rahatsızlığa neden olmayacak, doğal çevrenin

olumsuz etkilenmesini önleyecek ve böylece çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek yöntem ve işlemlerin geliştirilmesinin/kullanılmasının sağlanması gerekmektedir.

Farklı türdeki atıkların kaynağında tasnif edilerek toplanması için farkındalık yaratılması önemlidir. Örneğin farklı türdeki atıkların kaynağında ayrıştırılması için bu amaçla hazırlanmış özel kaplar kullanılabilir (Şekil 3).



Şekil 3. Atıkların türlerine göre toplanması

Her türlü faaliyet sırasında doğal kaynakların ve enerjinin verimli kullanılması amacıyla, atık oluşumunu kaynağında azaltan ve atıkların geri kazanılmasını sağlayan çevre ile uyumlu teknolojilerin kullanılması gerekmektedir.

Uygulanabilir ve verimli bir atık yönetimi uygulayabilmek için bilinmesi ve göz önünde bulundurulması gereken hususlar vardır. Bu hususlar sırasıyla;

- a) Yetkili/sorumlu belirlemek
- b) Atığın tanımlanması
- c) Atığı kaynağında ayrıştırma
- d) Personel çevre eğitimi
- e) Geçici atık depolama sahası kurulması
- f) Atık ön işlem
- g) Atıkların bertaraf edilmesi/geri kazanıma gönderilmesi
- h) Kayıtların tutulması şeklinde olmaktadır.

Her şeyden önce atıkları oluşturan kaynağın ne olduğu ve nasıl değerlendirileceği iyi bir şekilde bilinmelidir. Atık yönetim sürecinde bu konuya gönül veren bir sorumlu belirlemek ve ona bu konudaki tüm yetkileri vermek gerekir.

Tarımsal Atıkların Değerlendirilmesi Yöntemleri

Ülkemizde bitkisel ve hayvansal atık potansiyelinin 109.4 milyon ton yıl⁻¹ ve ormanlarından ise yonga, talaş, kabuk, dal, yaprak ve benzeri odunsu atık miktarının 5-7 milyon ton yıl⁻¹ civarında olduğu tahmin edilmektedir (Sümer vd., 2016). Tüm bu atıklar

birlikte değerlendirildiğinde ülkemiz organik atık yönünden önemli bir potansiyele sahip olduğu söylenebilir. Bu artıklardan özellikle yem, yem katkı maddesi vb. şekilde değerlendirme olanağı bulunmayanların kompostlanarak organik gübre olarak değerlendirilmesi en uygun ve ekonomik atık yönetim şekli olacaktır. Çünkü bunların hepsi organik kökenli olup bitki besin maddesince de zengin atıklardır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Çeşitli bitki artıklarının bitki besin maddesi kapsamı (g kg⁻¹ kuru madde), (Archer, 1988)

Bitki artığı	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₄
Tahıl sapı	7.0	0.8	8.0	3.5	0.9	1.1
Tahıl tanesi	20.0	4.0	6.0	0.6	2.5	2.5
Patates yumrusu	14.0	1.8	22.0	0.9	0.9	1.4
Hint yağı	5.5	1.5	1.5	0.5	0.5	-
Pamuk tohumu	7.0	3.0	2.0	0.5	0.5	0.5
Soya unu	7.0	1.5	2.5	0.5	0.5	0.5
Tütün sapı	2.0	0.5	6.0	5.0	0.5	1.0
Yosun unu	5.0	1.5	1.5	0.5	1.0	-

Tarımsal atıkların değerlendirilmesinde;

- a) piroliz,
- b) kompost ve
- c) biyogaz üretimi olmak üzere

3 farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin seçiminde öncelikle amaç ve atıkların özellikleri dikkate alınmaktadır.

Ayrıca bu yollarla toprağa tekrar kazandırılacak organik atıklar ile toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri iyileştirilmesi yanında kullanılan kimyasal gübrelerin etkinliği de artırılacaktır. Ayrıca Tüik verilerine göre yıllık 6.5-7.0 milyon ton civarında kullanılan kimyasal gübrelerden de önemli oranda tasarruf sağlanacağı vurgulanmaktadır (Gunes vd. 2015; Inal vd., 2015)

Piroliz

Organik atıkların oksijensiz ortamda yüksek sıcaklığa maruz bırakılarak yakılması işlemine **piroliz**, bu işlem sonucu ortaya çıkan ürüne ise **biyokömür** denilmektedir.

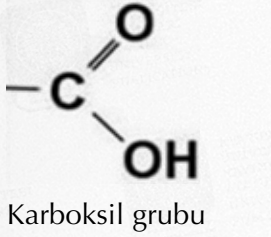
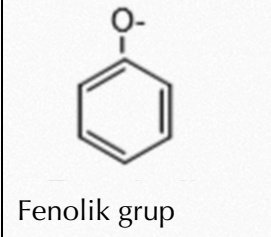
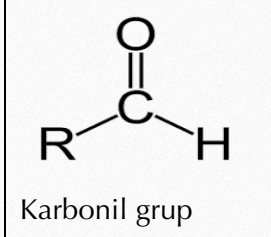
Organik atıkların oksijensiz veya çok az oksijen içeren ortamda yavaş veya orta pirolize tabi tutulur. 200°C' den daha yüksek sıcaklıklarda kimyasal bağlar bozunur ve büyük hidrokarbon molekülleri daha basit moleküllere parçalanır (Akgül, 2017). Daha teknik terimlerle biyokömür, sınırlı oksijen (O₂) ortamında ve nispeten yüksek sıcaklıklarda (<900 °C) organik materyalin termal olarak ayrışmasıyla elde edilmektedir (Lehmann ve Joseph 2009, Blackwell vd. 2009).

Ağır metaller ile kirlenmiş toprakların ıslahında biyokömürün adsorpsiyonu ve immobilizasyonu sayesinde ağır metallerin yayışlılığı ve hareketliliği azalmakta ve ağır metallerin olumsuz etkileri önlenmiş olmaktadır (Chen vd. 2011, Regmi vd. 2012).

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

Modern biyokömür endüstrisi kısmen yeni olsa da biyokömürün doğada oluşumu yüzyıllar boyunca kendiliğinden devam etmektedir. Bitkisel atıklar toprak altında havasız koşullarda çok uzun sürelerde karbonize olur ve biyokömür oluşur. Biyokömür (İngilizce "biochar") saf karbon değildir, hidrojen ve oksijen gibi yan fonksiyonel grupları içeren organik kaynaşmış moleküllerin karışımıdır.

Biyokömür gözenekli ve boşluklu yapıya, negatif yüklü yüzeylere ve karboksil, hidroksil, fenoksil ve karbonil gibi fonksiyonel gruplara sahiptir (Zhao ve Nartey 2014) (Şekil 4).

 Karboksil grubu	-OH Hidroksil grubu	 Fenolik grup	 Karbonil grup
--	----------------------------	--	--

Şekil 4. Biyokömürde bulunan önemli fonksiyonel gruplar

Biyokömürde bulunan bu önemli fonksiyonel gruplar toprağa uygulandığında biyokömüre önemli adsorbent özelliği kazandırmaktadır. Ağır metaller ile kirlenmiş toprakların ıslahında biyokömürün adsorpsiyonu ve immobilizasyonu sayesinde ağır metallerin yararlılığı ve hareketliliği azalmakta ve ağır metallerin olumsuz etkileri önlenmiş olmaktadır (Chen vd. 2011, Regmi vd. 2012).

Biyokömür, organik materyal parçaları, organik gübre, organik atıklar gibi biyokütlenin, havasız veya nispeten az oksijenli, kapalı bir ortamda yakılması (piroliz) sonucu elde edilen karbon açısından zengin ve bol mineral içeren bir toprak düzenleyicisidir (Ouedraogo, 2018). Çizelge 2'de tavuk gübresinden elde edilen biyokömüre ait analiz sonuçları verilmiştir. Çizelgenin incelenmesinden de anlaşılacağı gibi biyo kömür gerçekten de mineral madde bakımından oldukça zengin bir organik materyaldir.

Çizelge 2. Denemede kullanılan tavuk gübresi biyokömürüne ait kimyasal özellikler (Ouedraogo, 2018)

Özellikler	Değerler	Değerlendirme
pH,	10,1	Kuvvetli alkali
EC, dS cm ⁻¹	11,8	Aşırı tuzlu
Organik madde, g kg ⁻¹	516	Yüksek
Toplam N, g kg ⁻¹	51,2	Yüksek
Toplam P, g kg ⁻¹	0.20	Zengin
Toplam K, g kg ⁻¹	32.8	Zengin
Toplam Ca, g kg ⁻¹	81.8	Zengin
Toplam Mg, g kg ⁻¹	9.30	Zengin
Toplam Cd, mg kg ⁻¹	0.2	Düşük
Toplam Fe, g kg ⁻¹	3.47	Zengin

Toplam Cu, g kg ⁻¹	0.13	Zengin
Toplam Zn, g kg ⁻¹	0.61	Zengin
Toplam Mn, g kg ⁻¹	0.78	Zengin
Toplam B, g kg ⁻¹	0.09	Orta

Amazon bölgesinde bulunan "Terra preta" (çernezyum) olarak bilinen verimli siyah toprakların biyokömürce zengin olduğu ve bu karbon içeriğinin toprakta binlerce yıl kaldığı bulunmuştur (Lehmann ve Joseph, 2009).

Piroliz işlemi

- a) yavaş,
- b) orta,
- c) hızlı

olmak üzere 3 farklı şekilde yapılmaktadır (Kambo ve Dutta 2015). Oluşan ürün katı, sıvı ve gaz formunda olabilir. Ancak katı olarak elde edilen biyokömür yaygın olarak kullanılan türdür.

Bu işlem sırasındaki enerji dönüşümü işleminin düşük maliyetli, yenilenebilir kaynaklara dayalı olması, su, hava ve çevre kirliliğine yol açmaması beklenen hedefler arasındadır.

Biyokömür uygulamasının toprağın verimliliğine, bitki gelişimine ve ürün verimine etkileri; ürün çeşidi, biyokömür uygulama oranları ve biyokömürün özellikleri, bitki yetiştirme koşulları, kullanılan kimyasal gübreler ve iklime bağlı olarak değişmektedir (Günel ve Erdem, 2018).

Biyokömürün tarımsal üretim ve çevre yönetiminde oynadığı rol hakkında bilime dayalı önemli bulgular mevcuttur. Blackwell vd. (2009) biyokömürün toprağa uygulanma amaçlarını tarımsal karlılık, çevre kirliliği ve ötrofikasyon riskinin yönetimi, bozulmuş tarım alanlarının iyileştirilmesi ve toprak karbonunun atmosfere karışmasını önleyip toprağa bağlanması şeklinde özetlemiştir. Beesley vd. (2011) ise biyokömürün toprak verimliliğini ve bitki gelişimini artırıcı, hidrokarbon, pestisit ve ağır metal kirliliğini azaltıcı etkilerinden dolayı kullanılmasının yararlı olacağını ifade etmişlerdir.

Biyokömürün toprak özellikleri üzerine olan olumlu etkilerini Glaser vd. (2002) beş başlık altında toplamıştır. Bunlar;

- a) Biyokömür etkili adsorbent olması nedeniyle toprağa uygulandığında toprakta bulunan bitki besin elementleri, ağır metaller ve zirai ilaç kalıntıları tutmakta ve bu kimyasalların yüzey ve toprak altı sularına karışmasını engellemektedir.
- b) Biyokömür önemli oranda bitki besin elementleri içermektedir. Toprağa uygulandığında sahip olduğu besin maddelerini yavaş bir şekilde bitkilere sağlamaktadır.
- c) Biyokömürün düşük yoğunluğa sahip olması nedeniyle toprağa uygulandığında ağır killi topraklarda toprak yoğunluğunu düşürerek drenaj,

havalanma ve kök gelişimi artırmaktadır. Kumlu topraklarında ise toprağın su ve besin elementleri tutma kapasitesini artırmaktadır.

- d) Alkali özelliği nedeniyle azotlu gübrelerden kaynaklanan asitleşmeyi önlemektedir.
- e) Ayrıca asidik toprakların kireç ihtiyacını azaltmaktadır.

Ayrıca atıkların yakılmasına ilişkin 06.10.2010 tarihli Resmi Gazete’de yayınlanan bir yönetmelik bulunmakta ve atıkların biyokömüre dönüştürülemeyecek nitelikte ise yakılarak berteraf edilmeleri bu yönetmelik çerçevesinde yapılması önerilmektedir. Özellikle tarımsal faaliyetler sonucu tarımsal arazilerde başıboş bırakılan atıklar sebebiyle oluşan CH₄ ve CO₂ gibi sera gazlarının atmosfere salınması ve atmosferde konsantrasyonlarının artması iklim üzerine de dolaylı olarak etki etmektedir. Bu nedenle tarımsal atıkların yönetimi bir kez daha önem kazanmaktadır.

Tüik 2018 yılı verilerine göre 2016 yılı toplam sera gaz emisyonu miktarı 1990 yılına göre % 135.4 oranında artış göstermiş ve kişi başına düşen sera gazı emisyon miktarı yıllık 6 tonun üzerine çıkmıştır. Ayrıca piroliz işlemi ile atığın çeşidine, özelliklerine, yapısına bağlı olarak % 50’ye varan oranlarda kütle kaybı olması depolanma açısından da kolaylık sağlar. Yine bu yolla ham materyale göre, istenmeyen koku vb. durumların oluşumunu engellenmektedir.

Besin maddesi konsantrasyonunun artışı sağlayarak, bitkisel verimde artış sağlar, yapılan çalışmalar tuzluluk vb. stres koşulları üzerinde de bitki gelişimini olumlu yönde etkilediğini vurgulamaktadır. Biyokömürün kullanım alanları;

- a) Toprak iyileştiricisi ve organik gübre olarak kullanılabilir.
- b) Toprakta kendi ağırlığının 6 katı kadar su tutulmasını sağlar.
- c) Toprakta bitki besin maddesi konsantrasyonunu artırır.
- d) Toprak pH’sını düzenlemede katkı sağlar.
- e) Hayvan hayvan yeminde silaj ek maddesi olarak da kullanılabilir.
- f) Gazları özellikle hidrojen sülfür gazını tutma yeteneği fazladır.
- g) Enerji depolama amaçlı kullanılabilir.
- h) Katalizör olarak kullanılabilir.
- i) Yapılarda radyasyon emiliminde kullanılabilir.
- j) Adsorbent olarak kullanılması durumunda sulardaki ağır metal ve organik kirleticilerin olumsuz etkisini azaltabilmektedir.

Kompostlama

Bitkisel atıklar organik madde ve karbon, hayvansal atıklar ise azot içerikleri açısından zengindirler. Ülkemizde hayvansal üretim sonrasında yılda yaklaşık 160 milyon ton organik atık (taze dışkı, sıvı ve katı toplam) ve bitkisel üretim sonrasında yaklaşık 12.8 milyon ton organik atık açığa çıkmaktadır (Başçetinçelik vd, 2006; Yıldız ve Külcü, 2018). Ancak hayvansal atıkların (dışkılar) önemli bir bölümü hayvanların açık alanlarda – meralarda- otlatılması nedeniyle değerlendirilemez durumdadır. Dünyada tarımsal

atıkların değerlendirilmesinde kompost ve biyogaz teknolojileri yaygın olarak kullanılmaktadır. Her iki işlemde mikroorganizmalar aracılığıyla gerçekleştirilmekte fakat farklı kullanım amaçları bulunmaktadır. Biyogaz işlemi organik atıkların oksijensiz (anaerob) şartlarda fermente edilmesi sonucu yanıcı bir gaz olan metanın (CH₄) üretildiği bir işlemdir ve hedefi enerji üretmektir. Kompostlaştırma organik atıkların oksijenli şartlar altında (aerob) mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılması işlemidir. Bu işlem sonucunda organik atıklardan toprak düzenleyici ve gübre değeri olan bir ürün elde edilmektedir (Sönmez, 2012; Sarangi ve Lama, 2013; Yıldız ve Külcü, 2018). Bitki besin maddesi bakımından zengin olan bazı havan dışkılarının mineral madde içerikleri Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Farklı hayvan dışkılarının temel besin maddesi içerikleri (Taban, 2019)

Dışkı kaynağı	Besin maddesi, (g kg ⁻¹ kuru madde)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Sığır	20.0	22.9	2.40
At	17.0	6.90	1.80
Koyun	40.0	13.7	3.48
Domuz	20.0	13.7	1.80
Tavuk	39.0	48.1	2.16

Gübre olarak değerlendirilecek tüm hayvan dışkıları ile bitkisel atıklar mutlaka kompostlandıktan sonra kullanılmalıdır. Söz konusu atıkların kompostlanmadan kullanılmasının önüne geçilmeli ve kullananları bilinçli bir şekilde gerekçeleriyle birlikte uyarılmalıdır.

Bitkisel ve hayvansal atıkların niçin kompostlanmalı ve kompostlamanın yararları Taban (2009) tarafından detaylı bir biçimde açıklanmıştır. Buna göre;

- Bitkisel ve hayvansal atıklarda birçok patojen (bakteri, virüs, mantar, vb.) taşımaktadır. Bu da toprağa, bitkiye dolayısıyla insana zararlı etki yapabilir
- Yüksek nem içeriği nedeniyle toprağa uygulanması, taşınması ve depolanması oldukça zordur
- Özellikle taze hayvan dışkısı kendine has rahatsız edici bir kokuya sahiptir. Bu da birçok çevresel problemlere neden olmaktadır.

Diğer yandan taze hayvan dışkıları uygun bir şekilde kompostlanmadığında ve özel önlemler alınmadığında dışkının gübre olarak değerinin düşmesine yol açan azotun amonyak (NH₃) halinde kaybı ve özellikle sıcak havalarda dışkıdaki organik maddenin yanarak miktar olarak azalması gübrenin değerinin düşmesine neden olmaktadır.

Kompostlamanın yararları ise;

- Kompostlama sırasında taze dışkıda yüksek düzeyde bulunan karbonun bir kısmı CO₂ olarak serbest hale geçer ve gübrede C/N oranı daralarak 12/1 ile 20/1’e kadar geriler.
- Taze dışkıda organik formda bulunan bazı bitki besinleri, bitkilerin yararlanabileceği formlara dönüşür.

- c) Başlangıçta taze dışkıda yüksek olan azot bitkilere zarar vermeyecek düzeylere iner.
- d) Kompost yığnında gerçekleşen aktif parçalanma nedeniyle sıcaklık 60-80 oC kadar çıkar ve bu esnada patojenler (bakteri, virüs, mantar, vb.) ve sinek, solucan ile hastalık yapıcı organizmalar ölür.
- e) Kompost işlemi sırasında taze tavuk dışkısının uygun olmayan bazı özellikleri de (reaksiyon, tuzluluk vb.) uygun hale getirilmektedir.
- f) Kompostlanmış tavuk dışkısının depolanması, taşınması ve uygulanması kolaydır.
- g) Kompostlama esnasında rahatsız edici kokusu büyük ölçüde kaybolmuştur.
- h) Kompostlama sırasında besin maddeleri kararlı bir yapıya ulaştıkları için kaybolma riski ortadan kalkmıştır.
- i) Kompostlanmış tavuk dışkısında patojen mikroorganizmalar bulunmaz, sinek, solucan vb. canlıların yaşaması söz konusu olmaz.
- j) Bu nedenlerden dolayı; çevreye her hangi bir olumsuz etkisi yoktur.

Kompostlama Yöntemleri

Kompostlama yöntemleri hızlı kompostlama yöntemleri ve geleneksel kompostlama yöntemleri olmak üzere ikiye ayrılır (Taban, 2009).

Hızlı Kompostlama Yöntemleri

Hızlı kompostlama yöntemlerinde dışkının kompostlanma süresi kısadır. Hızlı kompostlama yöntemlerinden bazıları;

- a. Kapalı havuz (in-vessel) kompostlama yöntemi
- b. Berkley hızlı kompostlama yöntemi
- c. Kuzey Dakota Eyalet Üniversitesi sıcak kompostlama yöntemi
- d. Etkili Mikroorganizma (EM) kullanılarak hızlı kompost üretim yöntemi
- e. Hızlı kompostlama teknolojisi yöntemi
- f. Havalandırılmalı statik yığın yöntemi
- g. Alçak tünel kompostlama yöntemi
- h. Vermikompostlama yöntemi

Geleneksel Kompostlama Yöntemleri

Geleneksel kompostlama yöntemleri ile yapılacak olan kompostlama hızlı kompostlama yöntemlerine göre daha uzun bir süre almaktadır. Geleneksel kompostlama yöntemlerinden bazıları;

- a) Sıralı yığın kompostlama yöntemi
- b) Bangalore yöntemi
- c) Gübre yığınlarında pasif kompostlama yöntemi
- d) Indore yöntemi
- e) Yerel kompostlama (Çin örneği) yöntemi

Taze hayvan dışkılarının kompostlanarak organik gübreye dönüştürülmesinde yaygın olarak iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan ilki Hızlı Kompostlama Yöntemleri içerisinde yer alan **Kapalı Havuz Yöntemi**, diğeri ise Geleneksel Kompostlama Yöntemleri içerisinde yer alan **Sıralı Yığın Kompostlama Yöntemidir**.

Her iki kompostlama yönteminde de temel prensip; elde edilen taze dışkıların 30-45 günlük bir süre içerisinde olgunlaşması (yanması) sağlanarak organik gübreye dönüşmesidir.

Kompostlama Süresi

Doğal koşullarda hayvan dışkıları 6 ay ile 12 ay gibi uzun bir süre içerisinde ağırlıklı olarak oksijene gereksinim göstermeyen (anaerob) mikroorganizmaların faaliyetleri sonucu olgunlaşmasını tamamlayabilmektedir. Anılan kompostlama yöntemlerinde ise dışkının parçalanması ağırlıklı olarak oksijene gereksinim gösteren (aerob) mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilmesi sağlandığından bu süre çok daha kısa olmakta ve yaklaşık 1-1.5 ay içerisinde organik gübre elde etmek mümkün olabilmektedir. Ayrıca kompostlama sürecinde yığın içi sıcaklık 60-70°C ye ulaştığından zararlı mikroorganizmalar bu sırada ölmekte, yabancı ot tohumları da çimlenme özelliklerini kaybederek zararsız hale geçmektedir.

Kompostlamada çeşitli yöntemler kullanılmakla birlikte, genelde bütün sistemlerde gübre üretim yöntemlerinin dayandığı temel nokta;

- a) Hayvanlardan çıkan ve nem içeriği oldukça yüksek olan dışkının önce neminin belli bir oranda uçurulması, diğeri bir ifadeyle nem oranının düşürülmesi,
- b) Sonra bu dışkının sürekli karıştırılarak bol oksijenli ortamda parçalanmasının ve olgunlaşmasının kısa sürede tamamlanmasını sağlayarak organik gübreye dönüşmesinin gerçekleştirilmesidir.

Kompostlamayı Etkileyen Faktörler

Kompostlamayı etkileyen faktörler; kompostlanacak organik atığın cinsi, nem içeriği, karbon azot (C/N) oranı, pH'sı, fiziksel yapısı, besin maddesi içeriği ve ortamın sıcaklığı ile atığın havalanma oranı ile içerdiği patojenlerin cins ve miktarlarıdır. Kompostlanacak organik atıklar için optimum ortam koşulları Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. İdeal bir kompostlama işlemi için olması gereken optimum değerler

Özellikler	İstenen değerler
C:N oranı	25/1-30/1
Partikül büyüklüğü	Havalandırılan sistemlerde 10 mm
Nem içeriği	% 50-60
Hava akışı	Oksijen içeriğinin % 10-18 arasında olması sağlanmalı
Sıcaklık	55-60 °C
pH	5.5-9.0
Yığın yüksekliği	Doğal havalandırma yapılacaksa, 1.5 m yükseklik, 2.5 m genişlik ve istenilen uzunlukta yığınlar yapılır.

Mikrobiyal aktivite	Aerobik bakteriler, Aktinomisetler, Funguslar, Protozoalar, Algler, Kompost solucanları
---------------------	---

Kompostlama yöntemi fark etmeksizin izlenecek yollar

a) Hayvanların Altından Dışkılarının Alınması

Hayvanların altından çıkarılan dışkılar otomatik olarak bir bant sistemiyle veya kamyon-traktör benzeri taşıyıcı araçlarla "Dışkı Neminin Uzaklaştırma Ünitesi"ne veya "Ön Karıştırma Sahası"na getirilir.

b) Dışkı Neminin Azaltılması

Speratörlerle Dışkı Neminin Uzaklaştırılması

Speratör kullanılacaksa burada dışkıdaki nemin bir kısmı katı kısımdan ayrılır ve sonradan kompost yığınının kullanılmak üzere veya sıvı gübre olarak pazarlama söz konusu ise korozyona yol açmayacak sistemde depolanır.

c) Ön Karıştırma Sahasında Dışkılarının Nem Absorplayıcı Maddelerle Karıştırılması

Speratör ile nem uzamalaştırması yapılmayacak ise hayvanlardan elde edilen dışkılar doğrudan "Ön Karıştırma Sahası"na getirilir. Burada dışkıya nemi arzu edilen düzeye çekmek ve kompostlamanın başlaması için gerekli C/N oranını sağlamak amacıyla çeşitli materyaller ilave edilir ve iyice karıştırılır.

d) Kompostlama Yapılacak Üniteye Boşaltma İşlemi

Nemi ve C/N oranı düzenlenmiş dışkılarda kompostlamanın gerçekleşmesi için kompostlama alanına boşaltılır. Bu aşamadan 2 nolu üniteye belirtilen işlemler yapılmamış ise söz konusu uygulamalar dışkı boşaltıldıktan sonra da yapılabilir. Ancak bu işlemler kompostlama yerinde yapılacaksa karışmasının çok iyi sağlanması gerekir.

e) Kırma ve Öğütme Ünitesi

Kompostlama işlemi sonucunda olgunlaşan gübre genellikle granül ve homojen bir yapıya sahiptir. Ancak kompostlama süresince ani kurumalar veya diğer etkenlerden dolayı kesek oluşumu, topaklaşma veya fiziksel yapıyı bozucu oluşumlar ortaya çıkabilir. Ayrıca çakıl ve odunsu parçalar gibi kaba ve sert materyaller de bulunabilir. Bu amaçla kırma- öğütme- eleme işlemi gerçekleştirilir.

f) Kurutma Ünitesi

Bu aşamada yaklaşık olarak % 20-25 düzeyinde nem içeren olgunlaşmış gübrenin nem düzeyi düşürülür. Bu pelletlemenin iyi bir şekilde yapılabilmesi ve gübrenin stabilitesi ve muhafazası için gerekli bir işlemdir.

g) Sterilizasyon Ünitesi

Olgunlaşmasını tamamlayan gübrede kompostlama sırasında yükselen sıcaklığa (60-70 °C) bağlı olarak dışkıda bulunan pek çok patojen mikroorganizma ölmekle beraber, kompostlama süresince tamamen bertaraf edilemeyen patojenler var ise bu tür mikroorganizmaları elemine etmek için bir buhar sterilizasyonu uygulanmalıdır.

h) Pelletleme Ünitesi

Organik gübre yukarıda söz edilen proseslerden geçtikten sonra doğal granül yapıda, nispeten kokusuz ve homojendir. Bu şekliyle torbalanıp piyasaya sunulabileceği gibi, uygulamada kolaylık sağlaması açısından özel makine yardımıyla pelletlenebilir. Pelletlemenin arzu edildiği durumda, gübre basınç uygulanarak değişik boyutlarda pelletlenebilir.

i) Soğutma ve Dinlendirme Ünitesi

Pelet haline gelen gübre, peletleme aşamasında basınç ve presten dolayı bir miktar ısınmaktadır. Bu da gübrenin nem almasına neden olur. Bu sakıncayı ortadan kaldırmak için, pelletlenmiş gübre kompresör yardımıyla soğuk hava üfleyen bir siloya alınır ve burada soğutulur ve dinlendirilir.

i) Paketleme (Toralama) Ünitesi

İsteğe göre değişik boyutlarda pelletlenen gübreler soğutulup dinlendirildikten sonra 25 kg'lık ambalajlara konularak piyasaya sürülmeye hazır hale getirilir.

Kapalı havuz (in-vessel) kompostlama yöntemi

Hızlı Kompostlama Yöntemleri içerisinde en çok tercih edilen yöntemdir. Kapalı havuz sisteminde yapılan işlemlerden bazı görünüm Resim 1- 'da gösterilmiştir.



Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)



Resim 1. Kapalı havuz yönteminde hayvan dışıklarının kompostlanması





Resim 2. Kapalı Havuz (İn-Wessel) Kompostlama Sistemine Göre Organik Gübre Üretimi Aşamalarından Görünümler ve kapalı havuz yönteminde taze dışkı ile katkı materyallerinin karıştırılması



Resim 3. Kapalı havuz yönteminde hayvan dışkılarının kompostlama havuzlarındaki görünümü



Resim 4. Kompostlanması tamamlanan dışkıların kırma ve öğütme ünitesi gönderilmek üzere bunkerlere boşaltılması



Resim 5. Üretilen gübrelerin paketlenmesi

Sıralı yığın kompostlama yöntemi

Sıralı yığın kompostlama yöntemi ise Geleneksel Kompostlama Yöntemleri içerisinde en çok tercih edilen yöntemdir. Sıralı yığın sisteminde önemli husus yığınların düzenli olarak karıştırılması (Resim 6) ve dış etkenlerden korunmasıdır. Bu amaçla yığınların üzeri Resim 7'deki şekilde örtülmeli ve koruma altına alınmalıdır.



Resim 6. Sıralı yığın kompostlama yönteminde hayvan dışkıları ile yapılan yığınlar ve karıştırılmaları



Resim 7. Sıralı yığınların üzerinin naylon ile örtülmesi

Sıralı yığın kompostlama yöntemi ile organik gübre üretimi için örnek çalışma

Genç bir girişimci, İstanbul Anadolu yakasında kurulan bir büyük baş ve küçükbaş kurbanlık hayvan pazarında hayvanlardan çıkan dışkıları toplayarak doğa dostu organik gübre üretmeyi amaçlamış ve bu girişimcinin İstanbul Anadolu yakasında 25 dekar büyüklüğe sahip gübre üretim sahasında taze küçük ve büyükbaş hayvan dışkılarını bilimsel temellere dayalı olarak sıralı yığın sistemine göre kompostlayarak organik hayvan gübresi üretmiştir.

Sıralı yığın kompostlama sistemine göre organik gübre üretimi aşamalarından görünümler

Sıralı yığın sisteminde oluşturulan namlular. Taze hayvan dışkıları 3 m eninde ve 1.5m yüksekliğinde olacak şekilde sıralı yığın haline getirilmiş (Resim 8) ve yığınların içerisinde bulunan yem çuvalları, pet şişele vb. gibi atıklar temizlenmiştir (Resim 9)

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)



Resim 8. Taze hayvan dışkılarından yapılmış sıralar (namlular)



Resim 9. Sıralı yığın sisteminde oluşturulan namlularda atık yönetimi. Dışkılar içerisinde bulunan yabancı maddeler (çuval, pet şişe vb.) elle ayıklanıyor.



Resim 10. Sıralı yığın sisteminde oluşturulan ve çeşitli atıklardan temizlenen namlular

Namlu yapılan sıralarda bulunan taze hayvan dışkılarında karbon ve azot analizleri yapılarak kompostlamanın başlayabilmesi için uygun olan C/N oranını yakalayabilmek için yığınlara talaş ilave edilmiş (Resim 11 ve 12) ve bu amaç için geliştirilen karıştırıcı (Resim 13 ve 14) ile düzenli olarak karıştırılmıştır.



Resim 11. Namlulardaki nemin uzaklaştırılması ve C/N oranının arzu edilen düzeye getirilmesi amacıyla talaş ilave edilmesi



Resim 12. Namluların talaş ilavesi sonraki görünümü

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)



Resim 13. Karıştırıcı (çapalama) makinası

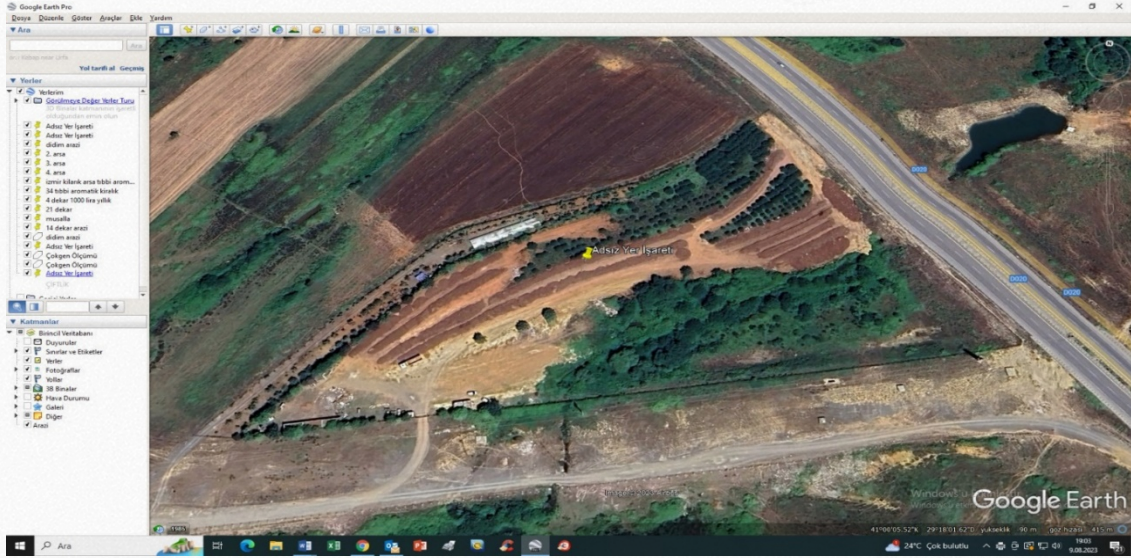


Resim 14. Namluların karıştırılması

Düzenli olarak karıştırılarak yığınlar olgunlaştırıldıktan sonra renginin parlak kahverengi ve görünümünün süngerimsi yapı aldığı belirlenmiştir (Resim 15). Bu aşamada kompostlama işlemine son verilmiştir. Kompostlama sonrası genel görünüm ise Resim 16'da gösterilmiştir.



Resim 15. Kompostlaması tamamlanmış namlulardan görünüm



Resim 16. Google earth'ten gübre üretim ünitesinin görünümü. Kahverengi çubuk şeklindeki görünümle kompostlanması tamamlanmış ve olgunlaşmış gübre namluları

Kompostlanarak elde edilen (Resim 17) organik gübre elenerek satışa hazır hale getirilmiştir.

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

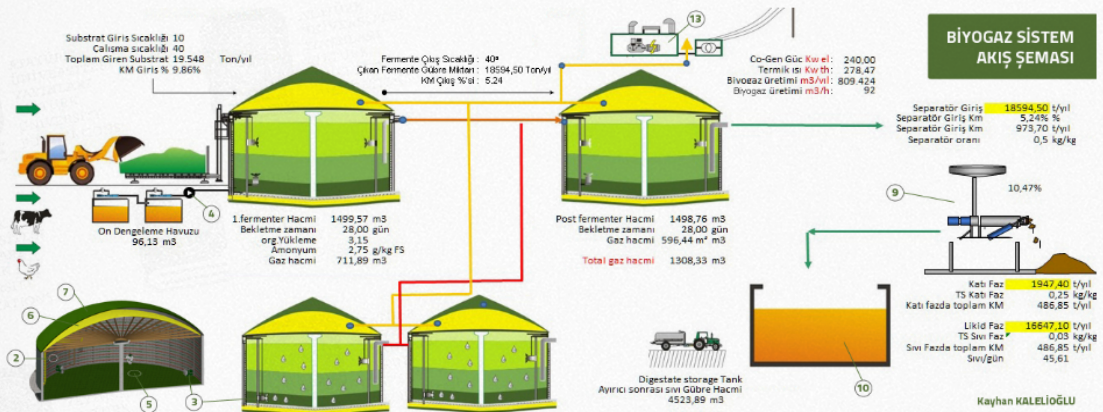


Resim 17. Kompostlama işlemi tamamlanan gübrelerin elenmesi

Biyogaz Üretimi

Biyogaz organik bazlı atık/artıkların oksijensiz ortamda (anaerobik) fermantasyonu sonucu ortaya çıkan renksiz - kokusuz, havadan hafif, parlak mavi bir alevle yanan bir gaz karışımıdır. Biyogaz üretimi sonucunda oluşan gaz saf bir gaz değildir. Bu gazın içeriğinde yaklaşık olarak % 55- 75 CH₄ gazı, % 25-45 CO₂ gazı, %1-10 hidrojen gazı (H₂), % 0-0,3 azot (N₂) gazı ve % 0-3 hidrojen sülfür gazı (H₂S) içermektedir (Anonim 2019). Bir biyogaz üretim aşaması Şekil 5’de verilmiştir.

Biyogaz Akış Şeması



Şekil 5. Biyogaz üretim akış şeması ([Biyogaz Akış Şeması | SOLEA ENERJİ \(soleaenerji.com\)](#))

Bitkisel ve hayvansal atıklar (organik atıklar) oldukça önemli potansiyele sahip yeni yenilenebilir enerji kaynağıdır. Organik atıklardan ısı elde edilmekte, yakıt üretilmekte ve elektrik üretimi için kullanılmaktadır.

Biyogaz Üretiminde Kullanılan Organik Atık/Artık Hammaddeler

a) Hayvansal Kökenli Kaynaklar

Sığır, at, koyun, tavuk gibi hayvanların dışkıları, mezbaha atıkları ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar.

b) Bitkisel Kökenli Kaynaklar

İnce kıyılmış sap, saman, anız ve mısır artıkları, şeker pancarı yaprakları ve çimen artıkları gibi bitkilerin işlenmeyen kısımları ile bitkisel ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan artıklardır.

c) Organik İçerikli Şehir ve Endüstriyel Atıklar

Kanalizasyon ve dip çamurları, kağıt, sanayi ve gıda sanayi atıkları, çözülmüş organik madde derişimi yüksek endüstriyel ve evsel atık sular biyogaz üretiminde kullanılmaktadır. Bu atıklar Özellikle belediyeler ve büyük sanayi tesisleri tarafından yüksek teknoloji kullanılarak tesis edilen biyogaz üretim merkezlerinde kullanılan atıklardır.

Türkiye'nin biyokütle atık potansiyelinin yaklaşık 8.6 milyon ton eşdeğer petrol (MTEP) ve üretilebilecek biyogaz miktarının ise 1.5-2 milyon ton eşdeğer petrol olduğu tahmin edilmektedir.

1 m³ biyogazın sağladığı ısı miktarı 4700-5700 kcal m⁻³'dir. 1 m³ biyogaz; 0.62 litre gazyağı, 1.46 kg odun kömürü, 3.47 kg odun, 0.43 kg bütan gazı, 12.3 kg tezek ve 4.70 kWh elektrik enerjisi eşdeğerindedir. 1 m³ biyogaza 0.66 litre motorin, 0.75 litre benzin ve 0.25 m³ propan eşdeğer yakıt miktarlarıdır.

Çok farklı kullanım alanları olan biyogaz ağırlıklı olarak elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Farklı atıklardan elde edilen biyogaz verimi ve biyogazdaki metan miktarı Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5. Farklı atık kaynaklarının biyogaz verimi ve metan oranları (<http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyogaz.aspx>)

Atık Kaynağı	Biyogaz Verimi, L kg ⁻¹	Metan Oranı, Hacim %'si
Sığır gübresi	90-310	65
Kanatlı gübresi	310-620	60
Domuz gübresi	340-550	65-70
Buğday samanı	200-300	50-60
Çavdar samanı	200-300	59
Arpa samanı	290-310	59
Mısır sapsarı ve artıkları	380-460	59
Keten ve Kenevir	360	59
Çimen	280-550	70
Sebze artıkları	330-360	Değişken
Ziraat artıkları	310-430	60-70
Yerfıstığı kabuğu	365	-

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

Ağaç yaprakları	210-290	58
Algler	420-500	63
Aritma çamuru	310-800	65-80

Biyoyakıt, içeriklerinin hacim olarak en az % 80'i son on yıl içerisinde toplanmış canlı organizmalardan elde edilmiş her türlü yakıt olarak ifade edilmektedir. Biyodizel, biyoetanol, biyogaz ve biyokütle olarak değerlendirilmektedir (Kılıç, 2011).

Biyoeanol, hammaddesi şeker pancarı, mısır, buğday ve odunsular gibi şeker, nişasta veya selüloz özlü tarımsal ürünlerin fermantasyonuyla elde edilen ve benzinle belirli oranlarda karıştırılarak kullanılan alternatif bir yakıttır. Ulaştırma sektöründe benzinle karıştırılarak, küçük ev aletlerinde, kimyasal ürün sektöründe kullanılan Biyoetanol, yakıtın oksijen seviyesini arttırarak, yakıtın daha verimli yanmasını sağlamaktadır (Kılıç, 2011).

Biyogaz organik maddelerin (hayvansal atıklar, bitkisel canlı organizmaların kökeni olarak meydana gelen organik atıklar, şehir ve endüstriyel atıklar) oksijensiz şartlarda (anaerobik fermantasyon) biyolojik parçalanması sonucu oluşan ağırlıklı olarak metan ve karbondioksit gazıdır. Bileşiminde organik maddelerin bileşimine bağlı olarak yaklaşık; % 40-70 metan, % 30-60 karbondioksit, % 0-3 hidrojen sülfür ile çok az miktarda azot ve hidrojen bulunur (Kılıç, 2011).

Biyogaz oluşumunda başlıca üç evre vardır ki bunlar sırasıyla;

- a) Hidroliz,
- b) Asit oluşturma ve
- c) Metan oluşumudur (Kılıç, 2011).

a) Birinci aşama (Hidroliz): atığın mikroorganizmaların salgıladıkları enzimlerle çözünür hâle dönüştürülmesidir. Bu aşamada polisakkaritler monosakkaritlere, proteinler peptidlere ve aminoasitlere dönüşür. Sonraki aşamada asit oluşturma bakterileri devreye girerek bu maddeleri asetik asit gibi küçük yapıllı maddelere dönüştürürler.

Atığın mikroorganizmaların salgıladıkları enzimlerle çözünür hâle dönüştürülmesidir. Bu aşamada polisakkaritler monosakkaritlere, proteinler peptidlere ve aminoasitlere parçalanır.

b) İkinci aşama (Asit oluşturma): Asit oluşturma bakterileri devreye girerek birinci aşamada oluşan maddeleri asetik asit gibi küçük molekülü maddelere parçalar. Asit oluşumu, üretim esnasında pH'nın düşmesine neden olabilir. Bu ise metan oluşumunu sağlayacak bakteriler üzerinde olumsuz etki yaratabilir.

c) Üçüncü aşama (Metan oluşumu): İlk iki aşamada oluşan maddeler metan oluşturma bakterileri tarafından biyogaza dönüştürülür. Biyogaz oluşumu mikrobiyolojik etkenlerle gerçekleşmekte ve doğal olarak bu mikrobiyolojik organizmaların etkileneceği her türlü koşul biyogaz üretimini de etkilemektedir.

T. C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanmış, Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası bulunmaktadır. Buna göre Ülkemiz nüfusu ile tüm atıkların miktarı ile enerji değerleri Çizelge 6'da belirtilmiştir

Çizelge 6. Farklı atık türlerinin miktarları ve enerji değerleri (<http://bepa.yegm.gov.tr/>)

Atık Türü	Miktar, ton yıl ⁻¹	Enerji Değeri, TEP* yıl ⁻¹
Hayvansal Atık	163.297.308	1.176.198
Bitkisel Atık	96.451.594	39.877.285
Kentsel Katı Atık	31.331.836	2.315.414
Orman Atıkları	-	859.899
Toplam Hayvan Sayısı (adet)		389.405.328
Toplam Bitkisel Üretim Miktarı, ton yıl ⁻¹		176.313.301

*TEP: ton eşdeğer petrol

T. C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından biyogazın yararları (<http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyogaz.aspx>);

- a) Biyogaz üretimi ile atık/artık maddelerden enerji elde edilmesidir. Ucuz - çevre dostu bir enerji ve toprak verimlilik kaynağıdır. Biyogaz üretimi sonucu sıvı formda fermente organik materyalde elde edilmektedir. Elde edilen materyal tarlaya sıvı olarak uygulanabilir, granül haline getirilebilir ve/veya beton-toprak havuzlarda doğal kurumaya bırakılarak da kullanılabilir.
- b) Atık geri kazanımı sağlanmış olur.
- c) Biyogaz üretimi sonucu hayvansal kaynaklı verimlilik materyalinde bulunabilecek yabancı ot ile mücadele sağlanmış olur.
- d) Biyogaz üretimi sonucunda hayvansal kaynaklı materyalin kokusu rahatsız etmeyecek kadar azalmaktadır.
- e) Hayvansal kaynaklı materyalin insan sağlığını ve yeraltı sularını tehdit eden hastalık etmenlerinin büyük oranda etkinliğinin kaybolmasını sağlamaktadır. Fermantasyon sonucu elde edilen organik materyalin temel avantajı anaerobik fermantasyon sonucunda patojen mikroorganizmaların büyük bir bölümünün yok olması önemli bir avantajdır.
- f) Biyogaz üretiminden sonra atıklar yok olmamakta üstelik çok daha değerli bir organik materyal haline dönüşmektedir.
- g) Biyogaz, benzinle çalışan motorlarda hiçbir katkı maddesine gerek kalmadan doğrudan kullanılabilir gibi içeriğindeki metan gazı saflaştırılarak da kullanılabilir. Dizel motorlarda kullanılması durumunda belirli oranlarda (% 18-20) motorin ile karıştırılması gerekmektedir.
- h) Biyogaz çok yönlü bir enerji kaynağıdır ve hem ısıtma hem de elektrik üretimi amacıyla kullanılabilir.
- i) % 95 CH₄ içeren bir biyogaz doğal gaz saatlerinde yapılacak bir değişiklik ile doğal gazın yerine kullanılabilir şeklinde sıralanmıştır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Temiz bir çevrede yaşamak hepimizin hakkıdır. Beslenmek için bitkisel ve hayvansal gıdaları üretmek zorundayız. Ancak bu gıdaları üretirken çevreyi kirletme hakkımız yoktur. Olamaz. Tarımsal faaliyetler sonucu bitkisel ve hayvansal gıdaların üretim ve üretim sonrası aşamalarında oluşan her türlü atıkların yönetilmesi gereklidir. Bu atıklardan organik gübre olarak üretilme potansiyeli olan atıkların mutlak suretle kompostlanarak organik gübreye dönüştürülmelidir. Ülkemiz tarım topraklarının organik madde kapsamının son derece düşük olduğu göz önüne alındığında atıklardan elde edilecek organik gübrenin ne denli önemli olduğu kendiliğinden ortaya çıkmaktadır. Organik maddenin eksikliği toprakların verimliliğini sınırlandırdığı gibi elde edilen bitkisel ürünün de verim ve kalitesini olumsuz şekilde etkilemektedir. Tarımın sürdürülebilirliği ve verimliliğinin yükseltilmesi, toprakta organik maddenin yeter düzeyde bulunmasıyla doğru orantılıdır. Bu da topraklara organik madde ilavesiyle mümkündür. Topraklara uygulanacak organik madde kaynağı olarak ilk akla gelen ve eskiden beri kullanılmasının son derece yararlı olduğu bilinen kaynak hayvansal atıklardan elde edilen gübrelerdir. Sürdürülebilir toprak verimliliği için son derece önemli olan bitkisel ve hayvansal atıkların sadece atık olarak düşünülmesi yerine bunlardan farklı şekillerde yararlanma yolları aranmalı ve bu yönde gerekli çalışmalar ve teşvikler getirilmelidir.

KAYNAKLAR

- Akgül, G. 2017. Biyokömür: Üretimi Ve Kullanım Alanları, S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Derg., 5, 485-499.
- Anonim, 2017. <http://www.alpates.com.tr/Gubrelerin-Tarihi-Gelisimi.pdf>.
- Anonim, 2019. Şanlıurfa Karacadağ Kalkınma Ajansı, Kompost Tesisi Kurulması Amacına Yönelik Fizibilite Çalışması Projesi Kapsamında Hazırlanan Kompost ve Biyogaz Tesisi Fizibilite Raporu. 2014. H. Şenol, E.A. Elibol, Ü. Açıknel, M. Şenol / BEÜ Fen Bilimleri Dergisi 6(2), 81-92, 2017 90. <http://www.investsanliurfa.com/SayfaDownload/KOMPOST%20VE%20B%C4%B0YOGAZ%20TES%C4%B0S%C4%B0Z%20F%C4%B0Z%C4%B0B%C4%B0L%C4%B0TE%20RAPORU.pdf> (Erişim Tarihi: 24.10.2019).
- Archer, J. 1988. Crop nutrition and fertilizer use. Farming Press, In. Switch.
- Anonim 2024. [Atık Yönetimi – Doğa ve Çevre Vakfı – DOÇEV \(docev.org.tr\)](http://docev.org.tr)
- Başçetinçelik, A., Öztürk, H.H., Kaya, D., Kaçira, K., Ekinci, K., Karaca, C. (2006) Türkiye’de Biyokütle Enerjisi Kullanımını Geliştirme Olanakları. VI: Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 25-26 Mayıs, Isparta.
- Beesley, L., Moreno-Jiménez, E., Gomez-Eyles, J. L., Harris, E., Robinson, B. ve Sizmur, T. 2011. A review of biochars’ potential role in the remediation, revegetation and restoration of contaminated soils, Environ. Pollut., 159, 3269–3282.
- Blackwell, P. Riethmuller, G. and Collins, M. 2009. Biochar Application to Soil. Biochar for Environmental Management Science and Technology. Edited by Johannes Lehmann and Stephen Joseph. First published by Earthscan in the UK and USA.

- Büyükgöngör, H. 2006. Çevre Kirliliği ve Çevre Yönetimi. 1-16. <http://dosya.toprakisveren.org.tr/makale/2006-72-hanifebuyukgongor.pdf>.
- Chen, X., Chen, G., Chen, L., Chen, Y., Lehmann, J. and McBride, B. M. 2011. Adsorption of copper and zinc BCs produced from pyrolysis of hardwood and corn straw in aqueous solution. *Bioresour. Technol.*, 102, 8877-8884.
- Glaser, B., Lehmann, J. and Zech, W. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal. A review. *Biol. Fertil. Soils* 35, 219-230.
- Günel, E., Erdem, H. 2018. Biyokömür; Tanımı, Kullanımı ve Tarım Topraklarındaki Etkileri. ADÜ Ziraat Dergi, 15(2):87-93.
- Gürkan, E. (2023). Atık Yönetimi Ders Notları. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Temel İşlemler Anabilim Dalı. <https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/elif.gurkan/136013/14.HAFTA.pdf> (Erişim tarihi 14.11.2023))
- Gunes, A., Inal, A., Sahin, O., Taskin, M.B., Atakol, O. and Yılmaz, N. 2015. Variations in mineral element concentrations of poultry manure biochar obtained at different pyrolysis temperatures, and their effects on crop growth and mineral nutrition. *Soil Use and Management*, 31; 429-437.
- Inal, A., Gunes, A., Sahin, O., Taskin, M.B. and Kaya, E.C. 2015. Impacts of biochar and processed poultry manure, applied to a calcareous soil on the growth of bean and maize. *Soil Use and Management*, 31; 106-113.
- Kambo, H. S., Dutta, A., 2015, "A Comparative Review of Biochar and Hydrochar in Terms of Production, Physico-Chemical Properties and Applications", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 359-378.
- Kılıç, F. Ç. 2011. Biyogaz, önemi, genel durumu ve Türkiye'deki yeri. *Mühendis ve Makine*, 52, 94-106.
- Lehmann, J. and Joseph, S. 2009. Biochar for Environmental Management: An Introduction. pp. 1-9. *Biochar for environmental management*. Science and Technology. Edited by Lehmann, J. and Joseph, S. 416p.
- Ouedraogo, A.R. (2018). Ispanak (*Spinacia oleracea*. L.) Bitkisinde Biyokömürün Kadmiyum Toksisitesini Önleme ve Mineral Element Konsantrasyonları Üzerine Etkisi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, A.Ü Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü Proje No: 18L0447001)
- Regmi, P., Moscoso, J.L.G., Kumar, S., Cao, X., Mao, J. and Schafran, G. 2012. Removal of copper and cadmium from aqueous solution using switchgrass biochar produced via hydrothermal carbonization process. *J. Environ. Manage.*, 109, 61-69.
- Sarangi, S. K., Lama, T. D., (2013). Straw composting using earthworm (*Eudrilus eugeniae*) and fungal inoculant (*Trichoderma viridae*) and its utilization in rice (*Oryza sativa*)-groundnut (*Arachis hypogaea*) cropping system. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 83 (4), 420.

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

- Sönmez, İ. (2012). Determination of the optimum mixture ratio and nutrient contents of broccoli wastes, wheat straw and manure for composting. *Journal of Food, Agriculture and Environment (JFAE)*, 10 (3&4), 972-976.
- Sümer, S.K., Kavdır, Y., Çiçek, G. 2016. Türkiye'de Tarımsal ve Hayvansal Atıklardan Biyokömür Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi. *KSÜ Doğa Bil. Derg.*, 19(4), 379-387.
- Taban, S. 2009. Tavuk Dışkılarının Organik Gübreye Dönüştürülmesi. *Kompostlaştırma Sistemleri ve Kompostun Kullanım Alanları Çalıştayı*. 18-19 Haziran 2009, Barcelo Eresin Topkapı Hotel-İstanbul.
- Taban, S. 2018. Gübre Kullanımının Öyküsü. *Tarım ve Mühendislik Dergisi*, Sayı: 121: 14-29
- Taban, S. (2019). Gübre Bilgisi Ders Notları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi. <https://acikders.ankara.edu.tr/mod/url/view.php?id=6589>
- Yaldız, O., Külcü, R. 2018. Türkiye'de Kompost Üretim Teknolojileri ve Yasal Düzenlemeler, *Akademia Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, Cilt 2 Sayı 4, 8-25.
- Zhao, B. and Nartey O. D. 2014. Characterization and evaluation of biochars derived from agricultural waste biomass from Gansu, China. *The World Congress on Advances in Cical, Environmental and Materials Research (ACEM14)*. Busan, Korea, August 24-28.

TÜRKİYE'DE GÜBRELER VE FABRİKADAN-TARLAYA YÖNETİMİ

Emin Bülent ERENOĞLU

Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi.
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü.
Adana .TÜRKİYE
ebulenterenoglu@cukurova.edu.tr

Özet

Bu bölümde, Türkiye'de Gübre Takip Sistemi'nin *Faz I (fabrikadan tarlaya)* ve *Faz II (laboratuvardan tarlaya/gübre önerileri)* olarak ifade edilebilecek iki aşamasının durumu özetlenmektedir. *Faz I (fabrikadan tarlaya)*, genel hatlarıyla Türkiye'deki gübre pazarının analiz edilmesini ve pazarın yönetimi ve kendi içindeki uyumun sağlanmasındaki yasal dayanakların AB'deki en son Gübre Yönetmeliği ile karşılaştırılmasını içerir. Bazı küçük detaylar dışında, Türkiye'de gübre piyasasını düzenleme ve kontrol etme için mevcutta kullanılan üç yönetmelik, AB'nin en son yönetmeliği olan "*Gübrelerin Piyasa Gözetimi ve Denetimi Hakkında Yönetmelik - Resmî Gazete No 28956, 2019*" ile oldukça uyumludur. *Faz II (laboratuvardan tarlaya/gübre önerileri)*, dünya genelinde gübre yönetimi için izlenen bilimsel yöntemleri/yaklaşımları inceleyip karşılaştırmaktadır. Bu kısımda, ilk olarak Türkiye'deki Toprak, Bitki ve Sulama Suyu Analiz Laboratuvarlarının yasal dayanakları, statüleri ve işleyişleri gibi temel bilgiler yer almaktadır. Ayrıca, Türkiye'de gübre tavsiyeleri için mevcut araçlar ve yaklaşımlar da kısaca tartışılmaktadır. İkinci aşamanın son bölümünde ise, entegre besin elementi yönetim (*Integrated Nutrient Management System - INM*) sistemi ve 4D Hassas Besin Elementi Yönetimi gibi besin elementi önerilerinde kullanılan stratejiler ve modeller ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Ayrıca azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K) için gübreleme önerilerini etkileyen faktörler ve öneri destek yazılımlarının ilkelerine genel bir bakışa da bu bölümde yer verilmiştir. Sonuç kısmında ise, özellikle Toprak, Bitki ve Sulama Suyu Analiz Laboratuvarları, gübreleme programlarının olmazsa olmazı olan besin elementi tavsiyeleri ve kullanılabilecek destek programları ile ilgili bazı öneriler sunulmuştur.

FERTILIZERS AND THEIR FACTORY TO FIELD MANAGEMENT IN TURKEY

Abstract

This section summarizes the status of the two phases of the Fertilizer Tracking System in Turkey, which can be expressed as *Phase I* (from factory to field) and *Phase II* (from laboratory to field/fertilizer recommendations). *Phase I* (from factory to field) involves analyzing Turkey's fertilizer market in general terms, comparing the legal basis for managing the market, and ensuring its harmonization with the latest Fertilizer Directive in the EU. Except for some minor details, the three regulations currently used to regulate and

CE Gübreleri ve Türkiye

Avrupa Birliği'nin gübre piyasası, 2019 yılına kadar farklı düzenlemeler yardımıyla izlenmiş ve denetlenmiştir (Çizelge 1). Bununla birlikte, kimyasal, organik ve mikrobiyal bazlı ürünlerin pazarlanmasına ilişkin üretim konularını kapsayan tüm yasal kuralların ayrı yönetmeliklerde yer alması çeşitli karışıklıklara neden oluyordu. Olası karışıklıkları ortadan kaldırmak için Avrupa Birliği, geri dönüştürülmüş ve organik materyalleri de kapsayan yeni bir düzenleme yapma ihtiyacı duydu. Son olarak, Avrupa Parlamentosu ve Konseyi, mevcut gübre düzenlemelerini daha anlaşılır ve kapsayıcı yapma amacıyla 2019 yılında yeni bir yönetmelik yayınladı.

Çizelge 1'de verildiği gibi, gübrelerin AB iç piyasasında bulunmasına ilişkin koşullar, Avrupa Parlamentosu ve Konseyi'nin 2003/2003 sayılı Yönetmeliği (EC) ile kısmen uyumlaştırılmıştır. Bununla birlikte, neredeyse sadece madenlerden veya kimyasal olarak üretilen gübreler olan inorganik materyalleri kapsıyordu. Ancak tarımda geri dönüştürülmüş ve organik malzemelerin de gübreleme amacıyla yaygın olarak kullanıldığı biliniyordu. Avrupa Birliği'nin 2019/1009 sayılı Yönetmeliğin girişinde yer alan aşağıdaki cümle, değişikliğin anlam ve önemini vurgulamaktadır: *"Bu tür geri dönüştürülmüş veya organik malzemelerden yapılan gübrelerin tüm iç pazarda kullanılabilir hale getirilmesi için uyumlaştırılmış koşullar, kullanımlarının yaygınlaştırılmasına önemli bir teşvik sağlamak üzere oluşturulmalıdır. Geri dönüştürülmüş besin elementlerinin kullanımının artmasını teşvik etmek, döngüsel ekonominin gelişmesine daha fazla yardımcı olacak ve Birliğin üçüncü ülkelerden gelen besin elementlerine olan bağımlılığını azaltırken, besin elementlerinin kaynak açısından daha verimli kullanımına izin verecektir. Bu nedenle uyumlaştırmanın kapsamı, geri dönüştürülmüş ve organik malzemeleri içerecek şekilde genişletilmelidir."* Avrupa Birliği'nin 2019/1009 sayılı Yönetmeliği, AB gübreleme ürünlerinin piyasaya sunulmasına ilişkin kuralları belirlemiş ve 1069/2009 sayılı (EC) ve (EC) 1107/2009 sayılı Yönetmelikleri değiştirmiş ve 2003/2003 sayılı (EC) Yönetmeliği yürürlükten kaldırmıştır.

Çizelge 1. Avrupa Birliği'nde gübre ve bitki besleme ürünlerinin üretimini, pazarlanmasını ve güvenliğini düzenlemek için kullanılan eski düzenlemeler

Düzenleme	İçerik
2003/2003 Sayılı Yönetmelik (EC)	'EC gübresi' olarak adlandırılan gübreler şeklinde piyasaya sürülen ürünlere uygulanır.
1069/2009 Sayılı Yönetmelik (EC)	Başta gıda ve yem zincirinin güvenliğini korumak olmak üzere, bu ürünlerden kaynaklanan halk ve hayvan sağlığına yönelik riskleri önlemek ve en aza indirmek için hayvansal yan ürünler ve türevi ürünler için halk sağlığı ve hayvan sağlığı kuralları belirlenmiştir.
1107/2009 Sayılı Yönetmelik (EC)	Bitki koruma ürünlerinin piyasaya sürülmesi konusunda önlemler alır.

Aşağıda, AB 2019/1009 Sayılı Yönetmeliğin temel unsuları ve üreticiler için olası avantajları Nutrient Management and Nutrient Recovery Thematic Network (NUTRIMAN)

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

isimli ağda belirtildiği şekliyle aynen yer almaktadır (NUTRIMAN, 2024; <https://nutriman.net/EU-Fertiliser-Regulation>).

(AB) 2019/1009 Sayılı Yönetmeliğinin Temel Unsurları

- AB Tek Pazarı'na erişebilecekleri koşulları tanımlayarak yeni ve yenilikçi organik gübreler için pazar açacaktır.
- AB genelinde serbestçe alınıp satılacak tüm gübreler için güvenlik, kalite ve etiketleme gereklilikleri konusunda kesin kurallar sağlayacaktır. Üreticilerin, CE etiketini yapıştırmadan önce ürünlerinin bu gereksinimleri karşıladığını göstermeleri gerekecektir.
- AB gübreleme ürünleri, farklı kullanım amaçlarına uyarlanmış özel güvenlik ve kalite gereksinimlerine tabi olması gereken farklı ürün fonksiyon kategorilerine (PFC'ler) ayrılmıştır.
- AB gübreleme ürünleri için bileşen malzemeleri, her biri belirli proses gereksinimlerine ve kontrol mekanizmalarına tabi olan farklı kategorilere ayrılmıştır. Çeşitli bileşen malzemesi kategorilerinden çeşitli bileşen malzemelerinden oluşan bir AB gübre ürününün, ancak her bir malzemenin ait olduğu kategorinin gerekliliklerine uygun olduğu kanıtlandığında piyasaya sürülmesi mümkün olacaktır.
- Gübrelerdeki kirlenmeler için yeni sınır değerler getirmektedir.

Gübre Türü	Maksimum Kadmiyum (Cd) Limiti
Organik gübreler, inorganik toprak iyileştirici ve diğer biyo-gübreler	1.5 mg/kg kuru madde
Organik toprak iyileştirici ve kireçleme malzemeleri	2 mg/kg kuru madde
İnorganik makro besin ve organomineral gübreler kütlece < %5'ten az P ₂ O ₅ içeriği	3 mg/kg kuru madde
Kütlece > %5 P ₂ O ₅ içeriğinin üzerinde inorganik makro besin ve organo-mineral gübreler (fosfatlı gübre).	60 mg/kg fosfor pentoksit (P ₂ O ₅)
Düşük kadmiyum içerikli organomineral gübreler	20 mg/kg fosfor pentoksit (P ₂ O ₅)
İnorganik mikro besin gübreleri	200 mg/kg toplam mikro besin içeriği

- Birlik hukukundaki diğer birçok ürün uyumlaştırma önleminin aksine, 2003/2003 sayılı Yönetmelik (EC), uyumlaştırılmamış gübrelerin ulusal yasalara uygun olarak iç pazarda bulunmasını engellememekteydi. Bu nedenle uyumlaştırılmış kurallara uygunluk isteğe bağlı kalmalı ve yalnızca bitkilere besin sağlamayı veya bitkilerin beslenme verimliliğini artırmayı amaçlayan ve piyasaya sunulduğunda CE işaretini taşıyan ürünler için zorunlu olmalıdır. Dolayısıyla bu Yönetmelik, piyasaya arz edildiğinde CE işareti taşımayan ürünlere uygulanmamalıdır.

(AB) 2019/1009 Sayılı Yönetmeliğin Olası Avantajları

Kaynak: <https://nutrیمان.net/EU-Fertiliser-Regulation>

- Organik ve geri kazanılmış gübre üreticilerinin, AB genelinde ticareti yapılabilecek her türlü gübreleme materyali için uyumlaştırılmış kalite standartlarıyla satış yapmalarının kolaylaştırması.
- Çiftçiler için daha fazla seçenek sunması ve tüketiciler için daha az sağlık ve çevresel risk meydana getirmesi.
- Organik gübre ve diğer biyogübre durumlarında uygulanacak <1.5 mg/kg'lık maksimum Cd sınırı, yüksek düzeyde toprak korumasını tamamen garanti edecek ve sağlık ve çevre risklerini azaltması. Ama aynı zamanda, üreticilerin üretim süreçlerini yeni sınırlara uyacak şekilde uyarlamalarına da olanak tanınması.
- "Düşük Cd içerikli" <20 mg/kg organomineral gübre kutuları, yüksek Cd içerikli mineral gübrelerle kıyasla gelişmiş toprak koruması sağlaması ve sağlık ve çevre risklerini azaltması.
- Organik ve biyo/atık bazlı gübre kullanımını desteklemesi.
- Gübre üretimi için geri dönüştürülmüş malzemelerin daha fazla kullanımını teşvik ederek, ithal besin elementlerine olan bağımlılığı azaltırken döngüsel ekonominin gelişmesine yardımcı olması.
- Yenilikçi, organik gübreler için pazara erişimi kolaylaştırması, çiftçilere ve tüketicilere daha geniş bir seçenek sunması ve yeşil inovasyonu teşvik etmesi.
- "AB" gübreleri için AB çapında kalite, güvenlik ve çevre kriterlerini oluşturulması.
- Gübrelerin, insan sağlığı ve çevre ile ilgili güvenliğini garanti ederek tüketicinin güvenini artırması (özellikle toksik elementler, organik kirleticiler ile ilgili olarak).
- Distribütörler ve ithalatçılar pazara yakın olduklarından, yetkili ulusal makamlar tarafından piyasa gözetim görevlerine dahil edilmesi.
- İç pazarın tam uyumlaştırılması, ulusal kuralların karşılıklı olarak tanınması ve/veya farklılaştırılması ile ilgili tüm maliyetleri ortadan kaldırması ve tutarlı bir insan sağlığı ve çevre koruma seviyesi sağlaması.

Daha önce de belirtildiği gibi, bazı küçük sorunlar dışında, Türkiye'de bulunan gübrelerle ilgili düzenlemeler Avrupa Birliği kriterlerini karşılamaktadır. Bu sorunlu düzenlemeler, çoğunlukla *Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Bazlı Gübreler Yönetmeliği*'nde (Resmî Gazete No 30341, 2018) yer almaktadır. Bunun nedeni, (AB) 2019/1009 sayılı Tüzüğün bir yıl sonra yapılmış olması olabilir.

Burada, organomineral gübrelerin içeriklerindeki farklılıklar örnek olarak verilebilir. Çizelge 2'de Türkiye ve AB'de bulunan organomineral gübrelerin minimum organik madde (OM) ve besin elementi seviyeleri gösterilmiştir. Kolayca görüleceği gibi,

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

en belirgin fark, AB pazarında bulunmasına izin verilen gübrelere olması gereken minimum organik N içeriğidir. Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Esaslı Gübreler Yönetmeliği'nde (Türkiye) minimum organik N seviyesi yoktur. Bununla birlikte, Türkiye'de minimum toplam organik madde seviyeleri (AB) 2019/1009 sayılı Tüzükte verilenden daha yüksektir.

Avrupa Birliği'nin (AB) 2019/1009 sayılı Yönetmeliğine göre, bir **inhibitör**, belirli mikroorganizma veya enzim gruplarının aktivitesini geciktirerek veya durdurarak bitkiye besin elementi sağlayan bir ürünün besin salım modellerini iyileştiren bir üründür. (AB) 2019/1009 sayılı Yönetmelikte, Çizelge 3'te verildiği gibi üç farklı inhibitör grubu tanımlanmıştır.

Diğer bir ifadeyle inhibitörler, üre veya amonyumun, amonyak (NH_3) ve nitrat (NO_3) gibi formlara olası dönüşümünü engelleyen kimyasal maddelerdir. Böylece N kullanım etkinliğini artırabilir ve çiftçilerin kazançlarını artırırken, N kaynaklı çevresel riskleri de en aza indirebilirler. Doğal bir sonuç olarak, sürdürülebilirliğin çevresel, ekonomik ve sosyal olmak üzere üç boyutunu desteklerler (IPNI, 2017). Türkiye'de inhibitör içeren gübrelerin üretimi, pazarlama gözetimi "*Tarımda Kullanılan Kimyasal Gübreler Hakkında Yönetmelik - 25406, 2004 Sayılı Resmî Gazete*" ve "*Tarımda Kullanılan Kimyasal Gübreler Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik - 28282 Sayılı Resmî Gazete, 2012*" ile düzenlenmiştir. İnhibitör içeren gübreler konusunda Avrupa Birliği'nin (AB) 2019/1009 sayılı Yönetmelik'ten farklı önemli detaylar bulunmaktadır. Türkiye'deki gübre yönetmeliği Avrupa Birliği'nin ilgili yönetmeliğine uyarlanırsa, o gübrelerdeki farklılıklar ortadan kalkacaktır.

Çizelge 2. Türkiye* ve AB'de organomineral gübrelerin minimum organik madde (OM) ve besin madde düzeyleri**

	Türkiye		AB
N	<ul style="list-style-type: none">OM > %20Toplam N > %8	Bir besin elementli	<ul style="list-style-type: none">Organik karbon \geq %7,5N > %2.5 (ve en az %1'i organik N olmalıdır)P_2O_5 > %2 veyaK_2O > %2
	<ul style="list-style-type: none">OM > %15Toplam N+P_2O_5 (veya K_2O) > %12Toplam N > %3Toplam P_2O_5 (veya K_2O) > %5		Birden fazla besin elementli
NPK (NPK)	<ul style="list-style-type: none">OM > %15Toplam N+P_2O_5+K_2O > %15Toplam N > %2Toplam P_2O_5 > %3Toplam K_2O > %3		

* Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Esaslı Gübreler Yönetmeliği - Resmî Gazete No 30341, 2018

** AB gübreleme ürünlerinin piyasaya sunulmasına ilişkin kuralları belirleyen ve 1069/2009 sayılı (EC) ve (EC) 1107/2009 sayılı Yönetmelikleri değiştiren ve 2003/2003 sayılı (EC) Tüzüğü yürürlükten kaldıran (AB) 2019/1009 sayılı Yönetmelik.

Ancak, gübre pazarını uyumlu hale getiren (AB) 2019/1009 sayılı Yönetmelik, tarım sektöründe kullanılan tek yönetmelik değildir. Daha önce de belirtildiği gibi, (AB) 2019/1009 sayılı Yönetmelik, AB'de yalnızca gübre pazarını düzenler ve eşgüdümlü hale getirir. Bu nedenle bu yönetmeliğin gübrelerin tarla/çiftlik düzeyinde kullanımları konusunda söyleyebileceği çok fazla bir şey yoktur. Bununla birlikte, ulusal hükümetlerin gübre kullanımı için ek düzenlemeleri de olabilir. Örneğin, Almanya'nın İyi Gübre Yönetimi Uygulamaları (Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüV)) ilkelerine göre gübre, toprak katkı maddeleri, yetiştirme ortamı ve bitki katkı maddelerinin sahada kullanımına ilişkin bir yönetmeliği vardır. Bu yönetmelik esas olarak, tarımdan su kütlelerine nitrat (NO_3^-) emisyonlarını azaltmayı ve önlemeyi amaçlayan 676/3/EEC sayılı AB Nitrat Direktifini uygulamaktadır. Yeraltı suyundaki NO_3^- konsantrasyonu, AB İçme suyu direktifi 98/83/EC'de belirtildiği gibi, insan sağlığını olası zararlardan korumak için içme suyundaki NO_3^- konsantrasyonunun eşiği olan 50 mg/L'in altında olmalıdır. Ayrıca, yüzey sularına NO_3^- emisyonları, limnik ve deniz ekosistemlerinin ötrofikasyonuna neden olur. İlgili çevresel hedefler, diğerlerinin yanı sıra, 2000/60/EG sayılı AB Su Çerçeve Direktifi ve 2008/56/EC sayılı Deniz Stratejisi Çerçeve Direktifi'nde tanımlanmıştır. Almanya'nın Gübre Yönetmeliği, olası çeşitli çevresel etkileri nedeniyle esas olarak N ve P uygulamalarına odaklanmaktadır (Kuhn, 2017).

Çizelge 3. (AB) 2019/1009 Yönetmeliğine göre inhibitörler, tanımları ve bilimsel gereklilikler*

Grup	Tanım	Ürün İşlev Kategorisi (PFC)	Bilimsel gereklilik
Nitrifikasyon İnhibitörü	amonyak azotunun ($\text{NH}_3\text{-N}$) nitrit-azota (NO_2^-) biyolojik oksidasyonunu inhibe eder, böylece nitrat-azot (NO_3^-) oluşumunu yavaşlatır.	PFC 5(A)	Nitrifikasyon inhibitörünün eklenmediği bir kontrol örneği ile karşılaştırıldığında, nitrifikasyon inhibitörü içeren bir toprak örneği, uygulamadan 14 gün sonra %95 güven seviyesinde gerçekleştirilen bir analize dayalı olarak amonyak nitrojen ($\text{NH}_3\text{-N}$) oksidasyon oranında %20'lik bir azalma göstermelidir.
Denitrifikasyon İnhibitörü	nitratın (NO_3^-) oluşumunu yavaşlatarak veya bloke ederek nitroz oksit (N_2O) oluşumunu PFC 5(A)'da açıklandığı gibi nitrifikasyon sürecini etkilemeden dinitrojene (N_2)	PFC 5(B)	Denitrifikasyon inhibitörünün eklenmediği bir kontrol örneği ile karşılaştırıldığında, denitrifikasyon inhibitörünü içeren bir in vitro test, uygulamadan 14 gün sonra %95 güven seviyesinde gerçekleştirilen bir analize dayalı olarak nitroz oksit (N_2O) salınım oranında %20'lik bir azalma göstermelidir.

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

	dönüştürmeyi engelleyecektir.		
Üreaz İnhibitörü	üreaz enzimi tarafından üre (CH ₄ N ₂ O) üzerindeki hidrolitik etkiyi inhibe eder, esas olarak amonyak uçmasını azaltmayı hedefler.	PFC 5(C)	Üreaz inhibitörünün eklenmediği bir kontrol örneği ile karşılaştırıldığında, üreaz içeren bir in vitro test inhibitör, uygulamadan 14 gün sonra %95 güven seviyesinde gerçekleştirilen bir analize dayanarak üre hidroliz oranında (CH ₄ N ₂ O) %20'lik bir azalma gösterecektir.

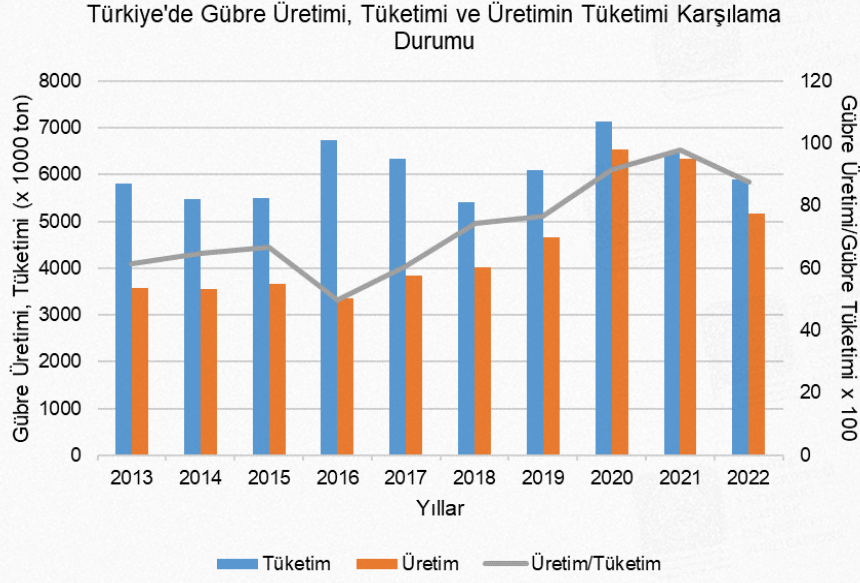
* AB gübreleme ürünlerinin piyasaya sunulmasına ilişkin kuralları belirleyen ve 1069/2009 sayılı (EC) ve (EC) 1107/2009 sayılı Yönetmelikleri değiştiren ve 2003/2003 sayılı (EC) Tüzüğü yürürlükten kaldıran (AB) 2019/1009 sayılı Yönetmelik.

Gübre Pazarı ve Gübre Kullanımı

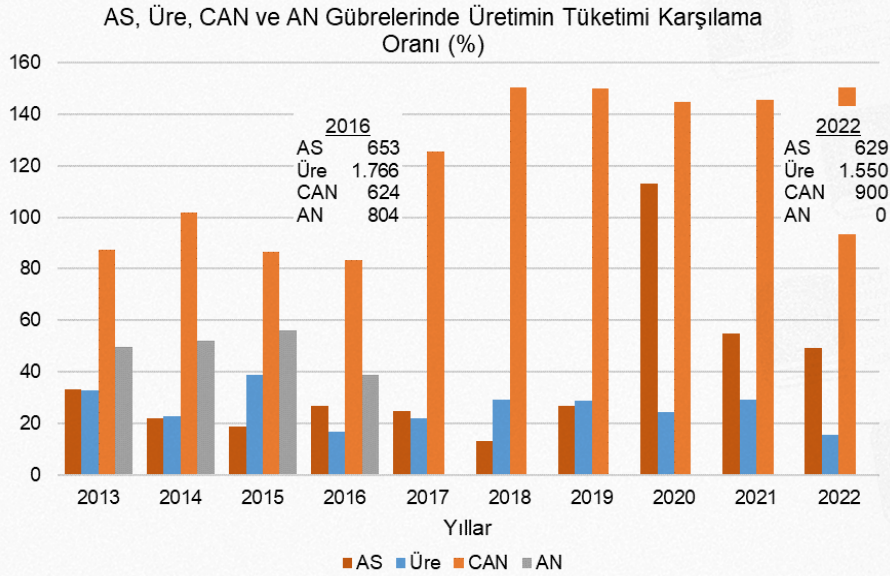
Gübre Pazarının Büyüklüğü

Türkiye'nin toplam gübre kullanımı 2017 yılında 6.3 milyon tona ulaşmış, yılın ikinci yarısında yaşanan ekonomik gerileme nedeniyle 2018 yılında 5.4 milyon tona düşmüştür (Şekil 1). Covid-19 salgını sürecinde yeniden artışa geçen gübre kullanımı, tüm dünyada genelinde yaşanan sorunların da etkisiyle gübre üretiminin tüketimini karşılama oranlarında %100'lere yaklaşmıştır. Bu oran, Türkiye'de üretim yapan on büyük şirketin üretimlerine ve ekonomik koşullara bağlı olarak 2013-2019 yılları arasında %60-80 arasında değişmiştir. Türkiye, neredeyse tüm NPK, fosfat ve nitrat talebini karşılayacak kapasiteye sahiptir (Tarım ve Orman Bakanlığı; veri verilmemiştir).

Bununla birlikte, üre ve amonyum sülfat (AS) üretim kapasitesi, esas olarak nitrat yasağından sonra N gübrelerinin amonyum nitrattan (AN) üre ve AS'a kayması nedeniyle toplam talebin altında kalmıştır (Şekil 2). Bunun nedeni, üre ve AS üretim kapasitesinin ortaya çıkan ihtiyacı karşılamaya yetmemesidir. Ancak 2017'den sonra, özellikle CAN gübresinin üretimindeki artışa bağlı olarak yerli üretim yüzdesi önemli ölçüde artmıştır. Ürenin üretiminin tüketimi karşılama oranı yıllara göre %15-40 arasında değişmekte, bu ise dışa bağımlıktan, özellikle pandemi ve sonrasında yaşanan olayların da etkisiyle bitkisel üretimde baskı oluşturmaktadır.



Şekil 1. Türkiye'de 2013-2022 yılları arasında gübre üretimi, tüketimi ve üretimin tüketimi karşılama yüzdesi (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2024)



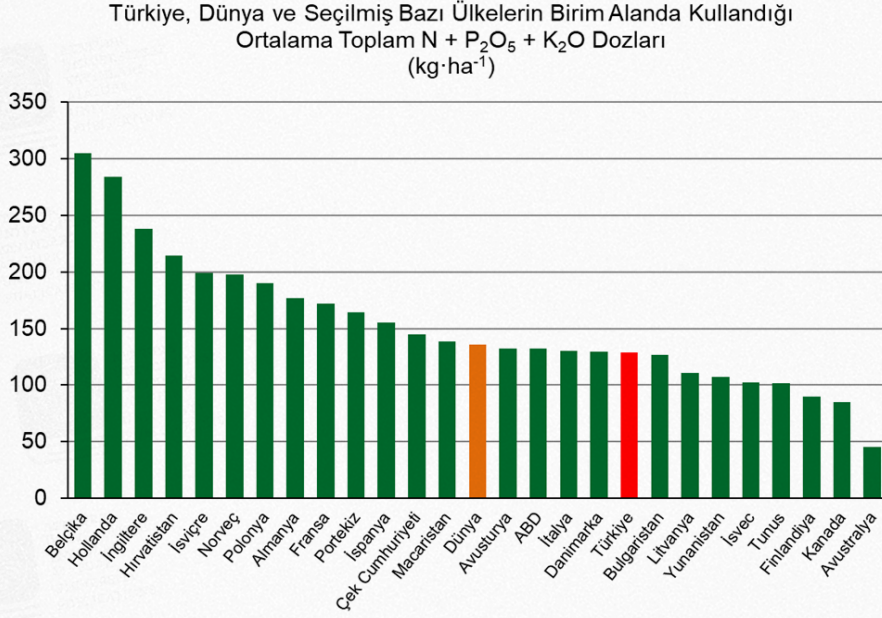
Şekil 2. Türkiye'de 2013-2022 yılları arasında amonyum sülfat (AS), üre, kalsiyum amonyum nitrat (CAN) ve amonyum nitrat (AN) gübrelere üretim tüketimi karşılama yüzdesi (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2024).

Besin Elementi (N, P ve K) Tüketimleri

Toplam N, P ve K Tüketimi: Türkiye'de kullanılan kimyasal gübreler ile uygulanan besin elementi miktarlarına bakıldığında fazla kullanımın olmadığı görülmektedir. 2018 yılı verilerine göre, Türkiye'de ortalama besin elementi (N + P₂O₅ + K₂O) tüketimleri dünya

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

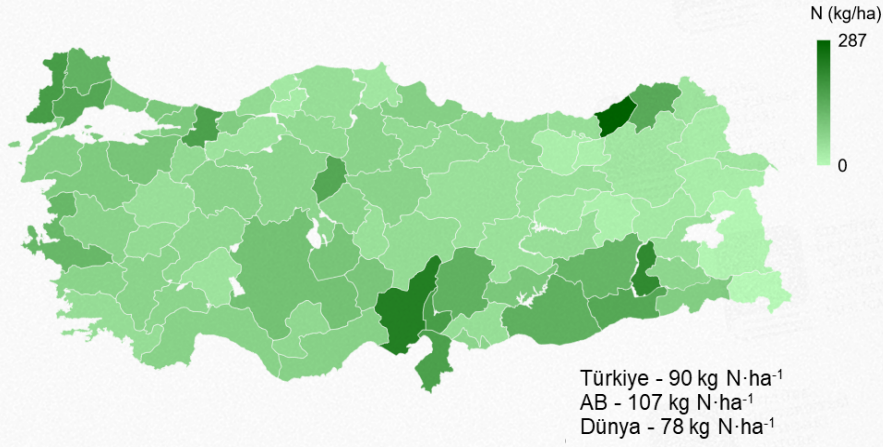
ve aynı kuşakta bulunan İtalya, İspanya, Yunanistan ve Portekiz gibi benzer koşullara sahip ülkelerle karşılaştırılabilir düzeydedir (Şekil 3).



Şekil 3. 2018 yılı verilerine göre Türkiye, dünya ve seçilmiş bazı ülkelerin birim alanda kullandığı ortalama toplam N + P₂O₅ + K₂O dozları (FAOStat, 2018).

Azot Tüketimi: 2018 yılı rakamlarına göre, Türkiye’de tarım alanlarında birim alanda kullanılan N dozları AB ortalamasının biraz altında, dünya ortalamasının ise biraz üstünde olmuştur (Şekil 4). Ancak yine aynı görselde görüleceği gibi, bölgeler ve iller bazında ise önemli farklılıklar mevcuttur. Birim alanda en fazla N Rize’de kullanılırken, onu Adana takip etmektedir. Şekil 5’te verilen küresel N fazlası verileri gözönünde bulundurulduğunda, Türkiye’de tarım topraklarında N fazlalığı seviyeleri çok yüksek değildir. Ancak son yıllarda Konya şartlarında yürütülen denemeler, topraklarda önemli düzeylerde nitrat birikiminin olduğunu, bu nedenle, N’lu gübreleme önerilerinde özellikle yağışın düşük olduğu İç Anadolu gibi bölgelerde mutlaka topraktaki N’un da dikkate alınması gerektiğini göstermektedir (Gökmen Yılmaz ve ark., 2021).

Türkiye'de 2018 Yılında İller Bazında Azot Tüketimi (kg N·ha⁻¹)

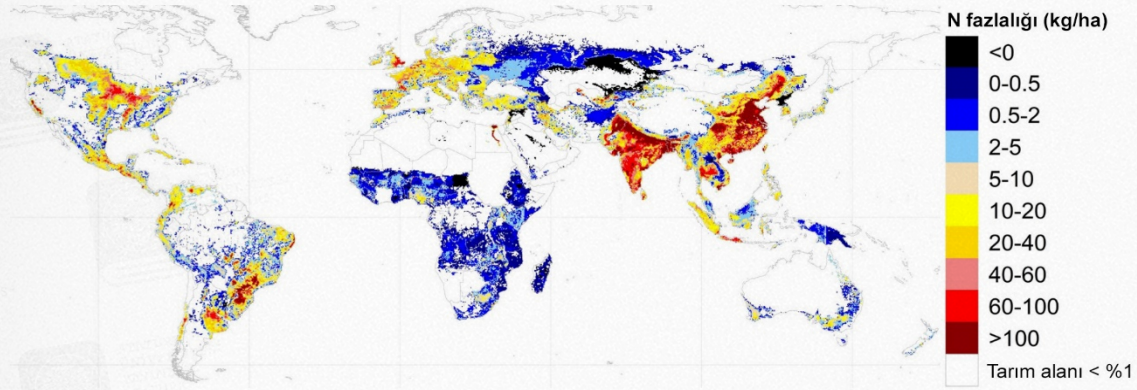


Şekil 4. Türkiye'deki illerin 2018 yılında birim alanda N kullanım seviyeleri. Grafikte yer alan illere ait değerler, Tarım ve Orman Bakanlığı websayfasından (<https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Bitkisel-Uretim/Bitki-Besleme-ve-Tarimsal-Teknolojiler/Bitki-Besleme-Istatistikleri>) elde edilmiş her bir ilde satılan toplam gübrelere hesaplanan toplam saf N'un o ildeki toplam tarım alanına bölünmesiyle elde edilmiştir. Türkiye, ABD ve Dünya ortalamaları ise FAOStat (<https://www.fao.org/faostat/en/#home>) üzerinden elde edilen verilerden hesaplanmıştır.

Fosfor Tüketimi: Türkiye'de birim tarım alanlarında kullanılan N dozunun aksine, P kullanım dozları 2018 yılı verilerine göre dünya ve AB ortalamasının üzerindedir (Şekil 6). Bunun nedeni, "Türkiye topraklarının kireç içeriği yüksek olduğundan P'un fikse olma oranı yüksektir" şeklinde yerleşmiş olan bir düşünce olabilir. Ancak P'un birikse de topraktaki seviyesi arttıkça yararıyla birlikte de artacağı göz ardı edilmemeli ve P'lu gübre önerilerinde mutlaka toprak analizlerine başvurulmalıdır. Fosfor kullanımları açısından iller ve bölgeler arasında da önemli farklılıklar mevcuttur. Ayrıca, son yıllarda organomineral gübreler ile yapılan çalışmalar P'lu organomineral gübrelerdeki P'un kullanım etkinliğini (Erenoglu ve Hacirüstemoğlu, 2022; Erenoglu ve ark., 2023), sıvı formda uygulanan P (Erenoglu ve Dünder, 2020) gibi artırdığını göstermiştir. Bu nedenle, mümkün olduğunca organomineral ve/veya sıvı formda P'lu gübre kullanılması tercih edilmelidir.

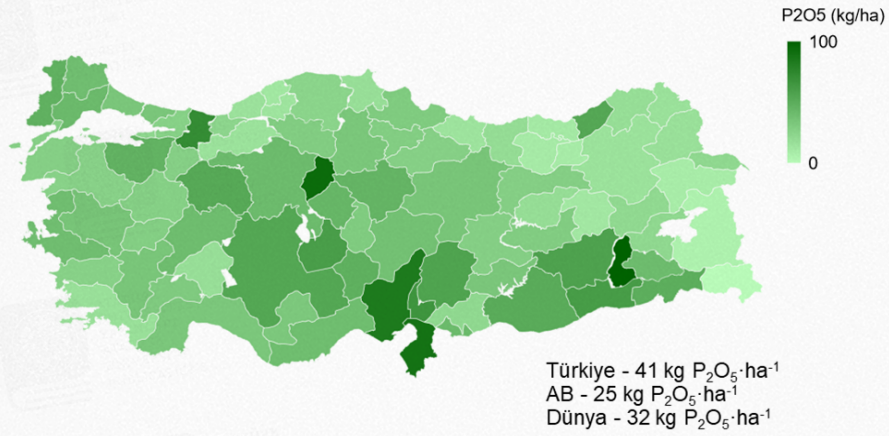
Potasyum Tüketimi: N ve P tüketimlerinden farklı olarak, Türkiye'nin ortalama gübre K kullanım seviyesi dünya ve AB ortalamalarından 4-5 kat daha düşüktür (Şekil 7). Türkiye içerisinde en yüksek K uygulama dozu Rize ilinde görülmektedir; bunun nedeni, il genelinde çay üretiminde yoğun olarak kullanılan çaya özel üretilmiş 25.5.10 gübresi olabilir. Türkiye'de yaygın olan "Türkiye topraklarında bitkiye elverişli toprak K düzeyleri yüksektir" düşüncesi az K'nın kullanılmasının nedeni olabilir. Ancak bu özellikle meyve, sebze, patates, şekerpancarı ve mısır üretimleri için çok doğru değildir. Bu bitkilerin K ihtiyaçları yüksektir ve topraktan aldıkları ihtiyaçlarını karşılamayabilir, bu N'un da kullanım etkinliğinin düşmesine de neden olabilir (Yin ve ark., 2023).

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)



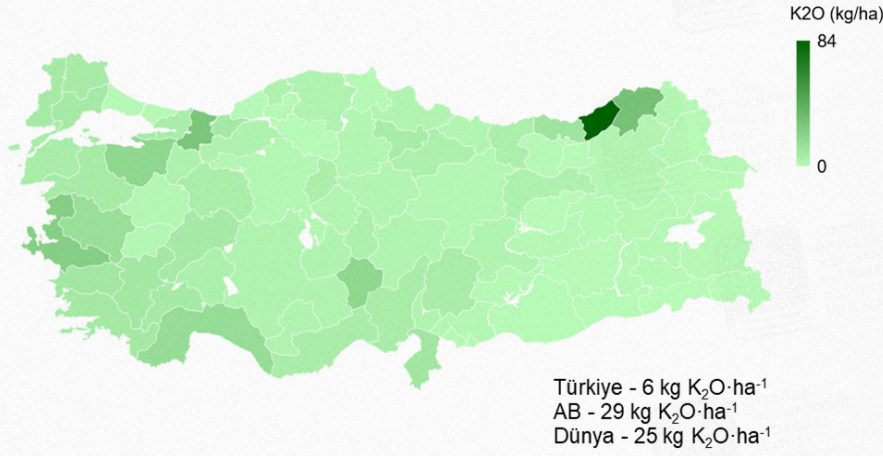
Şekil 5. 2015 yılı N fazlası veya açığı haritası (kg N/ha). Azot fazlası, bitkilerin hasat edilen kısımlarının N içeriğinin üretim alanına uygulanan toplam N'dan çıkarılması ile elde edilen bir değer ifadesidir. (Kaynak: A New Paradigm for Plant Nutrition. Issue Brief of Scientific Panel on Responsible Plant Nutrition held in 2020).

Türkiye'de 2018 Yılında İller Bazında Fosfor Tüketimi (kg P₂O₅·ha⁻¹)



Şekil 6. Türkiye'de illerin 2018 yılında birim alanda P kullanım seviyeleri. Grafikte yer alan illere ait değerler, Tarım ve Orman Bakanlığı websayfasından (<https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Bitkisel-Uretim/Bitki-Besleme-ve-Tarimsal-Teknolojiler/Bitki-Besleme-Istatistikleri>) elde edilmiş her bir ilde satılan toplam gübrelerden hesaplanan toplam saf P'un o ildeki toplam tarım alanına bölünmesiyle elde edilmiştir. Türkiye, ABD ve Dünya ortalamaları ise FAOstat (<https://www.fao.org/faostat/en/#home>) üzerinden elde edilen verilerden hesaplanmıştır.

Türkiye'de 2018 Yılında İller Bazında Potasyum Tüketimi (kg K₂O·ha⁻¹)



Şekil 7. Türkiye’de illerin 2018 yılında birim alanda K kullanım seviyeleri. Grafikte yer alan illere ait değerler, Tarım ve Orman Bakanlığı websayfasından (<https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Bitkisel-Uretim/Bitki-Besleme-ve-Tarimsal-Teknolojiler/Bitki-Besleme-Istatistikleri>) elde edilmiş her bir ilde satılan toplam gübrelere hesaplanan toplam saf K’un o ildeki toplam tarım alanına bölünmesiyle elde edilmiştir. Türkiye, ABD ve Dünya ortalamaları ise FAOStat (<https://www.fao.org/faostat/en/#home>) üzerinden elde edilen verilerden hesaplanmıştır.

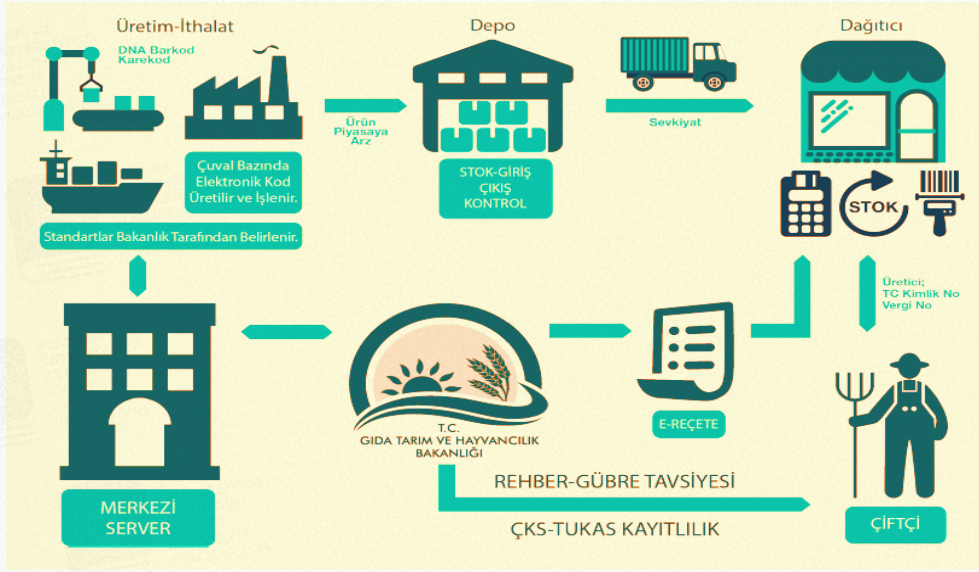
DNA-Barkod Takip Sistemi

Türkiye gübre takip sistemi Tarım ve Orman bakanlığı tarafından iki aşamalı olarak planlanmıştır (Şekil 8). *Faz I*'de daha önce de ifade edildiği gibi gübrelere fabrikadan-tarlaya izlenebilirliği hedeflenmiş, *Faz II*'de ise gübre önerileri için e-reçete altyapısının hazırlanarak uygulanması planlanmıştır. Bunlardan *Faz I* halihazırda kullanımdayken, *Faz II* üzerindeki çalışmalar devam etmektedir.

Bilindiği gibi, Türkiye uzun yıllar çoğunluğu bombalı olmak üzere terör saldırılarıyla karşı karşıya kaldı. Bu saldırılarda kullanılan bombaların çoğu el yapımıydı ve üretimlerinde amonyum nitrat (%33 N) kullanılıyordu. Amonyum nitratlı gübrelere kullanımı 2016 yılında yasaklandı ve Türk hükümeti gübrelere izlemek için teknik altyapı hazırlığı çağrısında bulundu. Ayrıca, (AB) 2019/1009 sayılı Yönetmelikte, *yüksek azot içeriğine sahip amonyum nitrat gübrelere güvenliği tehlikeye atmamasını ve bu tür gübrelere amaçlanan amaçlar dışında, örneğin patlayıcı olarak kullanılmamasını sağlamak için, bu tür gübrelere patlama direnci testi ve izlenebilirlik ile ilgili özel gerekliliklere tabi olması gerektiği* belirtilmiştir. Türkiye'de gübrelere takibi ve pazarın izlenmesi için DNA-Barkod Takip sistemi (*Faz I*) kullanılmıştır (Şekil 8). Bu sistem gübrelere izlenebilirliği için çok kullanışlı görünüyor ancak bombalama sonrası gübre kaynağının bulunması konusunda soru işaretleri taşıyor.

Toprak analizine ve ulusal gübreleme rehberine göre, e-reçete sisteminin gübre takip sistemine eklenmesi bir fikir olarak tartışılmaktadır. "Gübre Takip Sistemi - *Faz II* (*laboratuvardan tarlaya/Gübre Önerileri*)" bölümünde daha detaylı olarak ele alınacaktır.

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)



Şekil 8. Türkiye'de Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından planlanan gübre takip sistemi. Tarım ve Orman Bakanlığı websayfasından alınmıştır (<https://gts.tarimorman.gov.tr>).

Gübre Takip Sistemi - Faz II (laboratuvardan tarlaya/Gübre Önerileri)

Toprak, Bitki ve Sulama Suyu Analiz Laboratuvarları

Yasal Dayanak

a)

Türkiye'de Tarım ve Orman Bakanlığı adına Tarım Reformu Genel Müdürlüğü ilgili genelge (Genelge No: 2013/1) ile Toprak, Bitki ve Sulama Suyu Analiz Laboratuvarı Sistemine yön vermektedir. Yasal düzenlemelere göre, gerçek ve tüzel kişiler, üniversiteler ve kamu kurumları (il müdürlükleri, il özel idareleri ve diğer Bakanlıklar), TAGEM bünyesindeki Araştırma Enstitüsü/İstasyon Müdürlükleri aşağıdaki gerekli şartları yerine getirdikten sonra laboratuvar kurma hakkına sahip olmaktadır. Açılan laboratuvarlar, İl Müdürlüklerinin Yetkilendirme ve Gözetim Komisyonları tarafından denetlenirler.

- Uygun Altyapı
- Uygun Araç/Gereç
- Yetkin Kadro

Ancak TS EN ISO/IEC 17025 "Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yeterliliği İçin Genel Şartlar" standardına dayalı bir akreditasyon belgesine sahip olmaları durumunda akreditasyon için yasal bir zorunluluk bulunmamaktadır. Bu belgeye sahip olmaları halinde kontrol sırasında genelgede yer alan maddelerden muaf tutulurlar.

Genelgeye göre TAGEM referans enstitüdür ve aşağıdaki görevleri vardır:

- Laboratuvar personelinin eğitimi için koordinasyon
- TAGEM bünyesindeki Araştırma Enstitüsü/İstasyon Müdürlüklerinde bulunan laboratuvarların gözetimi
- Yeterlilik Testi Döngüsünün yürütülmesi veya organize edilmesi, gerektiğinde yerinde denetimlerin gerçekleştirilmesi

- İhbar, itiraz ve şikayetlerin komisyon tarafından değerlendirilmesi (en az üç kişi), gerektiğinde yerinde incelemelerde bulunulması, komisyon kararının verilmesi ve önerilerde bulunulması
- Laboratuvar çalışmalarının yürütülmesinde ihtiyaç duyulan hususlar (metodoloji, literatür, alet vb. tespitler gibi) hakkında karar almak ve bu amaçlarla Tarım Reformu Genel Müdürlükleri ile iş birliği yapmak.

Türkiye'deki Laboratuvarların Durumu

2021 yılında Türkiye genelinde Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından yetkilendirilmiş ve belgelendirilmiş 170 adet Toprak, Bitki ve Sulama Suyu Analiz Laboratuvarı mevcuttu (Çizelge 4). Bununla birlikte, laboratuvar sayısındaki çarpıcı bir düşüşün (%42) göstergesi olacak biçimde, 2013 yılında bu sayı 295'ti. Bu düşüşün olası nedeni, bakanlık tarafından sağlanan toprak analizi desteklerindeki değişiklikler olabilir. Bu değişiklik öncesinde, bakanlık tarafından Çiftçi Kayıt Sistemi(ÇKS)ne kayıtlı çiftçilere sağlanan gübre desteğinin alınabilmesi için toprak analizi yaptırma zorunluluğu vardı. Ayrıca çiftçilere her yıl analiz ücreti desteği de ödenmekteydi. Bu uygulamanın temel amacı, çiftçilere topraklarını analiz ettirme alışkanlığı kazandırmaktı. Ancak daha sonradan yapılan değişikliklerle, çiftçi gübre desteklerinin toprak analizlerine bağlı olma koşulu kaldırılmış, ayrıca ücretlerin doğrudan laboratuvarlara ödenmesi, toprak numunelerinin laboratuvarlar tarafından GPS koordinatları işaretlenerek alınması şart koşulmuştur. Bununla birlikte, laboratuvarlara toprak başına ödenen analiz ücretleri çok düşüktür. Bu değişiklikler, hem çiftçilerin toprak analizine olan ilgisini azaltmış hem de laboratuvarların kapanmasına neden olmuş olabilir. Laboratuvar sayısındaki bu azalma, tüm iyi niyetli çabalara rağmen, çiftçilerin, toprağın, bitkinin, sulama suyu analizinin ve felsefesinin önemini anlamadıklarının bir göstergesi olabilir. Belki de burada yapılması gereken, bitkilerin doğru-dengeli beslenmelerini sağlamak, toprakların verimliliklerini korumak için Tarım ve Orman Bakanlığı'nın ilgili birimleri, Üniversitelerin Ziraat Fakülteleri, çiftçilere toprak, bitki ve sulama suyu analizlerinin önemini anlatmak ve felsefelerini tarım sektörünün her kademesine yaymak için koordineli çalışmalarının sağlanmasıdır.

2021 yılı verilerine göre, 170 adet Toprak, Bitki ve Sulama Suyu Analiz Laboratuvarı arasında Çizelge 5'te görüldüğü gibi sadece birkaçı TÜRKAK (Türk Akreditasyon Kurumu) tarafından akredite edilmiş durumdadır. Yakın zamanda yapılan bir araştırmadan sonra, FAO'nun Küresel Toprak Laboratuvarı Ağı, laboratuvarları küresel olarak değerlendirdi (FAO, 2019). Bu değerlendirmeye göre dünya genelinde akredite laboratuvarların oranı %33'tür (Çizelge 6). Ayrıca, akredite/sertifikalı laboratuvarlar esas olarak ISO 17025 (%28) tarafından sertifikalandırılmıştır.

Yetkili laboratuvarlar genel olarak Tablo 7'de verilen beş farklı paket içerisinde tarım sektörü paydaşlarına hizmet vermektedir. Laboratuvarlar çeşitli kapsamlar için yetkilere sahip olmayı tercih edebilirler, ancak KAPSAM I - Temel Toprak Analizi Tarım ve Orman Bakanlığı yetkilendirmeleri için bir zorunluluktur. Bununla birlikte, TÜRKAK gibi diğer kurumlardan alınacak yetkilendirmelerde herhangi bir kapsam önkoşulu yoktur.

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

Çizelge 4. 2013 ve 2021 yıllarında Tarım Bakanlığı tarafından yetkilendirilmiş Kamu-Özel Sektör Toprak-Bitki Analiz Laboratuvarları sayıları ve değişimleri.

Kurum / Kuruluş	Bakanlık tarafından 2013 yılında yetkilendirilmiş*	Bakanlık tarafından 2021 yılında yetkilendirilmiş**	Değişim
Üniversite	19	16	-3
Tarım ve Orman Bakanlığı Araştırma Enstitüleri	21	23	+2
Tarım ve Orman İl Müdürlükleri	27	19	-8
Belediyelerin Kırsal Kalkınma Müdürlükleri	17	9	-8
Ziraat Odaları	75	27	-48
Özel Toprak-Bitki Analiz Laboratuvarı	114	56	-58
Ticaret Borsası ve Diğer Yasal	22	20	-2
TOPLAM	295	170	-125 (-42%)

* Tarım ve Orman Bakanlığı'nın web sayfasından alınan veriler

(<https://www.tarimorman.gov.tr/TRGM/Sayfalar/Detay.aspx?OgId=9&Liste=Haber>)

** Tarım Reformu Genel Müdürlüğü'nün Laboratuvar Yönetimi Web Sayfasından alınan veriler

(<http://tadlab.tarbil.gov.tr/home/laboratuvarlistesi>)

Çizelge 5. TÜRKAK tarafından akredite edilmiş Kamu-Özel Sektör Toprak-Bitki Analiz Laboratuvarı sayıları ve toplamındaki oranı (2021).

Kurum / Kuruluş*	TÜRKAK tarafından akredite edilmiş	Toplamda Akredite Edilmişlerin %'si
Üniversite	2	1.2
Tarım ve Orman Bakanlığı Araştırma Enstitüleri	2	1.2
Tarım ve Orman İl Müdürlükleri	-	-
Belediyelerin Kırsal Kalkınma Müdürlükleri	-	-
Ziraat Odaları	1	0.6
Özel Toprak-Bitki Analiz Laboratuvarı	3	1.8
Ticaret Borsası ve Diğer Yasal	-	-
TOPLAM	8	4.7

* Veriler TÜRKAK'ın web sayfasından alınmıştır (www.turkak.org.tr)

Çizelge 6. Laboratuvarlarda kullanılan analitik prosedürlerin sertifikasyon/akreditasyon durumu

Cevap Seçeneği	Afrika	Asya	Amerika	Avrupa	NENA	Küresel
Akredite	%29	%33	%17	%50	%44	%33
Sertifikasız	%24	%20	%33	%27	%12	%23
Akredite değil	%47	%47	%50	%23	%44	%44
TOPLAM	%100	%100	%100	%100	%100	%100

FAO, 2019. Christian Hartmann, Nopmanee Suvannang. Küresel Toprak Laboratuvarı Değerlendirmesi, 2018 Çevrimiçi Anketi. Küresel Toprak Laboratuvarı Ağı.

b) İşleyiş

Çiftçiler, aşağıda yer alan uygulamalar çerçevesinde sübvansiyon almak istiyorlarsa, topraklarını yetkili laboratuvarlarda test ettirmeleri gerekir.

- **Çevre Temelli Tarım Arazilerinin Korunması Projesi (ÇATAK)**
- İyi Tarım Uygulamaları
- Organik Tarım

Yukarıda belirtildiği gibi, tüm projeler için Temel Toprak Analizi (KAPSAM I) yeterli olacaktır. Yetkili bir laboratuvarında çiftçiye ait toprak numunesi analiz edildiğinde, elde edilen sonuçlar Tarım Reformu Genel Müdürlüğü'nün ilgili veri tabanına kaydedilerek üretim sahalarının düzenli olarak izlenmesine katkı sağlanmaktadır. Yetkili laboratuvarlar çiftçiler/danışmanlar/bayiler tarafından alınan toprak örneklerini kabul etmekle birlikte, laboratuvar personeli tarafından sadece ÇKS için alınan örneklerin alınması ve örnek alma noktalarının GPS ile işaretlenmesi gerekmektedir.

Çizelge 7. Tarım Reformu Genel Müdürlüğü Genelgesi Gereği Toprak, Bitki ve Sulama Suyu Analiz Laboratuvarlarının Analiz Kapsamları*

paket Adı	Kapsanan Analiz
KAPSAM I - Temel Toprak Analizi	a) Tekstür, b) pH, c) Kireç (CaCO ₃), d) Toplam Tuz, e) Organik Madde, f) Ekstrakte Edilebilir Fosfor (P), g) Ekstrakte Edilebilir Potasyum (K)
KAPSAM II - Detaylı Toprak Analizi	a) Toplam Azot (N), b) Değiştirilebilir Amonyum (NH ₄ ⁺), c) Değiştirilebilir (NO ₃ ⁻), d) Değiştirilebilir Kalsiyum (Ca ²⁺) ve Magnezyum (Mg ²⁺), e) Mevcut Bor (B), f) Ekstrakte Edilebilir Sülfat (SO ₄ ²⁻), g) Toplam Ağır Metaller, h) Katyon Değişim Kapasitesi (CEC), i) Değiştirilebilir Sodyum Yüzdesi (ESP), j) Çözünür Anyonlar (CO ₃ ²⁻ , HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻), k) Çözünür katyonlar (Na ⁺ , K ⁺), l) Çözünür katyonlar (Ca ²⁺ , Mg ²⁺), m) Aktif Kalsit, n) Ekstrakte Edilebilir Mikro Besin Öğeleri (Fe, Cu, Zn, Mn), o) Organik Karbon, p) İnorganik Karbon, r) Suda Çözünür Bor
KAPSAM III - Sulama Suyu Analizi	a) Elektriksel İletkenlik (EC), b) pH, c) Sodyum (Na), d) Potasyum (K), e) Kalsiyum (Ca), f) Magnezyum (Mg), g) Karbonat (CO ₃), h) Bikarbonat (HCO ₃), i) Klorür (Cl), j) Sülfat (SO ₄), k) Bor (B), l) Sodyum Adsorpsiyon Hızı (SAR)
KAPSAM IV - Bitki Analizi	a) Toplam N, b) Toplam P, c) Toplam K, d) Toplam Ca, e) Toplam Mg, f) Toplam Fe, g) Toplam Cu, h) Toplam Zn, i) Toplam Mn

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

KAPSAM V - Toprağın Fiziksel Analizi

a) Saha Kapasitesi, b) Kalıcı Solma Noktası, c) Yığın Yoğunluğu, d) Özgül Ağırlık, e) Gözeneklilik, f) Agregasyon İndeksi, g) Yapı Kararlılık İndeksi, h) Kil Tipi Tayini, i) Bozulmuş Numunelerde Hidrolik İletkenlik

* Tarımsal Amaçlı Toprak, Bitki ve Sulama Suyu Analiz Laboratuvarlarının Kurulması, İzni ve Gözetimi Genelgesi (Tarım Reformu Genel Müdürlüğü, 2013/1 Sayılı Genelge)

Türkiye'de Gübre Önerilerinde Mevcut Araçlar ve Yaklaşımlar

Üniversiteler, araştırma enstitüleri, tarım danışmanları ve gübre şirketleri önerilerde farklı yöntemler kullanmaktadır. Bu nedenle, bitkilerin gübrenmesi için standart bir öneri tarifi yoktur.

Türkiye'de Tarım ve Orman Bakanlığı'nın toprak ve bitki analizleri (<http://tadlab.tarbil.gov.tr>) için bir web portalı bulunmaktadır. Bir çiftçinin toprağını test etmek için bir laboratuvara başvurduğunda, laboratuvarlar bu portala yerleştirilen algoritmaları kullanarak bazı önerilerde bulunmaktadır. Ancak, kişisel tespitler ve paydaşlardan -çiftçiler, danışmanlar, bayiler- alınan bilgilere göre (kişisel iletişim) söz konusu önerilerden memnuniyet çok düşük olup, bu önerilerin geliştirilmesi gerekir.

Türkiye'de Bitki Besleme (Gübreleme) Uygulamalarının İyileştirilmesi

Bu kısımda, gübreleme programlarının iyileştirilmesinde kullanılacak farklı bilimsel prensipler, yaklaşımlar ve olası önerilere kısaca değinilecektir. Tüm dünyada olduğu gibi, Türkiye'de de bitki besleme uygulamalarını iyileştirme ve böylece bitkileri doğru besleyebilmede öncelikli olarak dünya yaşamı için önemli olan *sürdürülebilirlik*, *dengeli besleme* ve *entegre besin elementi yönetimi* kavramlarının yakından tanınması gerekir.

Sürdürülebilirlik ve Bitki Besleme

Doğru bitki beslemenin temel amacı, bitkilerin, optimum verim için gerekli olan tüm bitki besin elementlerine yeterli miktarda erişimini sağlamaktır. Söz konusu bu bitki besin elementleri ya toprakta bulunmalı ya da bitkiler için yeterli miktarda ve formda uygun kaynaklardan sağlanmalıdır; toprak suyu da bunları yeterli miktarlarda köklere ulaştırabilmelidir. Böylece, bitki büyümesinin değişik dönemlerindeki farklı ihtiyaçları göz önünde bulundurarak bitkilerin alımlarını destekleyebilirler. Doğru bitki besleme, besin elementi eksiklikleri veya toksisitelerine neden olmamalıdır. Ayrıca, bu sayede besin elementleri ve diğer üretim girdileri arasında mümkün olan en yüksek eşgüdüm de gerçekleşmiş olur.

Roy ve ark., (2006)'nın belirttiği gibi, açık alanlarda doğru bitki beslemenin ideal durumuna ulaşmak oldukça zor olsa da yaklaşmak mümkündür. Besin elementlerinin uygulamasını toprak verimlilik durumuna (toprak testi), bitki analizine, bitki özelliklerine, üretim potansiyellerine ve son olarak yaklaşımın pratikliğine ve ekonomisine dayandırarak başarı sağlanabilir. 4D Hassas Besin Yönetimi yaklaşımında vurgulandığı gibi, doğru besin elementi kaynaklarının seçilmesi ve doğru dozlarda, doğru zamanda ve doğru yere

uygulanması da aynı derecede önemlidir (IPNI, 2017). Burada doğru besin kaynakları ifadesi sadece kimyasal veya mineral gübrelere önem yüklememekte, entegre besin yönetiminde kullanılan aşağıda ifade edilen her türlü besin elementi kaynağını da kapsamaktadır. Aşağıda söz konusu besin elementi kaynaklarına ait örnekler yer almaktadır (Roy ve ark., 2006):

- Hem makro hem de mikro besin elementlerini içeren mineral gübreler
- Fosfat kayası, pirit ve elementel S gibi mineraller
- Hasat/budama artıkları
- Yeşil gübreler ve yeşil yaprak gübreleri
- Bitki, hayvan, insan ve endüstriyel kökenli çeşitli organik gübreler
- İzin verilen sınırların üzerinde zararlı maddeler veya patojenler içermemesi koşuluyla, çeşitli kaynaklardan elde edilen geri dönüştürülebilir işlenmiş veya işlenmemiş artıklar
- Hayvan bulamaçları ve biyogaz tesisi bulamacı
- Mikrobiyal aşılایıcılar (biyogübreler)
- Ticari organik gübreler

Bilindiği gibi, sürdürülebilir bitkisel üretimin üç boyutu vardır: i) çevresel, ii) sosyal ve iii) ekonomik (IPNI, 2017). Diğer bir ifadeyle çiftçiler, çevreyi korumayı öncelikli amaç yaparken, her türlü besin elementi kaynağı da dahil olmak üzere tüm üretim girdilerine yapılan yatırımlardan elde ettikleri net kârlarını da artırmaları bu sayede de sosyal yaşamın gelişimine katkıda bulunmayı unutmamalıdır. Bu nedenle, doğru bitki besleme uygulamalarının çiftçi boyutunda anlamlı olması, farklı yatırım seviyelerinde faydayı optimize etmeye de bağlıdır.

Verimli bitkisel üretim ve besin elementleriyle girdiler arasındaki etkileşimlere yönelik tüm teorik ve pratik ilerlemelere rağmen, bazı kontrol edilemeyen ve öngörülemeyen faktörler hâlâ mevcuttur. Bu nedenle ne düşük verim alan ne de yüksek verim için çabalayan çiftçiler tarafından, hatta bilimsel denemeler, gözlemler ve tavsiyelerde bile bazı yanlış değerlendirmelerden kaçınılmalıdır. Bu genel belirsizlik nedeniyle, birçok temel veri yalnızca yaklaşık olarak tahmin edilebilmektedir. Gübreleme ile ilgili kararlar tipik olarak, beklenen ancak öyle olmayabilecek hava koşulları gibi gelecekte gerçekleşecek olayların belirli varsayımlarına dayanır.

Çiftçiler tarafından bakıldığında, besin elementi sağlanması, alımı, gereksinimleri ve kullanım etkinliğinin birçok yönü olduğundan, besin elementlerinin en optimum düzeyde sağlanması çok zor görünmektedir. Başka bir ifadeyle, besin elementlerinin sağlanmasındaki en uygun koşullar ancak toplamda toprak verimliliğinin iyileştirilmesiyle gerçekleşebilir. Bu, etkin kullanımları için optimal bir besin elementi kaynağı sunmayı ve genel olarak uygun ön koşulların sağlanmasını gerektirir.

Sonuç olarak, doğru bitki besleme, gübrelerin dengeli ve etkin kullanımını sağlamalı; ayrıca, çevre üzerinde de minimum olumsuz etkiye sahip olmalıdır. Bu ise, ancak optimal besin elementi kaynakları en iyi yönetim uygulamalarıyla birleştirildiğinde mümkün olur. Tarla koşullarında bu hedeflere ulaşılabilmesi için, yeterli kaynaklara erişim,

zamanında ve doğru öneriler ve ürettikleri ürünler için yeterli fiyatlar gibi çiftçilerin motivasyonunu artıran uygun altyapılar ve politik destekler de sağlanmalıdır.

Dengeli Bitki Besleme

Bitkiler, üretim süreçleri boyunca tüm makro ve mikro besin elementlerinin dengeli bir oranda doğru bir şekilde sağlanmasına ihtiyaç duyarlar. Liebig'in Minimum Yasası, dengeli gübrelemenin temellerini yönetir. Haklı olarak, P ve K'un da bir arada uygulanmadığı N uygulamalarının birçok toprakta çok fazla anlam ifade etmediği sonucuna varıldı. Günümüzde de çoklu besin elementi eksiklikleri ve artan bitkisel üretim maliyetleri nedeniyle, sınırlayıcı diğer tüm besin elementlerinin (S, Zn, B vb.) yeterli miktarda sağlamadan N veya NPK ile gübreleme çok az anlam ifade ettiği görülmektedir. Ayrıca, uygulanan besin elementlerinin etkinliğini de düşürerek ters etki yapar.

Bu nedenle, diğer besin elementi eksikliklerinin yaygın olarak ortaya çıkması göz önüne alındığında, dengeli gübrelemenin kapsamı ve içeriği değişime uğramıştır. Günümüzde, toprağın optimum bitki verimi için yeterli miktarları sağlayamadığı tüm besin elementlerinin planlı uygulamasını kapsamaktadır. Bununla birlikte, belirli bir toprak veya bitki için dengeli bir gübreleme hedefiyle uyumlu sabit bir reçete yok gibi görünüyor. Hedeflenmesi gereken reçete bitkiye ve konuma özgü olmalıdır; bu nedenle, konuma özgü besin elementi yönetimine her geçen gün daha fazla vurgu yapılmaktadır (Roy ve ark., 2006).

Roy ve arkadaşları (2006), Dobermann ve Witt (2004) tarafından ifade edilen pirince yönelik konuma özgü bir besin elementi yönetimi yaklaşımının olası adımlarını şu şekilde özetlemiştir:

- Birinci yıl, N, P ve K'un potansiyel doğal kaynakların konuma özgü tahmini ve diğer beslenme bozukluklarının teşhisi.
- NPK ve diğer beslenme sorunlarının azaltılması için alana özgü öneriler.
- Uygulanan N dozunun ve zamanlamasının optimizasyonu. N uygulamalarının zamanlaması ve bölünmesi ile ilgili kararlar şunlara dayanır: (i) belirli konumlara uyarlanmış mevsime özgü agronomik kuralları izleyen 3-5 bölünmüş uygulama; veya (ii) bir klorofil ölçer veya yaprak renk çizelgeleri kullanılarak çiçeklenme aşamasına kadar bitki N durumunun düzenli olarak izlenmesi.
- Gerçek tahıl verimi, tarlaya geri kazandırılan (saman) ve kullanılan gübre miktarının tahmini. Bir P ve K girdi-çıkıta dengesi tahmini sonucunda önceki bitki döngüsünden kaynaklanan doğal P ve K sağlanmasındaki değişikliğin tahmin edilmesi. Tahmin edilen doğal P ve K tedarik değerlerinin daha sonra, sonraki bitki döngüsünde gübreleme önerilerinin hazırlanmasında kullanılması.

Dengeli bitki besleme ve dengeli gübreleme kulağa benzerlermiş gibi gelse de aralarında çok temel bir fark vardır. Dengeli gübrelemeyi yalnızca bitkilerce kullanılabilir N, P ve K bakımından eşit derecede fakir topraklarda uygulayabilirsek de bu yaklaşım, bunlardan sadece birisince zengin bir toprağa uygulanamaz. Böylesi bir alandaki

gübreleme, üreticiyi, dengeli bitki beslemenin olabilmesi için eksik olan besin elementlerine yönlendirmelidir. Bu nedenle, iyi bir gübreleme programının amacı, dengeli gübrelemeden daha çok eksik olan besin elementlerini desteklemek için dengeli besin elementi uygulaması yoluyla bitkilerin dengeli beslenmesi olmalıdır.

Bitki Besleme ve Verim

Optimum besin elementi gereksinimi, esas olarak yetiştirilecek bitki türüne ve hedeflenen verime bağlı olarak değişir. Beklenen verim seviyesi, dışı ortamdan bitkinin içerisine girmesi gereken besin elementlerinin dozunu belirler. Onu tanımlayan aslında verim değil, üretilen ürünle tarladan uzaklaştırılan besin elementlerinin miktarı ve uygulanan besin elementlerinin etkinliğidir. Verim hedefleri yükseldikçe, bitkinin ihtiyaç duyduğu besinlerin yer aldığı ortam daha çeşitli ve karmaşık hale gelir.

Entegre Besin Elementi Yönetimi (EBEY)

Gübreleme, bitkilere gerçek besin elementi sağlanmasını tanımlama amacıyla hâlâ kullanılıyor olsa da yerini şimdilerde yavaş yavaş daha kapsayıcı olan entegre bitki besleme kavramına bırakmaktadır. Bunun güzel bir örneği, Avrupa Birliği'nin kimyasal gübreleri, organik gübreleri, bitki gelişim düzenleyicilerini ve mikrobiyal gübreleri tek bir yönetmelikte (Yönetmelik (AB) 2019/1009) toplaması ve hepsini gübre olarak adlandırmasıdır. Gübreler, dünyanın birçok yerinde, sürekli olarak kaliteli yüksek verim elde etme amacıyla yürütülen entegre besin elementi yönetiminin merkezi bir bileşenidir ve olmaya devam edecektir.

FAO'ya (1995) göre, EBEY altında yatan temel kavram, hedeflenen bitkisel verimlerin devamı için toprak verimliliğinin/üretkenliğinin ve optimum bitki besin elementi arzının sürdürülmesi veya ayarlanmasıdır. Burada amaç, çevresel kaygıları göz önünde bulundurarak, yerel kaynaklar da dahil olmak üzere olası tüm besin elementi kaynaklarından elde edilen kazanımları bütünleşik bir şekilde optimize ederek hedefe ulaşılmasıdır. O nedenle, böylesi bir bitki besleme sisteminde, bitki besin elementi ihtiyaçları, mineral gübreler, organik gübreler ve biyo-gübrelerin önceden planlanmış entegre kullanımı ile karşılanır. Uygun besin elementi kaynağı kombinasyonları, kullanılan araziye ve yerel ekolojik, sosyal ve ekonomik koşullara bağlı olarak değişebilir.

Roy ve ark., (2006), gübrelemeden EBEY'ne geçişin olası nedenlerini aşağıdaki şekilde ifade etmişlerdir:

- Bitki besin elementlerinin bitkilerin beslenmesinin optimizasyonunda, dengeli, etkili, verim odaklı, konuma veya toprağa özgü besin elementi sağlanması sayesinde rasyonel kullanımı.
- Tek başına mineral gübrelerin kullanımından, mineral ve çiftlik içinden ve dışından elde edilen organik gübrelerin birlikte kullanımına geçiş.
- Tek bir bitki için besin elementi sağlanmasından, bir bitki sisteminde veya bir bitki rotasyonunda optimal besin elementi kaynaklarına geçiş.

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

- İlk yıl elde edilecek besin elementi etkilerine ek olarak, gübrelemenin artı/kalıntı etkilerini de göz önüne alan bir değişim: Bu hedef, bitki beslemeyi tek bir üründen ziyade bir ürün sistemi içinde değerlendirmeye ilgilidir.
- Besin elementi döngülerinde statik besin elementi dengelerinden besin elementi akışlarına geçiş.
- Gübrelemenin toprak sağlığı, bitki hastalıkları ve su ve hava kirliliği üzerindeki olumsuz yan etkilerinin izlenmesi ve hafifletilmesinin önemindeki artış.
- Sadece toprak verimliliği yönetimi yaklaşımından toplam toprak üretkenliği yönetimine geçiş. Bu kısım, asitlik, alkalilik, sıkışma vb. sorunları azaltarak toprak kalitesinin iyileştirilmesini ve bitkilerin kuraklık, soğuk, tuzluluk, toksisite ve kirlilik gibi abiyotik streslere karşı direncini dikkate almayı kapsar.
- Toprak verimliliğinin sömürülmesinden, gelecek nesiller için toprak üretkenliğinin iyileştirilmesi veya en azından mevcut haliyle korunmasına geçiş.
- Çiftlik içi ve dışı artıkların bilinçsizce bertaraf edilmesinden, artıkların geri dönüşüm yoluyla çevre dostu biçimde etkin kullanımına geçiş.

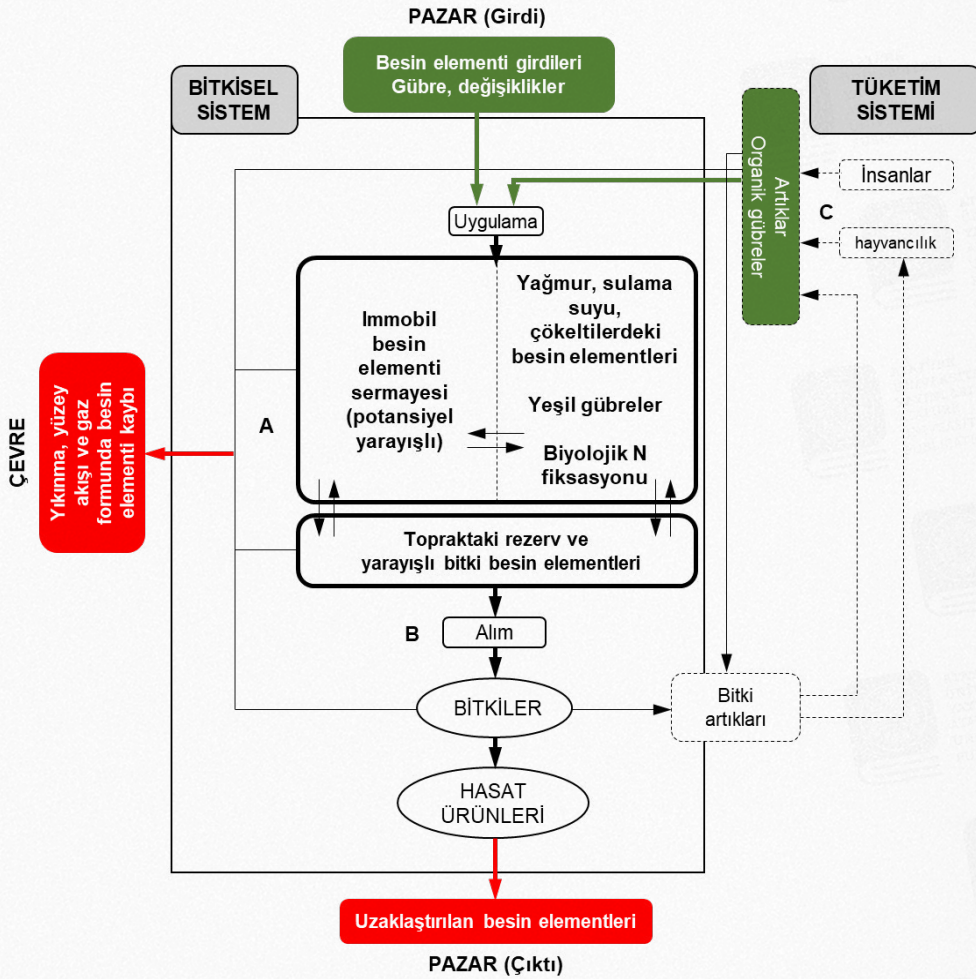
Kendi koşullarında, sürdürülebilir olarak yüksek verimler elde edip etmeyeceği bir çiftçinin öncelikli endişelerinden biridir. Bu nedenle üreticilerin, sürdürülebilirliğin ve EBEY'nin bu benimsemede önemli bir rol oynadığı ve getirisi olan modern üretim sistemlerini benimsemelerinin daha kolay olacağı düşünülebilir. Entegre besin elementi yönetiminin çiftlik düzeyindeki temel amacı, ürün rotasyonun varlığında toprak/bitki/hayvan sistemindeki besin elementi akışını optimize etmektir (Şekil 9). Çiftçiler (veya danışmanlar) her bir besin elementi için bir bilanço hazırlayabilecek olsa da toprak verimlilik sisteminin karmaşıklığı nedeniyle genellikle yalnızca ana makro besin elementleri olan N, P ve K'ü dikkate alırlar. Bitkiler tarafından alınan besin elementi miktarı, bir üretim sisteminde sağlanan toplam besin elementi miktarına yaklaşırsa, bu sistem etkin olarak sınıflandırılır. Bir sistemin etkinliği, yüksek besin elementi kayıpları tarafından ise sınırlandırılabilir. Toprak verimliliğinin genel durumunu etkilemiyorsa, bitki besin elementi stoklarının erimesine izin verilebilir. Entegre besin elementi yönetimi uygulamaları aşağıdaki katkıları sağlayabilir (Roy ve ark., 2006):

- Bitki artıklarının ve çiftlikteki organik artıkların etkin bir şekilde işlenmesi ve geri dönüştürülmesinin yanı sıra, çiftlik dışı bitki besin elementi kaynakları ve iyileştiricilerin uygulanmasıyla çiftliğin üretim kapasitesinin iyileştirilmesi.
- Teknik deneyimlerinin ve karar alma kapasitelerinin artırılarak güçlendirilmesi.
- Yoğun ve çeşitlendirilmiş tarımsal üretimin bir parçası olarak, arazi kullanımında, ürün rotasyonlarında ve ormancılık, hayvancılık ve bitkisel sistemler arasındaki etkileşimlerde değişiklikleri teşvik etmesi.
- Bilimsel yönetim yaklaşımları ile riskin azaltılması

- Bitki, su ve bitki besleme yönetimi arasındaki sinerjiyi artırması.

Entegre besin elementi yönetiminin benimsenmesi sırasında, ilgili paydaşlar (çiftçiler/danışmanlar/ziraat mühendisleri/karar vericiler) aşağıdaki noktaları göz önünde bulundurmamalıdır (Roy ve ark., 2006):

- Çiftlikte bulunan ve aktif hale gelebilecek olan besin elementleri (hayvansal gübreler, hasat/budama artıkları, toprak rezervleri, biyolojik azot fiksasyonu vb.)
- Kayıpların en aza indirilmesi ve hem iç hem de dış kaynaklardan besin elementlerinin eksilen kısımlarının yenilenmesi.
- Organik gübrelerin mineral gübrelerin yerini tamamen alamayacağını kabul edilmesi, her iki kaynağın da entegre bir şekilde uygulanması, EBİY'nin ana ilgi alanıdır. Organik materyallerin kullanımı, bitkiler tarafından uzaklaştırılan besin elementlerinin tamamen yenilenmesi için yeterli olmayacağı.
- Gelişmekte olan ülkelerde mineral gübre uygulamalarının ve/veya kullanımda etkinliklerinin artırılması.



Şekil 9. Bitki besin elementi bilançosunun girdileri ve çıktıları (FAO, 1998'de uyarlanmıştır).

Azot, Fosfor ve Potasyum Önerilerinde Ortak Yaklaşımlar

Toprakta bulunan mutlak gerekli besin elementlerinin seviyeleri, kültür bitkilerinin büyümesini ve gelişimini doğrudan etkiler. Bitkilerin dengeli beslenmesi çok karmaşık bir süreç olduğundan, tüm besin elementlerini dengeli bir şekilde uygulamak çok kolay bir işlem değildir. Bu nedenle, mevcut eserin odak noktası üç ana makro besin elementi olan N, P ve K olacaktır; ayrıca, bilindiği gibi Türkiye bu besin elementlerinin hammaddelerinin (amonyak, apatit ve MOP gibi) büyük kısmını ithal etmek zorundadır. Daha önce de ifade edildiği gibi, Türkiye, verimle birlikte ekonomik ve çevresel kaygılara neden olan N ve P kullanımında dünya ortalamasına yakın uygulama dozlarına sahiptir.

Azot, P ve K, bitki büyümesini ve verimi sınırlama olasılığı en yüksek olan bitki besin elementleridir. Topraktaki N durumu oldukça dinamik olup, bitkiler tarafından kullanılabilirliğinin zamana bağlı olarak en doğru biçimde tahmini oldukça zordur. Topraktaki K ve bitkiler tarafından kullanılabilirliği, önemli ilaveler yapılmadığı sürece zaman içerisinde nispeten stabildir. Türkiye'deki bitkisel üretim alanlarındaki toprakların bitkilerce kullanılabilir P içerikleri nispeten düşüktür. Hayvansal gübreler ve tek tip ticari bir gübre (Orta Anadolu'daki DAP kullanımı gibi) ile topraklara P girişi zaman içerisinde topraktaki bitkilerce alınabilir P seviyelerde önemli artışlara ve çevresel risklere neden olabilir. Türkiye topraklarının yeterli düzeyde bitkilerce kullanılabilir K'a sahip olduğuna dair genel bir inanış vardır; bu nedenle, K gübrelemesi hiçbir zaman öncelikli konular arasında yerini almamıştır. Yani Türkiye, N ve P gübrelemede dünya ortalamasına yakın uygulama oranlarına sahip olmasına rağmen, K açısından dünya ortalamasının altındadır. Ancak K özellikle meyve, sebze ve şekerpancarı, patates, mısır gibi tarla bitkileri için çok önemlidir ve bu yaygın inanışın mutlaka bir kenara bırakılması ve en azından tarladan uzaklaştırılan kadar K'un toprağa geri kazandırılması oldukça önemlidir.

Tamamen doğru olamayacak ancak ona yaklaşacak bir gübreleme önerisi hazırlamak için öncelikle verim, alım, uzaklaştırılan, kullanım etkinliği ve doza özgü ekonomi gibi kavramların daha yakından tanınması gerekir.

Bitkisel Verim, Besin Elementi Alımı, Besin Elementi Uzaklaştırılması, Besin Elementi Kullanım Etkinliği ve Doza Özgü Ekonomi

Bitkisel Verim: Bitkisel verim, belirli bir alanda bitkinin hasat edilen kısmının (ürününün) kütlesidir ve çeşitli faktörlerden etkilenir. Bu faktörler, teknolojik (tarımsal uygulamalar, yönetsel karar vb.), biyolojik (hastalıklar, böcekler, zararlılar, yabancı otlar) ve çevresel (iklim durumu, toprak verimliliği, topografya, su kalitesi vb.) olarak sınıflandırabileceğimiz üç temel kategoride gruplandırılır. Bu faktörlerin etkilerindeki farklılıklar, küresel anlamda bir bölgeden diğerine olan verim farklılıklarını açıklar.

Besin Elementi Alımı: Azot, P ve K önerileri oluşturmada en mantıklı başlangıç noktası, bir bitkinin yaşam döngüsünü tamamlaması amacıyla bünyesinde sahip olması (biriktirmesi) gereken toplam N, P ve K miktarlarının ortaya konmasıdır. Bu toplam birikim *alım* olarak isimlendirilir. Hasat zamanında bitkiler, tane, saman, sap, pancar, yumru kökler ve meyveler gibi bitki kısımlarında önemli miktarda besin elementi içerirken, sadece küçük bir kısmı köklerde bulunur. Genel olarak, *alınan* toplam besin elementleri kabaca iki temel bitki kısmında bulunur: (i) yer üstü biyokütlesi (yapraklar, sapsaplar, taneler ve meyveler + şeker

pancarı, patates vb. için yer altındaki pancar kökü ve yumrular şeklindeki depo organları) ve (ii) yer altı biyokütlesi (kökler). Pancar kökü ve yumrular toprak altında bulunsalar da köklerden farklılık gösterirler ve tarladan, tane ve meyveler gibi uzaklaştırılırlar. Bu nedenle, yapraklar, gövdeler, tahıllar ve yumrularla aynı gruba konulmaları daha doğru bir yaklaşımdır. Toprak altında pancar kökü ve yumrulara sahip şeker pancarı ve patates gibi bitkilerin toprak üstü N, P ve K birikimleri tarla koşullarında rutin olarak ölçülebilen tek kısımdır. Bu nedenle, bir bitkinin yaşam döngüsünü tamamlaması için biriktirmesi gereken toplam N, P ve K miktarları, toplam besin elementi birikimleri için dolaylı bir gösterge olarak kullanılır. Bir dereceye kadar, bu diğer besin elementleri için de geçerlidir.

Besin Elementi Uzaklaştırılması: Hangi bitki kısımlarının hasat edildiğine ve tarladan uzaklaştırıldığına bağlı olarak, besin elementleri tarladan uzaklaştırılır (*uzaklaştırılan*). Yeşil gübre bitkilerinde, biyokütledeki bitki besin elementlerinin tamamı toprağa geri kazandırılır ve hiçbir besin elementi tarladan uzaklaştırılmaz (baklagillerin tüketim amacıyla uzaklaştırıldığı durumlar hariç). Aslında, baklagil yeşil gübreleri biyolojik azot fiksasyonu nedeniyle toprakların verimliliğinde net bir zenginleştirme meydana getirir.

Tarladan uzaklaştırılan besin elementlerine ait bir bilgi, hasat edilen/edilecek bitkiler tarafından alınan besin elementi miktarlarının hesaplanması ve bir besin elementi bilançosunun oluşturulması için gereklidir. *Uzaklaştırılan* besin elementi verisi, 1 ton tahıl veya 1 ton saman şeklindeki hasadın temel birimine dayalı olarak hesaplandığında daha kullanışlı olur. Böylece, belirli bir verim seviyesindeki toplam uzaklaştırılan besin elementi miktarları kolayca hesaplanabilir. Seçilen bazı kültür bitkilerinin hasat edilen kısımlarındaki uzaklaştırılan besin elementi miktarları Çizelge 8’de verilmiştir.

Çizelge 8. Bazı bitkilerin hasat edilen kısımlarınca uzaklaştırılan besin elementi miktarları* (IPNI, 2017).

Bitki ***	Kaldırılan Besin, kg/ton **			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
Arpa anızı	6.5	2.6	20	1.5
Arpa anızı (ton tane başına)	8.3	3.3	25	2.1
Arpa tanesi	21	8.3	6.7	1.9
Ayçiçeği hasat artığı	12	1.0	17	2.5
Ayçiçeği hasat artığı (ton tane başına)	28	2.4	41	6.0
Ayçiçeği tanesi	27	9.7	9.0	2.5
Bermuda çimi	23	6.0	25	-
Bromus (KA)	16	5.0	23	2.5
Buğday samanı	7.6	1.9	15	2.7
Buğday tanesi (kışlık)	19	8.0	4.8	1.7
Buğday tanesi (yazlık)	25	9.5	5.5	1.7
Buğday samanı (ton tane başına)	12	2.7	20	2.3
Burçak (KA)	29	7.5	25	-
Çavdar anızı	6.0	1.5	11	1.0
Çavdar anızı (ton tane başına)	14	3.8	27	2.5

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

Çavdar tanesi	25	8.2	5.5	1.8
Çayır kelp kuyruğu (KA)	13	5.5	21	1.0
Çeltik anızı	8.3	2.7	21	-
Çeltik tanesi	13	6.7	3.6	-
Çim (KA)	22	6.0	22	-
Dallı darı (KA)	11	6.0	29	-
Darı hasat artışı	7.7	2.2	20	-
Darı tanesi	28	8.0	8.0	1.6
Domates	1.3	0.46	2.9	-
Domuz ayrığı (KA)	18	6.5	27	2.9
Fasulye (kuru)	50	13	15	8.7
Gazelboynuzu (KA)	23	5.5	21	-
Kabayonca (KA)	26	6.0	25	2.7
Kanola tanesi	32	16	8.0	5.0
Karabuğday	17	5.0	4.4	-
Keten hasat artışı	13	2.9	39	2.7
Keten tohumu	45	13	11	3.4
Melez Yonca (KA)	21	5.5	27	1.5
Mısır hasat artışı	8.0	2.9	20	1.3
Mısır hasat artışı (ton tane başına)	8.0	2.9	20	1.3
Mısır silajı (%67 su)	4.9	1.6	3.7	0.55
Mısır silajı (ton tane başına - %67 su)	29	9.1	21	3.2
Mısır tanesi	12	6.3	4.5	1.4
Nane yağı	1.900	1.100	4.500	-
Pamuk (lif)	64	28	38	-
Pamuk hasat artışı	9.4	3.3	11	-
Parlak yalancı darı	22	6.0	18	-
Patates hasat artışı	1.9	0.6	5.3	0.20
Patates yumrusu	3.0	1.5	6.5	0.30
Poa (KA)	15	6.0	23	2.5
Soya fasulyesi balya (KA)	23	5.5	13	2.5
Soya fasulyesi hasat artışı	20	4.4	19	3.1
Soya fasulyesi hasat artışı (ton tane başına)	18	4.0	17	2.8
Soya fasulyesi tanesi	55	12	20	3.0
Süpürge darısı tanesi	13	7.8	5.4	1.2
Süpürge darısı hasat artışı	14	4.2	21	3.0
Süpürge darısı hasat artışı (ton tane başına)	11	3.2	17	2.4
Süpürge darısı sudan otu (KA)	15	4.8	17	2.9
Şeker pancarı kökü	1.9	1.1	3.7	0.23
Şeker pancarı üst kısmı	3.7	2.0	10	0.20
Şekerkamışı	1.0	0.65	1.8	-

Tütün yaprakları	36	9.0	57	6.0
Üçgül	23	6.0	21	1.5
Yem kanyaşı	15	6.6	13	-
Yerfıstığı hasat artığı	16	3.4	12	-
Yerfıstığı taneleri	35	5.5	8.5	-
Yulaf anızı	6.0	3.2	19	2.3
Yulaf anızı (ton tane başına)	9.7	5.0	29	3.4
Yulaf tanesi	24	8.8	5.9	2.2
Yumak (KA)	19	6.0	27	2.9

* Kaldırılan besin, bitki hasadı sırasında tarladan uzaklaştırılan besin miktarını ifade eder.

** Besin uzaklaşma katsayıları yetiştirme şartlarına bağlı olarak bölgesel farklılıklar gösterebilir. Uygunsa yöresel veriler kullanılır.

*** KA: kuru ağırlık temelli; diğer şekilde nem içeriği standart pazar düzenidir veya belirtilen nem içeriğindedir

Besin Elementi Kullanım Etkinliği (BEKE): Herhangi bir besin elementinin *kullanım etkinliği*, optimize edilmiş bitki besleme uygulamaları için bir performans göstergesidir. Performans ölçümleri ve göstergeleri genellikle, verim ve ekonomik kazançları hesaplamada yeterli olacak bilgileri kapsar. Beraberinde, çevresel ve sosyal performansları da yansıtmaları gerekir. Seçimler, seçimi yapan paydaşın önceliklerine bağlı olsa da genellikle *besin elementi dengelerini* veya BEKE'ni içerir. Fazla besin elementi uygulamalarından kaçınıldığında ve BEKE'leri iyileştirildiğinde olumsuz birçok çevresel etki en düşük seviyeye indirilmiş olur. Örneğin, kumlu topraklarda, yıkanma yoluyla nitrat kaybı, uygulanan N'un önemli bir kısmını oluşturabilir. Bu nedenle, BEKE'ni iyileştirme amacıyla seçilen uygulamalar aynı zamanda yeraltı suyuna nitrat kayıplarını da azaltır. Bu tür uygulamalar arasında, kayıpları düşürme amacıyla N'un bölünmüş uygulamalarını veya N'un nitrata dönüşmeden uzun süre amonyum formunda kalmasına yardımcı olan ürünleri kullanma yer alabilir. Çevreyi olumsuz etkileyen besin elementi kayıplarının çoğunun ölçülmesi zordur. Bununla birlikte, bu kayıpların dolaylı olarak ölçülmesine yardımcı olan besin elementi dengeleri ve BEKE'lerinin hesaplanması, tahmin edilmesi veya ölçülmesi o kadar zor değildir.

Kayıplar minimum düzeyde olsa da olumsuz çevresel etkilere neden olduğu durumlara örnekler de vardır. Çözünür P'un yüzey akışı veya azot oksit gazı salımları göz önünde bulundurulduğunda, her iki durumda da kayıpların genellikle uygulanan besin elementlerinin sadece %1-3'ü kadar olduğu görülmektedir. Sözü edilen bu kayıp düzeyleri, besin elementi uygulamasının bitkinin beslenmesi için daha az etkili veya bitkilerce kullanılabilir hale getirecek kadar önemli değildir. Bununla birlikte, BEKE'nin iyileştirilmesi ve besin elementi fazlalıklarının azaltılması, bu kayıpların çevresel etkisini kısmen de olsa azaltabilir. Yine de çevre üzerindeki etkiyi tatmin edici seviyelere indirmek için kaynak, zaman ve yerleştirme uygulamalarının da dikkate alınması gerekebilir.

Genel olarak, BEKE çoğunlukla bir gübrenin kullanım performansının en kritik göstergesidir. Ancak pratikte durum tam olarak böyle değildir. Bitki besin elementleri, bitkisel üretim sisteminin genel performansını artırmak için uygulanır ve BEKE söz konusu

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

performans ölçümlerinden ve göstergelerinden sadece bir tanesidir (Çizelge 9). Besin elementi kullanım etkinliği, *besin elementi geri kazanımı*, *besin elementi dengesi* veya *uygulanan birim besin elementi başına üretilen verimi* yansıtan birçok farklı tanıma kapsar. Bu tanımların her birisi, gübre yönetimini iyileştirme potansiyeline dair benzersiz göstergelere sahip olsa da hiçbiri tek başına genel performans üzerindeki etkiyi temsil etmede yeterli değildir.

Çizelge 9. Bitki besleme yönetimi için performans ölçütleri ve göstergelerine örnekler (IPNI, 2017).

Performans Ölçümü veya Göstergesi*	Tanımlama
Verim	Belirli bir zaman aralığında belirli bir alandan hasat edilen ürün miktarı.
Kalite	Hasat ürünlerine değer katan şeker, protein, mineral, vitamin veya diğer özellikler.
Besin Elementi Kullanım Etkinliği	Uygulanan her bir birim besin elementi ile elde edilen verim veya bitki tarafından kaldırılan besin elementi.
Su Kullanım Etkinliği	Birim uygulanan veya bitkilerce kullanılabilir su başına elde edilen verim.
İşgücü Kullanım Etkinliği	Tarla çalışmalarının sayısına ve zamanına bağlı işçilik üretkenliği.
Enerji Kullanım Etkinliği	Her bir birim enerji girdisi ile elde edilen verim.
Net Kazanç	Üretimin bütün masraflarına oranla elde edilen bitkisel verim veya değeri.
Yatırımın Geri Dönüşü	Yatırılan sermaye ile ilişkili kazanç.
Kabullenilme	Belirli bir iyi tarım uygulamasını kullanan üreticilerin veya alanın oranı.
Toprak Verimliliği	Toprak verimlilik düzeyleri ve diğer toprak kalite göstergeleri.
Toprak Organik Karbonu	Sera gazı dengesine olduğu kadar, toprak yapısı ve kalitesi üzerine etkileri.
Verim Kararlılığı	İklim ve hastalık durumlarındaki değişkenliklere ürün verimlerinin esnekliği.
Çiftlik Kazancı	Geçim durumundaki ilerlemeler.
Çalışma Koşulları	Yaşam koşullarının kalitesi, çalışan memnuniyeti, personel iş hacmi.
Su ve Hava Kalitesi	Su veya hava havzalarında besin konsantrasyonu ve yükü.
Ekosistem Hizmetleri	Kırsal alan estetiği, doğal yırtıcılar ve tozlayıcılar, açık hava rekreasyonu, avcılık, balıkçılık vb.
Biyo-çeşitlilik	Kalitatif ölçümü çok zor olup, ancak tasvir edilebilir.
Toprak erozyonu	Halihazırda büyüyen bitkiler veya bitki artıklarıyla kaplanan toprak yüzey alanı ve/veya birim alandan olan toprak kütleindeki kayıplarla gerçekleşen azalma.
Tarla Dışı Besin Elementi Kaçışları	Tarımsal yönetim bölgesinde olan besin kayıplarının toplamı – tarla-bahçe kenarları, kök bölgesinin altı ve bitki toprak üstü aksamı.
Besin Elementi Dengesi	Toprak yüzeyinde veya çiftlik ana girişinde besin girdileri ve çıktılarının tam hesabı.

Besin elementi kullanım etkinlikleri *üretim etkinlikleri* ve *geri kazanım etkinlikleri* olmak üzere iki kısımda incelenebilir:

- i) *Üretim Etkinlikleri* - Bitki çıktı verimliliğinin en basit şekli *kısmi faktör üretkenliği* (KFÜ). Uygulanan birim besin elementi başına elde edilen bitki verim birimi olarak hesaplanır. Başka bir terim olan *agronomik etkinlik* (AE), uygulanan birim bitki besin elementi başına elde edilen birim verim artışı olarak hesaplanır. Uygulanan besin elementlerinin etkisini daha yakından yansıtır. Kısmi faktör üretkenliği, girdi ve çıktılarının kayıtlarını tutan herhangi bir çiftlik için çok kolay hesaplanır. Agronomik etkinlik ise besin elementi girdisi olmayan bir parsel gerektirdiğinden, eğer çiftlikte araştırma parseli mevcutsa belirlenebilir. Onun dışında, sadece araştırma amacıyla yürütülen çalışmalarda hesaplanabilir.
- ii) *Geri Kazanım Etkinlikleri* - Üretim etkinlikleri gibi, besin elementi geri kazanım etkinliğinin de en az iki farklı biçimi vardır. Basit formu olan ve *kısmi besin elementi dengesi* (KBED) olarak isimlendirilene birim besin elementi başına besin elementi çıktısını ifade eder. Uygulanan birim besin elementi başına bitkinin hasat edilen kısmındaki besin elementi olarak hesaplanır ve "kaldırılanın uygulanana oranı" olarak rapor edilir. Üreticiler tarafından nispeten kolay ölçülür ve değerlidir. Sınırsız büyüme mevsimleri için rapor edilebilir.

Bitki büyüme uzmanı olan bilim insanlarınca tercih edilen daha karmaşık formu, besin elementi uygulamasına yanıt olarak bitkinin toprak üstü kısımlarındaki besin elementi alımındaki artışı tanımlayan *geri kazanım etkinliği* (GKE) olarak adlandırılır. Agronomik etkinlik gibi, GKE ölçümü de besin elementi uygulanmamış araştırma parsellerinin varlığını gerektirir. Yukarıda bahsedilen BEKE'ler hakkındaki özet bazı bilgiler Çizelge 10'da verilmiştir.

Çizelge 10. Besin elementi kullanım etkinliğinin seçilmiş dört tanımı (IPNI, 2017).

BEKE İfadesi	Soru Cevaplama	Hesaplama	Bildirilen Örnekler
KFV - Uygulanan besin elementinin kısmi faktör üretkenliği	Bu bitkisel üretim sistemi, besin elementi girdisine kıyasla ne kadar üretkendir?	V/G	Uygulanan her birim N için 40-80 birim tahıl tane verimi
AE - Uygulanan besin elementinin agronomik etkinliği	Bu besin elementi girdisinin kullanımıyla ne kadar üretkenlik artışı elde edildi?	$(V-V_0)/G$	Uygulanan her birim N için 10-30 birim buğday tane verimi
KBD - Kısmi besin elementi dengesi (kaldırılanın)	Ne kadar uygulandığına bağlı olarak sistemden ne	A_H/G	0 ile >1.0 arası - toprağın doğal verimliliğine ve verimliliğini sürdürebilme durumuna bağlı

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

uygulanana oranı)	kadar besin elementi çıkıyor?		Besin elementi noksan sistemlerde <1 (verimlilik iyileştirilmesi) Besin elementi fazlalığı olan sistemlerde >1 düşük değişim 1'in az altından 1'e (verimliliğin sürdürülmesi)
GKE - Uygulanan besin elementinin mevcut geri kazanım etkinliği	Bitki uygulanan besin elementinin ne kadarını aldı?	(A-A ₀)/G	0.1-0.3 - uygulanan P'un ilk yıl geri kazanılan kısmı 0.5-0.9 - uygulanan P'un uzun-dönemde bitkisel üretim sistemince geri kazanılan miktarı 0.3-0.5 - tahıllardaki N geri kazanımı (tipik) 0.5-0.8 - tahıllarda N geri kazanımı (iyi tarım uygulaması)

G - uygulanan gübre besin elementi miktarı

V - uygulanan besin elementi ile elde edilen verim

V₀ - besin elementi uygulanmadan kontrol koşullarında elde edilen verim

A_H - bitkinin hasat edilen kısmındaki besin elementi içeriği

A - gübre uygulamasıyla bitki toprak üstü aksamındaki toplam besin alımı

A₀ - gübre uygulamasız bitki toprak üstü aksamındaki toplam besin alımı

Yukarıda görüldüğü gibi, gübreleme önerisi çok karmaşık toprak-bitki-su ilişkilerinin bir bileşkesidir. Buna ilave olarak, en iyi şartlarda bile mutlak doğru gübreleme uygulamalarına ulaşmanın mümkün olmadığı da söylenebilir.

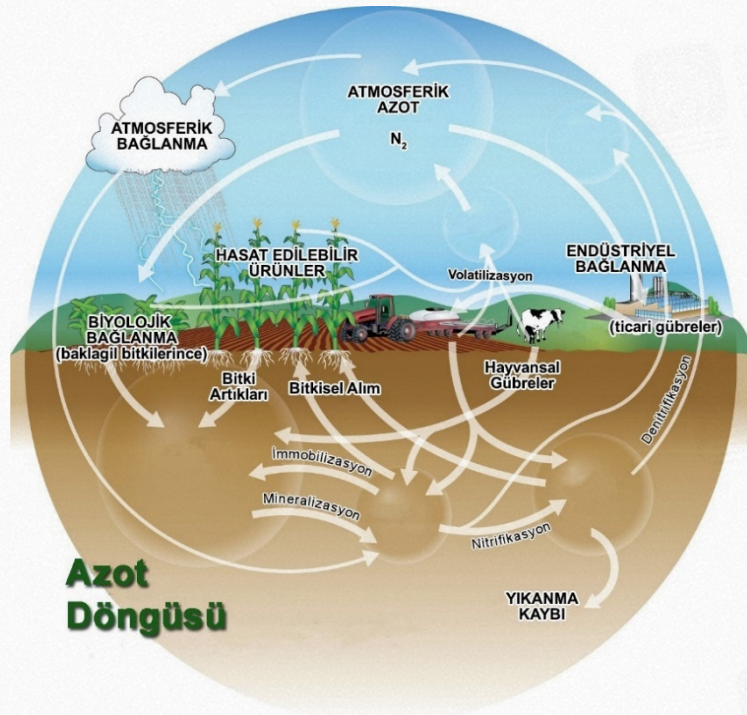
Orana Özgü Ekonomi: Ekonomik optimum besin elementi dozu (EOBED), üretimi yapılan bitkiyle uygulanan besin elementinin en yüksek kazanca neden olacak dozunu ifade eder. Bu doz genellikle maksimum verim artışına neden olan minimum dozunu ifade eden *agronomik optimum besin elementi dozu (AOBED)*'nden daha düşüktür. Ekonomik optimum besin elementi dozu girdi maliyetlerindeki artış ve ürün fiyatının sabit kalmasıyla düşer. Genellikle ürün ve gübre fiyatlarındaki dalgalanmalar birlikte gerçekleşir; girdi ve çıktı fiyatları arasındaki oran aynı kalır ve EOBED önemli ölçüde değişikliğe uğramaz.

Aslında EOBED'nu belirleme, N ve S gibi toprakta hareketli olan ve toprakta bağlanmayan besin elementleri için kullanılan bir yaklaşımdır. Fosfor ve K gibi toprakta tutulan besin elementlerinin uygulamalarından elde edilecek faydaları doğada uzun vadeli; bu nedenle, maliyetleri genellikle birkaç yıl içinde amorti edilir. Toprak verimliliği oluşturma amacı taşıyan uygulamalarda tercih edilen dozlar genellikle tek yıllık bitkilerin yanıtları için EOBED'nun üzerindedir. Yine de sonraki yıllardaki olumlu tepkileri göz önüne alındığında, uzun dönemde ekonomik fayda sağlarlar. Toprakların verimlilik seviyelerini optimum aralığa getirmenin faydaları arasında kaynak, doz, zamanlama ve yerleştirme seçeneklerinde kazanılan esneklikler de oldukça önemlidir. Herhangi bir ekonomik senaryoda, en iyi risk yönetimi, doğru gübre dozlarının seçiminde bilimsel ilkelerinin takip edilmesiyle elde edilir.

Gübre Önerisi

Pratikteki gübre önerisi uygulamaları, entegre besin elementi yönetimi ile uyumlu 4D Hassas Besin Elementi Yönetimi'nin dört doğrusunu da kapsamalıdır- doğru kaynak, doğru doz, doğru yer ve doğru zaman. Bununla birlikte, bu bölümde esas olarak doğru N, P ve K dozlarına odaklanmıştır, çünkü bunlar gübre önerisi reçetelerinin ana çekirdeğini oluşturur.

Azot Önerisi: Hava-toprak-bitki sistemindeki N hareketleri ve tarımsal sistemlerdeki yönetiminin diğer besin elementleri ile karşılaştırıldığında oldukça karmaşık ve dinamik olduğu çok iyi bilinen bir konudur. Bu nedenle, normal üretim koşullarında rapor edilen geri kazanım etkinliği değerleri oldukça düşük olup, 0.3 ile 0.5 arasında değişmektedir (Çizelge 10). İyi yönetim uygulamaları altında bile sadece 0.8'e ulaşır. Bu zorluk, bitkiler tarafından kullanılabilir N'un tahminlerini karmaşıklaştıran ve her bir tarlaya özgü olan karmaşık N döngüsünden kaynaklanmaktadır (Şekil 10). Burada, bitkiler tarafından kullanılabilir N, bir tarladaki artık N ve toprak organik maddesinden mineralize olan N miktarlarının toplamından büyüme sezonu boyunca bitki kök bölgesinden uzaklaşan N miktarının çıkarılmasıyla elde edilen değere karşılık gelir (Morris ve ark., 2018).

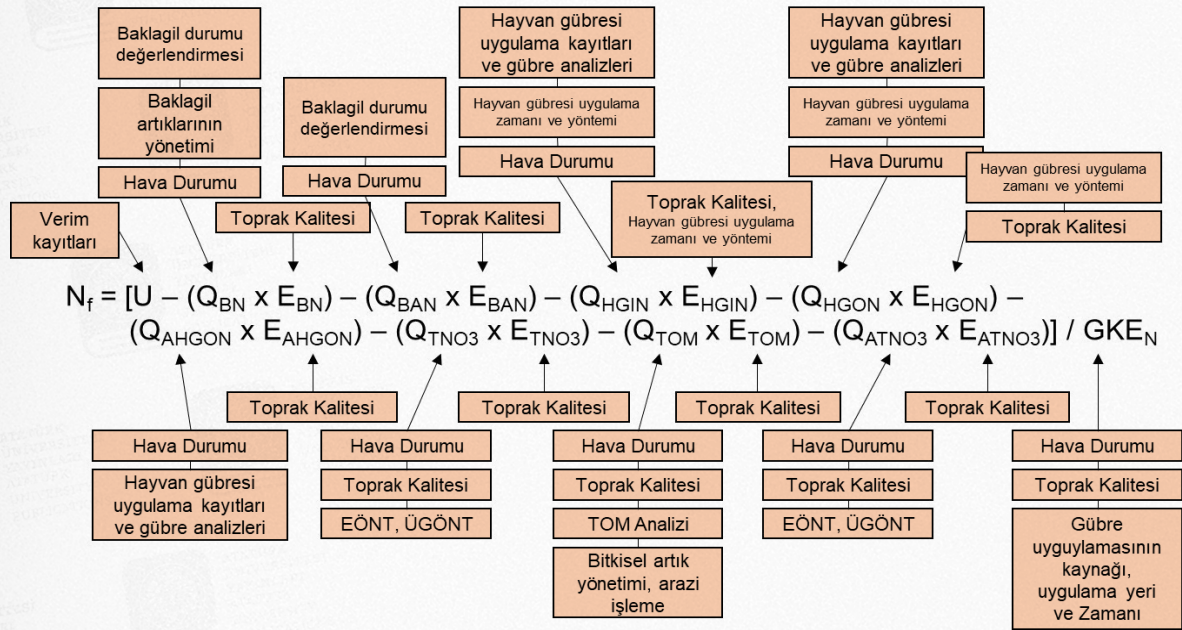


Şekil 10. Çiftlik koşullarındaki olası N döngüsü (IPNI, 2017).

Bu nedenle, uygulanacak N miktarları, bitki ihtiyaçları ile organik maddenin mineralizasyonu ve önceki uygulamadan kalan N'a bağlı olarak değişen bitkiler tarafından kullanılabilir toprak N arzı arasındaki farka bağlıdır (Roy ve ark., 2006). Yakın tarihli bir bilimsel eserde, Morris ve meslektaşları (2018), mısırın N ihtiyacını tahmin etmede kullanılan mevcut yöntemleri detaylıca incelemişlerdir. Bu incelemedeki ana amaçları şunlardır: (i) N önerilerinin nasıl oluşturulduğuna ilişkin temel arka plan bilgilerini gözden

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

geçirmek; (ii) N'lu gübre tavsiyelerinde bulunmada kullanılan sistem ve araçların performansını, güçlü yönlerini ve sınırlamalarını değerlendirmek; (iii) uyarlanabilir yönetim ilkelerinin ve yöntemlerinin önerileri nasıl geliştirebileceğini tartışmak ve (iv) mısırdaki N gübre dozu tavsiyelerinin iyileştirilmesi için bir çerçeve oluşturmak. Bu makalede, belirli bir tarlaya uygulanacak N'lu gübre miktarını tahmin etmek için kullanılan tüm olası toprak, hava, gübre ve baklagil faktörlerinin bir özetini vermişlerdir (Şekil 11). İlgili şekilde görüleceği gibi, tüm bu faktörler etkileşime girerek faktörlerin neredeyse sonsuz bir kombinasyonunu oluşturur. Dolayısıyla bu karmaşıklık, mevcut bilgi ve teknolojilerle N'lu gübre dozunu mutlak doğru bir şekilde tahmin etmeyi imkânsızlaştırır.



Şekil 11. Her bir tarlaya uygulanacak N gübre dozunu en doğru biçimde tahmin etmek için faktörlerin bir kombinasyonunu oluşturmak üzere etkileşime giren toprak, hava durumu, hayvan gübresi ve baklagil faktörleri. Burada, N_f, N uygulama dozu; U, gübrelenmiş bitkilerin toprak üstü aksamındaki toplam N; Q, bitkiler tarafından kullanılabilir N; E, verimlilik parametresi; BN, baklagil N'u; BAN, baklagil artığı N'u; HGIN, hayvan gübresi inorganik N'u; HGON, hayvan gübresi organik N'u; AHGON, hayvan gübresi artığı organik N'u; TNO₃, toprak nitrat N'u; TOM, toprağın organik maddesi; ATNO₃, artık toprak nitrat N'u; GKE, geri kazanım etkinliği; EÖNT; ekim öncesi toprakta nitrat N'u testi; PSNT, üst gübreleme öncesi toprakta nitrat N'u testi. (Morris ve ark., 2018'den uyarlanmıştır).

Yukarıda sözü edilen karmaşıklık nedeniyle verim hedefi ile ilişkili N öneri sistemleri hâlâ aşağıda yer alan ve Morris ve arkadaşlarından (2018) alınan Denklem 1'e dayanır. N_f, N uygulama dozunu, n ise içsel N gereksinimini ve V_{HEDEF} verim hedefini ifade eder. Bu denklemden yararlanan gübreleme önerileri başka hiçbir faktörü dikkate almadan doğrudan verime odaklanır. Bu nedenle, Denklem 1, baklagil N'u (N_{BN}), önceki bitkiden daha önce yetiştirilen baklagillerden kalan N (N_{BAN}), taze hayvan gübresi uygulamalarından elde edilen inorganik N (N_{HGIN}), taze hayvan gübresi uygulamalarından elde edilen organik N (N_{HGON}), geçmiş hayvan gübresi uygulamalarından kalan organik azot (N_{AHGON}), toprak

nitratı (N_{TNO_3}), toprak organik maddesi (N_{TOM}) ve artık toprak nitratı (N_{ATNO_3}) gibi diğer faktörleri içerecek şekilde genişletilmelidir (Denklem 2; Morris ve ark., 2018).

$$N_f = n(V_{HEDEF}) \quad \text{Denklem 1}$$

$$N_f = (n(V_{HEDEF}) - N_{BN} - N_{BAN} - N_{HGIN} - N_{HGON} - N_{AHGON} - N_{TNO_3} - N_{TOM} - N_{ATNO_3}) \quad \text{Denklem 2}$$

Denklem 2'de, hedef verim, Çizelge 8'den elde edilen $x \text{ kg N}\cdot\text{kg}^{-1}$ tane faktörü ile çarpılır ve hayvan gübresi uygulamaları ve önceki bitki için ampirik olarak tahmin edilen krediler uygulanması gereken toplam miktardan çıkarılır.

Aşağıda görüleceği gibi, mısır için verilen Denklem 2'dekine benzer faktörleri kullanarak Alman Gübre Yönetmeliği (2021) de mısır için uygulanacak N dozlarını düzenler. Bu yönetmelikte yer alan ve tarla bitkileri ve sebzeler için gübre gereksinimlerini belirleyen faktörler aşağıda verilmiştir:

- Yetiştirilecek bitki
- N gereksinimi, $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$
- N gereksinim değerlerini veren tabloya göre (yönetmelik) $\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ biriminde verim seviyesi
- Genel olarak son üç yılın ortalaması $\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ biriminde verim seviyesi
- $\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ biriminde verim farkı

kg N·ha⁻¹ biriminde ekstra ilaveler ve kesintiler

- Topraktaki bitkilerce kullanılabilir N miktarı (N_{\min})
- Verim farkı
- Topraktan olan ilave N girdisi
- Önceki yıllarda yapısal organik gübreleme kaynaklı N girdisi
- Önceki bitki veya ön kültür (tarla bitkileri/sebzeler)
- Erken hasat etme amacıyla folyo veya yün ile kaplamada ekstra ilaveler
- Vejetasyon boyunca N'lu gübre gereksinimi $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ olarak
- Müteakip koşullar, özellikle envanter geliştirme veya hava olayları nedeniyle ekstra eklemeler

Fosfor Önerisi: Fosfor, başlangıçta öğütülmüş kemik ve şimdilerde ise öğütülmüş fosfat kayasının kimyasal işleminden sonra elde edilen bir ürün olarak yüz yıldan fazla bir süredir bitkisel üretimde gübre olarak uygulanmaktadır. Fosfor ile bu kadar uzun bir deneyime sahip olmamıza rağmen, P'lu gübre uygulamalarını kesin doğru bir şekilde yönetmekte önemli sıkıntılarımız mevcuttur. Bunun olası nedeni, P'un sahip olduğu toprak-bitki-su sistemindeki karmaşık ilişkileridir.

Azotun aksine, P atmosferde kaybolmaz, çok nadir olarak kök bölgesinin altına kadar sızar ve bitkiler tarafından kullanılabilirliğinin toprak testleri ile doğru bir şekilde tam olarak tahmini de zordur. Fosfor bitkilerin ihtiyaçları açısından bir makro besin elementi olmasına rağmen, toprakta mikro besin elementi gibi davranır. Toprak çözeltisindeki çözünür P konsantrasyonu ve P'un topraktaki hareketliliği de nispeten düşüktür. Bitkiler P'u sadece toprak çözeltisinden alabildiklerinden, topraklardaki çözünür P konsantrasyonu seviyesi önemlidir. Yani, toprak çözeltisinin, toprakta bulunan diğer havuzlardan P ile

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

yenilenme kapasitesi bitkiler için kritik öneme sahiptir. Yenilenme oranı, toprak pH'sı, topraktaki P seviyeleri, toprak tarafından fiksasyonu ve uygulanan P'un yerleştirilmesi gibi birçok faktörle ilişkilidir. Bu nedenle, mutlak doğru bir noktaya ulaşmak mümkün olmasa da bitkilerin P noksanlığına maruz kalmaması için bu faktörlerin her biri göz önünde bulundurulmalıdır.

Bununla birlikte, bitkisel üretim alanlarının yakınındaki akarsuların veya diğer yüzey sularının maruz kalabileceği besin elementi kirliliği gibi bitkisel üretimin olası "yan etkilerin" de göz ardı edilmemelidir. Su öncelikle, topraktaki P veya mineral ya da hayvan gübresiyle uygulanan P'un erozyonu ve yüzey sularıyla tarladan uzaklaşmasının sonucu olarak P ile kirlenebilir. Hayvan gübresi, mineral gübre veya topraktan yüzey akışı nedeniyle kaybedilen P miktarı, gübre maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda nispeten düşük de olsa, bu küçük kayıpların suyun kalitesi üzerinde ciddi etkileri olabilir. Fosfor kirliliğinin ana etkisi, sudaki bitkilerin ve alglerin aşırı büyümesine neden olan ötrofikasyondur. Ötrofikasyon süreçleri içme, endüstri, balıkçılık veya rekreasyon için su kullanımlarında ciddi sınırlamalara yol açabilir. Kirliliğin azaltılması, muhtemelen üreticiler için doğrudan ekonomik bir getiri sağlamayabilir, ancak çiftlikte elde edecekleri kazanımlarının ötesinde insani bir sorumluluk olarak bu konunun değerlendirilmesi gerekir.

Yukarıda sözü edilen sorunlarla başa çıkmak için hem toprakta bulunan P hem de ilave gübre P'unun bitkiler tarafından mümkün olan en iyi şekilde kullanılmasını sağlama amacıyla P'lu gübrelerin en doğru şekilde uygulanması gerekir. Bu noktada, AB ülkelerince kullanılan P'lu gübre uygulama stratejilerini karşılaştıran bir derleme çalışma oldukça önemli ipuçları içermektedir. Jordan-Maille ve arkadaşları (2012), Avrupa'da çiftçilere tavsiyelerde bulunma amacıyla P'lu gübre yönetimi için bölgesel veya ulusal stratejiler geliştirilmiş olduğunu, yani, P önerileri için AB ülkeleri arasında bir fikir birliğinin olmadığını ifade etmişlerdir. Alman Gübre Yönetmeliği'nde dahi P tavsiyelerinin iyileştirilmesi için çok fazla bilgi yer almamaktadır. Bununla birlikte, P'lu gübre öneri stratejileri üç önemli aşamada değerlendirilebilir: (i) bitkilerce kullanılabilir toprak-P'unu belirleme prosedürü ('toprak-P testleri'), (ii) kalibrasyonu (toprak-P verimliliğinin yorumlanması) ve (iii) gübre-P'u önerilerinin oluşturulması.

Tüm bu adımları Türkiye için ayrı ayrı ele almak daha doğru olacaktır. Toprak P testleri için, tüm Türkiye'de, ekstrakte edilebilir P'u belirlemek için hafif-kuvvetli asidik (pH 6.5) topraklar için uygun olmayan Olsen P (NaHCO_3 ekstraksiyonu) yöntemi kullanılmaktadır. Doğu Karadeniz Bölgesi ve bazı yerel alanlar dışında, Olsen P yöntemi Türkiye topraklarına uymaktadır. Geçmişte Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından çeşitli kalibrasyon çalışmaları da yapılmıştır. Ancak yine de P'lu gübre önerilerinde de önemli sorunlar mevcuttur. Bununla birlikte, yukarıda da belirtildiği gibi, AB ülkelerinin de P önerisi için ortak yaklaşımları yoktur (Jordan-Maille ve ark., 2012). Bu inceleme makalesinde ifade edildiği gibi, AB topraklarında ekstrakte edilebilir P'u belirlemede Olsen P'u da dahil olmak üzere on farklı yöntem kullanılmaktadır. Olsen P'u ekstraksiyon yöntemini kullanan beş ülke (Danimarka, İngiltere, Fransa, İtalya, İspanya) arasında yer alan İtalya ve İspanya Türkiye'ye benzer toprak ve çevre koşullarına sahiptir. Her iki ülke

de aynı makaleden uyarlanan Çizelge 11'de yer alan verilerde de görüleceği gibi benzer P verimlilik kategorileri mevcuttur.

VDLUFA-Alman Tarımsal İnceleme ve Araştırma Enstitüleri Birliği'ne (2018) göre hazırlanan Şekil 12, çoğu ülkede uygulanan tipik bir P gübreleme stratejisini göstermektedir. Stratejinin temel noktası, toprak P testi değerlerini, ortalama olarak belirli bir verimi sürdürecektir ve bitkiler tarafından alınanın yerine alınan kadarını koyarak koruyacaktır (koruma yöntemi) önerilen bir hedef değere veya banda getirmektir. Genel strateji aynı olsa da neredeyse ülkelerin sayısı kadar farklı hesaplama şekli bulunmaktadır. Buna ek olarak, ikinci adım için, toprak özellikleri ve bitkinin P noksanlığındaki 'duyarlılık' özellikleri gibi bazı parametreler de ülkelerin bazılarında çeşitli şekillerde hesaplama dahil edilmiştir (Çizelge 11).

Hesaplamalar hemen hemen her zaman, bitkilerle uzaklaştırılan P'un çarpma oranından oluşan bir düzeltme katsayısına dayanır. Bir bitki tarafından uzaklaştırılan P, bitkinin tarla dışına çıkarılan kısmının ve tahmini verimin bir sonucu olarak hesaplanır.

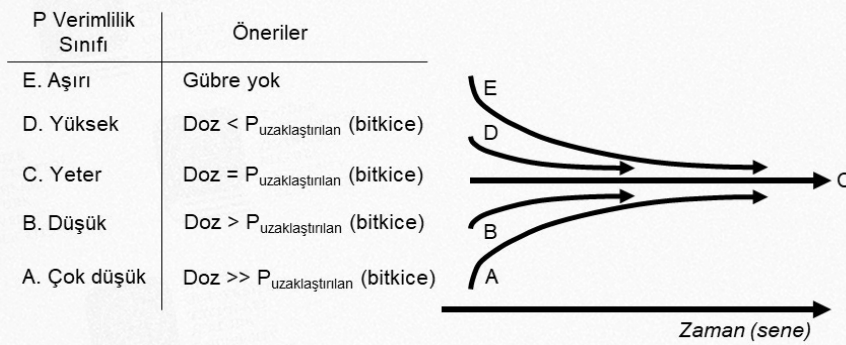
Tüm bunlara ilave olarak, bu öneriler uygulanacak P'lu gübrenin formunu veya yerleştirilmesini dikkate almamaktadır. Ancak son yıllarda P gübresinin sıvı (Erenoğlu ve Dündar, 2020; Holloway ve diğerleri, 2001) ve organomineral formlarının (Erenoğlu ve Hacırüstemoğlu, 2022; Erenoğlu ve ark., 2023) daha yüksek P kullanım etkinliklerine sahip oldukları çeşitli bilimsel çalışmalarda gösterilmiştir. Gelecekte, P'lu gübre önerilerinde söz konusu bu etkinlik farklılıklarının da göz önünde bulundurulması hem sınırlı bir hammadde kaynağı bulunan hem de olası çevresel riskler barındıran P için oldukça faydalı sonuçlara neden olabilecektir. Buna paralel olarak, son yıllarda VDLUFA (2018), P-etkinliğini artırmak için, i) P gübresinin toprağa karıştırılması, ii) P gübresinin yerleştirilmesi, iii) P-gübrelemesinin bitki türüne özgü adaptasyonu, iv) P gübre formu, v) erozyonu azaltmaya yönelik önlemler, vi) toprak sıkışmasının önlenmesi veya ortadan kaldırılması gibi önceki versiyonda (1997) bulunmayan ek teknik üretim önlemleri getirmiştir.

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

Çizelge 11. Mahsullerde ihraç edilen besin maddelerinin içeriği için düzeltme faktörleri (P önerilerinin 3. adımında kullanılır). Bunlar, mahsul kaldırma işlemlerine ekler ve mahsul hassasiyetine bağlıdır (kg P-ha-1 olarak ifade edilir) (Jordan-Maille ve ark., 2012'den uyarlanmıştır).

Ülke	İkincil olarak parametrelendirme		Toprak P verimlilik kategorisine göre ihracata çarpılacak (x) veya eklenecek (+) sayılar veya sabit öneri değerleri (kg P)			
			Toprak P Verimlilik Kategorisi			
	Toprak Parametreleri	Kırpma Hassasiyeti	Çok Düşük	Düşük	Yüksek	Aşırı
Avusturya			1.5x	1,25x	0,5x	0
Belçika (Valon Bölgesi)			1.5x	1,25x	0,5x	0
Belçika (Flandre)		X	1.5-2.25 x ak*		0.25-0.5 x ak	0
Çek Cum.			1.5x	1,15x	0,4x	0
Danimarka		X	1.2-1.4x + (0-15)		0,25-0,5x	0
İngiltere			2x	1,5x		
Estonya			2x	1,5x	0,5x	0
Fransa COMIFER	X	X	1-3.7x		0-1.5x	
İtalya	X		1.5-2x		0	
Norveç			2x	0'dan 2x'e, doğrusal		0
Slovak Cum.			1.5x	1,2x	0,3x	0
İspanya (Nav)			1.5x	1,2x	0	
İsviçre	X	X	1.5x	1.2-1.4x	0,2-0,8x	0
Letonya			1.6x	1,3x	0,4x	0,2x
Litvanya			1.4x	1,2x	0,7x	0,35x
Polonya			1.5x	1,25x	0,75x	0,5x
Almanya			+ 26	+13	0,5 kat	0
Slovenya			+ 13-22	+ 7-13	0,5 kat	0
İsveç		X	+ 13-22	+ 7-13	0-20	
Hollanda		X	35-80	26-65	0-24	0-9
Macaristan			52	35	17	13

* Vejetasyon süresi boyunca bitkinin almış olduğu toplam P'a bağlı gübre önerisi



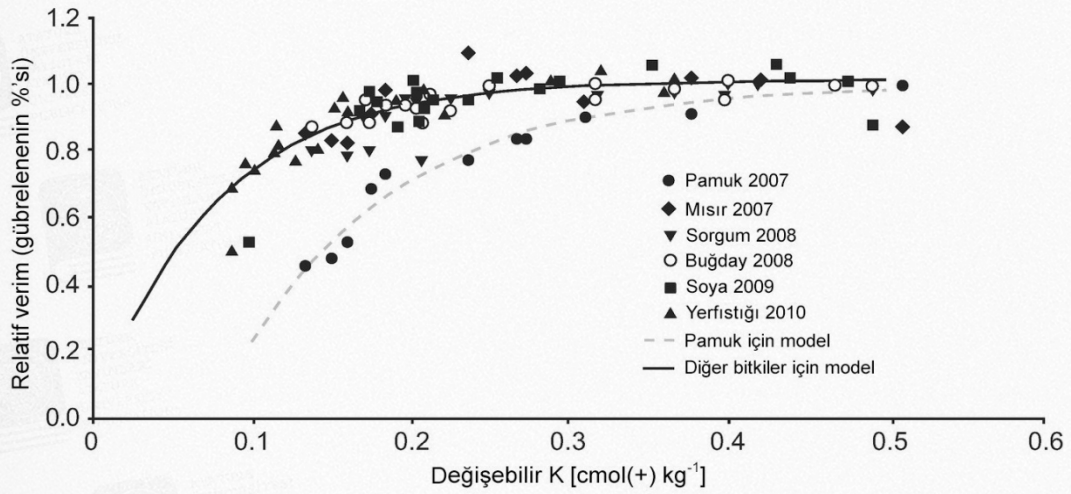
Şekil 12. Avrupa ülkelerinin çoğunda kullanılan P'lu gübre uygulama stratejisi (VDLUFA 2018'den uyarlanmıştır).

Potasyum Önerisi: Çizelge 8'de verilen besin elementi alım (sürgün + tahıllar, meyveler veya yumrular) değerlerini göz önünde bulundurduğumuzda, K alımının, N ve P'unkilerle karşılaştırılabilir olduğunu görüyoruz. Bunun bir sonucu olarak, hasat/budama artıkları tarladan çıkarılmadıkça, uzaklaştırılan toplam K çok da yüksek olmayacaktır. Azot ve P ile karşılaştırıldığında, K önerileri üzerine yürütülen bilimsel çalışmalar çok yaygın değildir. Bunun nedeni, N ve P ile karşılaştırıldığında K için sahip olunan daha düşük çevresel kaygı olabilir. Bu nedenle, N (Denklem 2) ve P (Çizelge 11) için kullanılanlara benzer yaygın bir öneri yaklaşımı K için yoktur. Ancak K önerileri için verim, toprağın katyon değişim kapasitesi (KDK), ekstrakte edilebilir K gibi faktörler göz önünde bulundurulur.

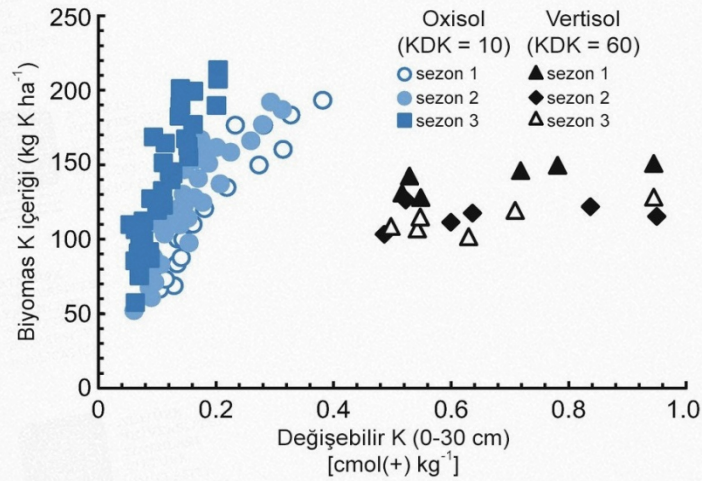
Yakın zamanda yapılan bir çalışmada, değiştirilebilir K ile görece verim değişimleri arasındaki ilişkileri açıklığa kavuşturmak için altı bitki türü (Pamuk, Mısır, Sorgum, Buğday, Soya Fasulyesi, Yer Fıstığı) test edilmiştir (Şekil 13). Altı tür arasında, sadece pamuğun, kuzeydoğu Avustralya'daki Oxisol toprağında yapılan tarla çalışmalarında diğer türlerden farklı ve daha yüksek kritik değerlere sahip olduğu bulunmuştur.

Çeşitli süreçler, yapılan bir toprak testinin bitkilerin K alımını tahminindeki etkinliği üzerinde rol oynayabilir. Bunlar, bitkilerin alımlarına katkıda bulunan K havuzlarını tahmin etmede kullanılan ekstraksiyon yönteminin uygulanabilirliği, K'un bitkiler tarafından alınabilirliğinin tahmin edildiği dönemi (tek ürün, çoklu hasat, çoklu büyüme mevsimi) ve büyüme dönemi süresince K talebinin yoğunluğunu içerir. Bununla birlikte, yukarıda verilen çalışmadan uyarlanan Şekil 14'de gösterildiği gibi, benzer maksimum verim ve bitki K talebine rağmen, aynı bitkisel üretim bölgesi içinde iki farklı toprak tipinde yetişen aynı bitki türleri ve çeşitleri bile artan toprak testi K değerlerine çok farklı tepkiler gösterebilir (Bell ve ark., 2020). Potasyum gübrelemesine yanıt olarak değişebilir K arttıkça, oksisolde (düşük KDK) büyüyen tane sorgum K'u vertisolde (yüksek KDK) yetişen tane sorgumdan çok daha verimli ve daha fazla biriktirebilmektedir. Bunun sonucu olarak, toprağın tekstürü daha hafif hale geldiğinde (daha fazla kum), K'un uygulama dozları daha ağır killi topraklardan daha düşük olabilir. Toprak K havuzlarının değerlendirilmesi amacıyla uygun toprak testi yöntemlerinin seçilmesine rağmen, bitkilerin sahip oldukları bu farklı K kazanma modelleri, toprak testi K sonuçlarının yorumlanmasında dikkate alınması gereken diğer faktörlerin rolünü göstermektedir.

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)



Şekil 13. Kuzeydoğu Avustralya Oxisol topraklarında yetiştirilen farklı bitkiler için değişebilir K (amonyum değişimi) ile göreceli tane veya lif verimi arasındaki ilişki (Bell, ve ark., 2020).



Şekil 14. Asidik bir Oksisol (düşük CEC) ve alkalın Vertisol (yüksek CEC) üzerinde üç farklı büyüme döneminde yetiştirilen tanelik sorgumun toprak üstü biyokütlesindeki K birikimi ile değiştirilebilir K (amonyum değişimi) arasındaki ilişki (Bell, ve ark., 2020).

Öneri Destek Programları/Uygulamaları

Yetiştiriciler ve danışmanların kullanımı için, gübre kararlarında etkili olan çok sayıda konuma özgü faktörü, besin elementi yönetimi uygulamaları hakkında karar vermeye yönelik sistematik bir yaklaşımla entegre eden birçok araç mevcuttur. Olası potansiyelle sahip birçok performans göstergesini aynı anda iyileştirmeyi hedefleyerek hazırlanacak olan araçlar oldukça kullanışlı olabilir. Çiftlik teknolojisine minimum düzeyde bağlı olan bu araçlar, küçük üreticiler veya daha gelişmiş teknolojilere erişimi olan daha uygun bölgelerdeki üreticilerin hepsi için kullanışlı olabilir. Destek sistemleri geliştirmenin en önemli zorluklarından bir tanesi, besin elementi yönetimi uygulamalarının hem kısa hem de uzun vadeli sonuçlarını en doğru şekilde değerlendirme gerekliliğidir.

Artan nüfus ve çevresel kaygılar nedeniyle, gelişmiş etkinlik ve üretkenlik talebine paralel olarak, besin elementi yönetimi için karar destek araçlarının ve sistemlerinin önemi de artmaktadır. Şimdiye kadar, bazı bölgelerde yaygın olarak bulunan bitkisel üretim sistemleri için uygun karar destek araçlarının destek sistemlerine entegrasyonu gerçekleştirilmiştir. Söz konusu bu entegrasyonlar, sahip olunan bilimsel anlayışın arazi koşullarında kullanılması için gereklidir; açık ve şeffaf sistemler, yöresel besin elementi yönetimi uzmanlığından ve konuma özgü yaklaşımların uygulanmasından daha iyi yararlanabilir. Yine de bu destek sistemlerinin çoğu, esasen sadece tek bir besin elementiyle -ki bu da çoğunlukla N'tur, ilgilenir. Bunun nedeni, birden fazla besin elementi için verilecek kararların karmaşıklığı olabilir.

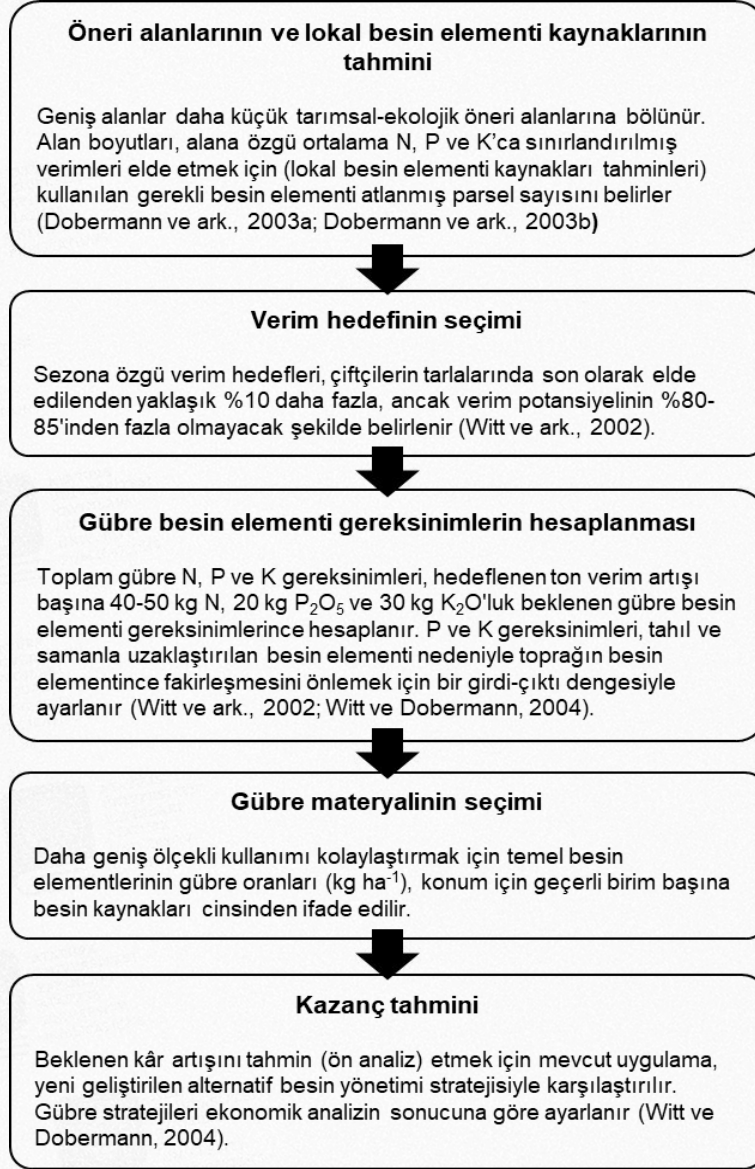
Halihazırda kullanılan yazılımlar, çok dar bir uygulama alanına veya karara odaklanan araçlardan, 4D Besin Yönetiminin birçok yönünü entegre eden karar destek sistemlerine kadar çeşitlilik gösterir. Aşağıda yer alan Çizelge 12'de, karar destek araçları ve sistemlerine ilişkin birkaç örnek yer almaktadır.

Karar vermede kullanılan araçlardan ikisi olan NuDSS ve Torosciftci'nin izlediği adımlar sırasıyla Şekil 15 ve 16'de verilmiştir. Birincisi, pirinçte N, P ve K kararlarını destekleme amacıyla geliştirilmiştir ve bilimsel olarak ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Ayrıca gübrelemenin ekonomik sonuçları hakkında da bazı bilgiler vermektedir. İkincisi, bireysel çiftçilere, danışmanlara ve bayilere hizmet etmek ve toprak testi analizi olan/olmayan topraklarda yetiştirilen Çizelge 12'de belirtilen on bitki için gübre önerileri vermek üzere geliştirilmiştir.

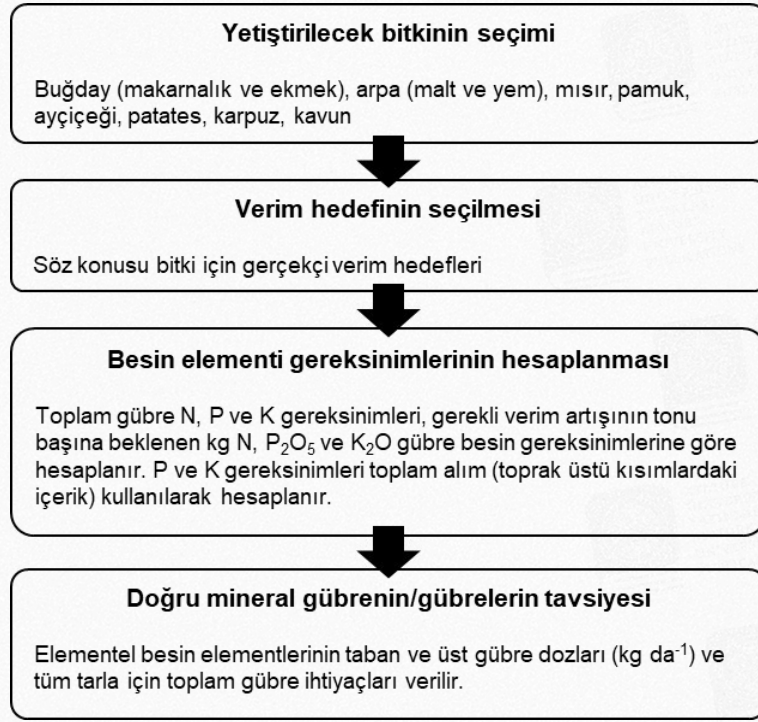
Çizelge 12. Karar destek araçları ve sistemlerine bazı örnekler

Araçlar/Sistem	Fonksiyon	Hedef Besinler
Nutrient Decision Support System (NuDSS)	Sulanan ovalarda konuma özgü besin elementi yönetimi konusunda karar desteği sağlamak için Irrigated Rice Research Consortium tarafından yapılan bir girişimin parçası olarak sulu çeltik için geliştirilmiştir.	N, P ve K
Nutrient Expert®	Mısır ve cassava için gübreleme önerileri yapmaktadır. Toprak testi bilgilerinin olmaması, bu yazılımın kullanımını sınırlamaz.	N, P ve K
Adapt-N	Cornell Üniversitesi tarafından mısır üst gübrelemesi N dozlarını tahmin etmek için geliştirilmiştir. Basitçe topraklara, yönetime ve ürün girdilerine dayalı olarak mısır üretimi için sezon içi N önerileri sağlar ve erken mevsim hava koşulları nedeniyle toprak N'undaki olası değişiklikleri hesaba katar.	N
Torosciftci (Türkiye)	Özel sektör ve üniversite işbirliği ile geliştirilen, buğday (durum ve ekmek), arpa (malt ve yem), mısır, pamuk, ayçiçeği, patates, karpuz, kavun için verim ve bazı toprak parametrelerine dayalı besin elementi önerilerinde bulunur. Toprak testi sonuçlarının olmaması, bu yazılımın kullanımını sınırlamaz ve hafif ve ağır topraklar için ortalama P ve K kullanılabilirliği için önerilerde bulunur.	N, P ve K

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)



Şekil 15. Gübre önerileri ve değerlendirmeleri için NuDSS'nin izlediği adımlar (Witt ve ark., 2005'ten uyarlanmıştır).



Şekil 16. Gübre önerileri ve değerlendirmeleri için Torosciftci'nin izlediği adımlar (Erenoğlu EB yayınlanmamış veri).

SONUÇ

- Türkiye'de yürürlükte olan gübre yönetmelikleri küçük farklılıklar dışında, AB'nin 2019/10092 sayılı yönetmeliği ile benzerlikler taşımaktadır. Ancak (AB) 2019/10092 sayılı yönetmelikte tanımlanan CE gübre işareti, yalnızca gübrelere pazarlanması söz konusu olduğunda devreye giren bir kavramdır. Gübreleme önerileriyle doğrudan bir ilişkisi yoktur.
- Türkiye'de birim bitkisel üretim alanı başına toplam N, P ve K kullanımı dünya ülkeleri ortalaması ile hemen hemen aynıdır. Ayrıca, Türkiye'ye benzer toprak ve çevre koşullarına sahip Yunanistan, İtalya, İspanya ve Portekiz ile kıyaslanabilir düzeydedir. Bölgesel ve kentsel farklılıklar olmakla beraber, birkaç il dışında çok yüksek düzeyde gübre kullanılmamaktadır. Elbette ki o ildeki gübre satış rakamlarından hesaplanan toplam N, P ve K değerlerinin o ilin toplam tarım alanına bölünmesiyle hesaplanan bu kullanım değerleri mutlak doğruyu yansıtmamaktadır. Bunun için kullanılan gübre istatistiklerinin çok iyi kayıt altına alınması gerekir.
- Birim alan başına N ve P kullanımı dünya ortalaması ile karşılaştırılabilir ve hatta P için daha da yüksek olmasına rağmen, K kullanım oranı dünya ortalamasının çok altındadır.
- Türkiye'de Toprak, Bitki ve Sulama Suyu Analiz Laboratuvarları Tarım ve Orman Bakanlığı'na bağlı olarak faaliyet göstermektedir. Ancak bağımsız hareket edebilmeleri, özellikle analiz sonuçlarının doğru yorumlanması ve gübreleme önerilerinin hazırlanması konularında yaşam boyu öğrenme ve iç dinamiklerle beyin fırtınası faaliyetleri yoluyla yetkinlikleri artırılmalıdır.

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

- Laboratuvarların toprakta mineral N analizi konusunda yetkin hale getirilmesi gerekmektedir. Bu sayede, N uygulama dozlarının belirlenmesinde önemli bir engel aşılmış olacaktır.
- Ancak mineral N ve N'lu gübre önerileri için toprak testi sonuçları arasındaki ilişkiyi netleştirme amacıyla yapılan çalışmaların Türkiye'de çok az olduğu unutulmamalıdır.
- Özellikle, sera ve açık tarla sebze üretiminde ve yağışın az olduğu alanlardaki tarla bitkileri yetiştiriciliğinde N uygulama oranlarının topraktaki mineral N seviyesine göre ayarlanması için çalışmalar yapılmalıdır.
- Hasat edilen kısımlar veya hasat artıkları ile tarladan uzaklaştırılan besin elementleri, önceki bitkiden kalan toplam veya mineralize olabilen besin elementi kaynakları dikkate alınarak veya ilave olarak organik kaynaklar da kullanılarak gübreleme önerileri yapılmalıdır.
- Fosfor önerileri için Şekil 12'de verilen ve Avrupa ülkeleri tarafından yaygın olarak kullanılan stratejiye (Çizelge 11) benzer bir strateji belirlenmelidir.
- Potasyum bitkilerin verim, kalite ve raf ömürleri açısından çok önemli olduğundan, özellikle meyve ağaçları, sebzeler ve K'u çok tüketen mısır, şekerpancarı, patates gibi tarla bitkilerinin gübrelemesinde tarladan uzaklaştırılan kadar K'un uygulanması sağlanmalıdır.
- Türkiye İstatistik Kurumu'ndan bir bölge için elde edilen herhangi bir ürünün ortalama verim değerine bağlı olarak gübreleme programlarının hazırlanması entegre besin elementi yönetimi uygulamalarına uygun olmayacağından tercih edilmemelidir. Ek olarak, bu durum genotipik farklılıkları da dikkate almamaktadır. Bir bölge ya da ilçe için sabit bir verim seçmek yerine, kullanıcıların her bitki için farklı verim düzeylerinde öneriler almalarını sağlayacak bir yaklaşım benimsemek daha uygun olacaktır.

KAYNAKLAR

- Bell MJ, Thompson ML, Karamsar PW, 2021. Using Soil Tests to Evaluate Plant Availability of Potassium in Soils. T. S. Murrell et al. (eds.), Improving Potassium Recommendations for Agricultural Crops (pages 191-218), https://doi.org/10.1007/978-3-030-59197-7_8.
- Dobermann A, Witt C, 2004. The evolution of site-specific nutrient management in irrigated rice systems of Asia. In A. Dobermann, C. Witt & D. Dawe, eds. Increasing productivity of intensive rice systems through site-specific nutrient management, pp. 75– 99. Los Banos, Philippines, International Rice Research Institute.
- Dobermann A, Witt C, Abdulrachman S, Gines HC, Nagarajan R, Son TT, Tan PS, Wang GH, Chien NV, Thoa VTK, Phung CV, Stalin P, Muthukrishnan P, Ravi V, Babu M, Simbahan GC, Adviento MA, 2003a. Soil fertility and indigenous nutrient supply in irrigated rice domains of Asia. *Agronomy Journal*. 95:913-923. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.9130>.
- Dobermann A, Witt C, Abdulrahman S, Gines HC, Nagarajan R, Son TT, Tan PS, Wang GH, Chien NV, Thoa VTK, Phung CV, Stalin P, Muthukrishnan P, Ravi V, Babu M, Simbahan GC, Adviento MA, Bartolome V, 2003b. Estimating indigenous nutrient

- supplies for site-specific nutrient management in irrigated rice. *Agronomy Journal*. 95:924-935. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.9240>.
- Erenoğlu EB, Dündar Ş, 2020. Application of liquid phosphorus fertilizer improves the availability of phosphorus in calcareous soils. *Applied Ecology and Environmental Research*, 18(2):3615-3626. https://doi.org/10.15666/aeer/1802_36153626.
- Erenoğlu, EB, Hacırüstemoğlu, KD (2022). Biogas facility-based organic fertilizer enhances nutrient uptake and growth of wheat (*Triticum aestivum*). *Applied Ecology and Environmental Research*, 20(6): 5343-5360. https://doi.org/10.15666/aeer/2006_53435360.
- Erenoğlu, EB, Morsy Mohammed Morsy, ME, Dündar, Ş (2023). The effect of organomineral fertilizer phosphorus on the availability of phosphorus in a calcareous soil. *Applied Ecology and Environmental Research*, 21(5): 4545-4562. https://doi.org/10.15666/aeer/2105_45454562.
- FAO, 1995. Integrated plant nutrition system. *FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin* No. 12. Rome. 426 pp.
- FAO, 1998. Guide to efficient plant nutrient management. Rome. 19 pp.
- Gokmen Yilmaz F, Korkmaz A, Isik Y, Can Saglik N, Akçay Kulluk D ve ark., 2021. Determination of the Nitrate Sufficiency Limit Value for Nitrogenous Fertilization Use in Wheat Grown on a Calcareous Soils Through Application of Mitscherlich-Bray Equation, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, <https://doi.org/10.1080/00103624.2021.1908320>.
- Holloway RE, Bertrand I, Frischke AJ, Brace DM, McLaughlin MJ, Shepperd W, 2001. Improving fertilizer efficiency on calcareous and alkaline soils with fluid sources of P, N, and Zn. *Plant and Soil* 236: 209-219. <https://doi.org/10.1023/A:1012720909293>.
- IPNI, 2017. 4R Bitki Besleme - *Bitki Besleme Yönetimini İyileştirmek İçin Bir El Kitabı*. Uluslararası Bitki Besleme Enstitüsü.
- Kuhn T, 2017. The revision of the German Fertiliser Ordinance in 2017. *Food and Resource Economics* (University of Bonn), Discussion Paper 2017:2.
- Jing Li, Wenshi Hu, Zhifeng Lu, Fanjin Meng, Rihuan Cong, Xiaokun Li, Tao Ren, Jianwei Lu, 2022. Imbalance between nitrogen and potassium fertilization influences potassium deficiency symptoms in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) leaves, *The Crop Journal*, 10 (2): 565-576. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2021.06.001>.
- Jordan-Meille L, Rubæk GH et al, 2012. An overview of fertilizer-P recommendations in Europe: soil testing, calibration and fertilizer recommendations *Soil Use and Management*, December 2012, 28, 419-435
- Roy RN, Finck A, Blair GJ, Tandon HLS, 2006. Plant Nutrition for Food Security – A guide for Integrated Nutrient Management. *FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin* 16.
- Witt C, Balasubramanian V, Dobermann A, Buresh RJ, 2002. Nutrient management. In: Fairhurst, T.H. and C. Witt (eds.). *Rice: a practical guide for nutrient management*. Singapore and Los Baños: Potash and Phosphate Institute & Potash and Phosphate Institute of Canada and International Rice Research Institute. P 1-45.

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

- Witt C, Dobermann A, 2004. Towards a decision support system for site-specific nutrient management. In: Dobermann A, Witt C, Dawe D, editors. Increasing productivity of intensive rice systems through site-specific nutrient management. Enfield, NH (USA) and Los Baños (Philippines): Science Publishers, Inc., and International Rice Research Institute (IRRI).
- Witt C, Fairhurst TH, Sheehy JE, Dobermann A, Gfroerer-Kerstan A, 2005. A nutrient decision support system software for irrigated rice. *Better Crops*, 4:26-28.
- VDLUFA. 2018. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten. Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf, 11 p.
- Yin M, Li Y, Hu Q, Yu X, Huang M, Zhao J, Dong S, Yuan X ve Wen Y, 2023. Potassium Increases Nitrogen and Potassium Utilization Efficiency and Yield in Foxtail Millet. *Agronomy*, 13(9), 2200. <https://doi.org/10.3390/agronomy13092200>.

TOPRAK BİTKİ ANALİZLERİ VE GÜBRELEME PROGRAMLARININ OLUŞTURULMASINDAKİ SORUNLAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Fatma GÖKMEN¹ YILMAZ, Prof. Dr. Sait GEZGİN^{1*}

¹; Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme
Bölümü, Konyasgezgin@selcuk.edu.tr

Özet

Bitkisel üretimde kaliteli yüksek verimin sağlanabilmesi, toprak ve bitki analiz sonuçlarına göre dengeli gübreleme ile mümkündür. Toprak analizleri ile besin elementlerinin miktarları, aralarındaki dengeleri ve bitkilerce alımını etkileyen toprak özellikleri belirlenirken, bitki analizleri ile topraktaki besin elementlerinden bitkilerin yararlanma oranı belirlenmektedir. Bitkisel üretimde hedef kaliteli yüksek verimin elde edilmesi için analiz sonuçlarına göre bitki besin elementleri uygun miktarlarda, formlarda, zamanlarda ve şekillerde bitkilere verilmelidir. Bu nedenle, Tarım ve Orman Bakanlığı 2009 yılından bu yana toprak analiz desteği vermektedir. Bununla birlikte toprak örneklerin usulüne uygun olarak alınmaması, alınan örneklerin analizlerindeki sorunlar, zorunlu tutulan analizlerin yetersizliği, bitki analizlerine destek verilmemesi, laboratuvarların kapasite yetersizliği ve denetimlerinin tam yapılamaması gibi sorunlara bağlı olarak ülkemizde toprak analiz laboratuvarları etkin bir şekilde görev yapamamaktadırlar. Ayrıca toprak analizleri düzgün bir şekilde yapılmış olsa bile azotlu gübre önerilerinde toprakların organik madde içeriğinin ve diğer besin elementlerinin önerilerinde ise sadece besin elementlerinin topraktaki yeterlilik sınırlarının dikkate alınması, bitkinin hedef verim ve besin elementleri arasındaki dengenin dikkate alınmaması, ayrıca mikro besin elementlerin analizlerinin de yapılmamış olması gibi nedenlerle dengeli gübreleme programları yapılamamaktadır. Bu durum çiftçilerin devamlı toprak analizi yaptırmak istemelerini engellemektedir. Ülkemizde toprak analizlerinin yaygınlaştırılması, laboratuvarlarda Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü mezunlarının istihdamı, lisans programlarına toprak, bitki ve gübre analizleri yanında gübreleme programlarının oluşturulması dersinin konulması, laboratuvar denetimlerinin tek bir kurum altında laboratuvar kurulu oluşturularak sağlanması, toprak analizi yaptırmayı özendirici ve herhangi bir suistimale fırsat vermeyecek tedbirlerin alınması ve devamlı uygulamalı eğitimlerle mümkün olabileceği ifade edebilir.

Anahtar kelimeler: Analiz, gübreleme programı, laboratuvar

PROBLEMS AND SOLUTION SUGGESTIONS IN THE CREATION OF SOIL PLANT ANALYSES AND FERTILIZATION PROGRAMS

Abstract

It is possible to ensure high quality yield in crop production with balanced fertilisation according to the results of soil and plant analyses. Soil analyses determine the

amounts of nutrients, the balance between them and the soil properties affecting their uptake by plants, while plant analyses determine the rate of utilisation of nutrients in the soil by plants. In order to obtain the target quality high yield in crop production, plant nutrients should be applied to plants in appropriate amounts, in appropriate forms, at appropriate times and in appropriate ways according to the results of the analyses. For this reason, the Ministry of Agriculture and Forestry has been providing soil analysis support since 2009. However, soil analysis laboratories in our country cannot perform their duties effectively due to problems such as failure to take samples properly, problems in the analyses of the samples taken, insufficiency of compulsory analyses, lack of support for plant analyses, insufficient capacity of laboratories and incomplete inspections. In addition, even if the soil analyses are done properly, balanced fertilisation programmes cannot be made due to the fact that the organic matter content of the soils is taken into consideration in nitrogen fertiliser recommendations and only the adequacy limits of the nutrients in the soil are taken into consideration in the recommendations of other nutrients, the balance between the target yield of the plant and the nutrients is not taken into consideration, and the micronutrient analyses have not been made. This situation prevents farmers from wanting to have continuous soil analyses. It can be stated that the dissemination of soil analyses in our country can be possible through the employment of graduates of the department of soil science and plant nutrition in laboratories, the introduction of a course on soil, plant and fertiliser analyses as well as fertilisation programmes in undergraduate programmes, the provision of laboratory inspections by establishing a laboratory board under a single institution, taking measures to encourage soil analysis and to prevent any abuse, and continuous practical training.

Key words: Analysis, fertilization program, laboratory

GİRİŞ

Ülkemizde hızla artan nüfusun gelecekte beslenme problemiyle karşı karşıya kalmaması için üretim ve kalitenin artırılması, birim alandan kaliteli daha fazla verimin alınmasının sağlanması gerekmektedir. Üretim alanlarımızın sınırlı olması ve artırılamayacağı göz önünde bulundurularak üretimi artırmanın başlıca yolları arasında uygun yetiştirme tekniklerinin seçimi, uygun tohumluk kullanımı, üreticilerin bilinçlendirilmesi, yüksek verim ve kaliteye sahip yeni çeşitlerin ıslah edilerek üretime kazandırılması yanında verim ve kaliteyi artırmak için uygun zamanda dengeli gübrelemenin yapılması yer almaktadır. Yapılan çalışmalarda verimin artırılmasında en büyük payın gübrelemede olduğu, bitkilere göre değişmekle birlikte gübreleme ile %50-80'lere varan verim artışı sağlandığı bilinmektedir. Dengeli gübreleme için toprak ve bitki analizlerinin yapılması gerekir. Toprak analizleri ile toprağın fiziksel, kimyasal, biyolojik ve mineralojik özellikleri belirlenirken bitki analizleri ile bitkilerin topraktaki besin elementlerini alma durumu yani, yararlanma oranı belirlenmektedir. Bu nedenle dengeli gübreleme için çoğu zaman toprak analizleri yeterli olurken, başta meyve bahçeleri olmak üzere bazı durumlarda birbirlerinin tamamlayıcısı olarak toprak analizlerinin yanında bitki

analizlerinin de yapılması gereklidir. Bu bağlamda Tarım ve Orman Bakanlığı 2009 yılından bu yana çok önemli ve yerinde hatta geç kalınmış bir kararla toprak analiz desteği vermektedir. Ancak bugün hala ülkemizde gübreleme amaçlı toprak analizleri yapan laboratuvarlarla ilgili çok önemli sorunlar bulunmaktadır. Ayrıca gerek toprak gerekse bitki analizlerine dayalı olarak dengeli gübreleme yapılabilmesi için gübreleme programlarının oluşturulmasında da sorunlar bulunmaktadır. Bu sorunlar ve olası çözümleri şu şekilde sıralanabilir:

1. Toprak Örneklerinin Alınması

Laboratuvarlara getirilen toprak örneklerinin verimlilik durumunun belirlenmesi için örneklerin usulüne uygun alınması çok önemlidir. Araziyi temsil etmeyen, usulüne uygun alınmamış toprak örnekleri, en gelişmiş cihazlar ve yöntemlerle analiz edilse bile elde dileycek analiz sonuçları yanlış olacaktır. Toprak örneği almadan önce, örnek alınacak yerin renk, eğim, yükseklik, drenaj durumu, topografyası, taşlılık ve yetiştirilen bitkinin gelişme durumu gibi özellikleri belirlenmelidir. Eğer arazi çok büyük ve heterojenlik varsa farklı yerlerden ayrı örnekler alınır. Örnek alınma zamanı önemlidir. Verimlilik için gübreleme amaçlı toprak örnekleri bitkilerin ekim veya dikim zamanlarından önce alınmalıdır. Analiz sonucuna göre gübreleme programı oluşturulmalıdır. Çünkü özellikle fosforlu gübreler başta olmak üzere gübrelerin bazılarının tamamı, bazılarının bir kısmı ekim veya dikim esnasında uygulanmaktadır. Bu nedenle toprak örneklerinin usulüne uygun bir şekilde ve uygun zamanında alınması gerekmektedir.

Yetiştirilen bitkinin vejetasyon dönemi içinde alınan ve analiz edilen toprak örneği sonucuna göre gübreleme programları dikkate alınmayacağından bu örnekler için destek verilmemelidir. Toprak örneklerinin sonuçlarına dayalı etkin bir gübreleme programlarının oluşturulması için örneklerin teknik bir personel (Ziraat Mühendisi veya Teknisyeni) tarafından ya da sorumluluğunda alınıp laboratuvara onun imzası yanında üretim yapan çiftçinin imzası ile teslim edilmelidir. Üretim yapılmayan ya da nadasa bırakılan arazilerden alınan örneklere destek asla verilmemelidir. Toprak örnekleme sürecinin yanlış olmasından kaynaklı hatalardan çiftçi ve örneklerin laboratuvara tesliminde imzası bulunan teknik personel sorumlu tutulmalı ve bazı cezai yaptırımlar uygulanmalıdır.

2. Toprak Örneklerinde Yapılması Zorunlu Tutulan Analizler

Bakanlık tarafından toprak desteklemeleri için örneklerde su ile doymuşluk, toprak reaksiyonu (pH), toplam tuz, kireç, elverişli P, elverişli K ve organik madde analizlerinin yapılması zorunlu kılınmıştır. Ancak tarım topraklarımızın verimlilik açısından fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri dikkate alındığında dengeli gübreleme için bu analizlerin yeterli olmadığı bilinmektedir. Çünkü topraklarımızda K, Mg ve hatta Ca genellikle yeterli ve fazla seviyede olmasına rağmen bitki çeşidi ve diğer toprak özellikleri yanında özellikle Ca/K, Ca/Mg ve Mg/K arasındaki dengelere bağlı olarak potasyumlu ve magnezyumlu özellikle de potasyumlu gübreleme yapılması önerilmektedir (Kopittke and Menzies, 2007; Yazgan ve Gezgin, 2018). Hatta meyve ve sebze yetiştiriciliğinde bazı durumlarda kalsiyumlu gübreleme yapılması bile önerilmektedir.

Bunun yanında mevcut zorunlu analizlere göre azotlu gübre önerisi toprağın organik madde içeriğine göre yapılmaktadır. Ülkemizde azotlu gübreleme ile yapılan çalışmaların çoğunda topraklarımızda yıllardır bilinçsiz gübrelemeye bağlı olarak inorganik azot (NH_4+NO_3) birikimi olduğu belirlenmiştir (Çekiç ve ark., 2008). Nitekim ülkemizin farklı bölge topraklarında bitkiye faydalı azot miktarının tayininde kullanılabilecek en uygun yöntemlerin belirlenmesi ile ilgili yapılan araştırma sonuçlarına göre Çukurova bölgesi (Kacar ve ark., 1973), Gediz ovası (Kacar ve Arat, 1973), Iğdır ovası (Sağlam ve ark., 1983), Konya-yöresi (Gökmen Yılmaz ve ark., 2021) topraklarında $\text{NO}_3\text{-N}$ 'u yönteminin en uygun olduğu bildirilmiştir. Nitekim İç Anadolu bölgesinde sulu şartlarda kaliteli yüksek verim elde edebilmek için buğday bitkisine Türkiye Gübreler ve Gübreleme rehberinde (2006) toprakların organik madde içeriklerine bağlı olarak 12 ile 16 kg/da arasında değişen miktarlarda saf azot uygulaması önerilirken, Gökmen Yılmaz ve ark., (2021)'i toprakların $\text{NO}_3\text{-N}$ 'u içeriğine bağlı olarak 0 ile 26 kg/da arasında değişen miktarlarda saf azot uygulaması yapılmasını önermişlerdir. Ayrıca ülkemizde yapılan çok sayıda araştırma sonuçlarına göre topraklarımızın genel özelliklerine bağlı olarak başta Fe ve Zn olmak üzere mikro elementlerin (Fe, Zn, Cu, Mn ve B) noksanlıkları, ayrıca başta B olmak üzere bazı yerlerde de fazlalıkları çok yaygın olup bitkisel üretimde verim ve kalite üzerinde belirleyici olmaktadır (Eyüpoğlu ve ark., 1995; Çakmak ve ark., 1999; Çakmak, 2002; Gezgin ve ark., 2002). Bu nedenlerle toprak analiz sonuçlarına göre etkin bir gübreleme programının oluşturulabilmesi için mevcut zorunlu analizlere inorganik azot (NH_4+NO_3), elverişli Ca, elverişli Mg ve iz elementler (Fe, Zn, Cu, Mn ve B) eklenmeli yani zorunlu tutulmalıdır.

3. Bitki Analizleri

Verimlilik açısından dengeli ve etkin bir gübrelemenin yapılabilmesi için toprak analizleri yeterli olurken bazı durumlarda özellikle de meyve bahçelerinde 0-30 cm, 30-60 cm ve alınabilmesi durumunda 60-90 cm derinliklerinden alınan toprak örneklerinin analiz sonuçları yanında bitki yaprak veya meyve analizlerinin de yapılması gerekli olmaktadır. Bu nedenle toprak analizleri gibi bitki analizleri de desteklenmelerin yapılması gerekmektedir.

4. Laboratuvar Denetimleri

Toprak analizi yapan laboratuvarlarda denetimler artırılmalıdır. Analizlerin doğruluğu ve güvenilirliğinin tespiti için her yıl en az bir defa analiz sonucu belli olan referans toprak ve bitki örnekleri laboratuvarlarda yapılarak kontrol edilmeli ve Bakanlıkça oluşturulacak olan 1'den başlayarak uygunluk durumunun daha iyi olduğunu gösteren ve giderek artan 5'e kadar test numarası verilmelidir. İlk kontrolde testte düşük puan alan laboratuvarlar uyarılmasından sonra yeniden aynı testten geçirilmeli ve yine başarısız olanların elemanlarının bir yerde ücretli eğitim alması sağlanmalı, sonra aynı test yeniden yapılmalı ve yine başarısız olan laboratuvarların yetkileri alınarak kapatılmalıdır. Ayrıca laboratuvarların kullandığı cihazların her yıl kalibrasyonlarının yaptırılması sağlanmalıdır. Yanlış analiz ve gübre önerilerinden laboratuvarlar sorumlu tutulmalı ve bazı cezai

yaptırım uygulanmalıdır. Laboratuvar denetimlerinin yapılmasında Bakanlıkça laboratuvar denetleyicisi olarak görev yapabilmesi için uygulamalı eğitimlerin verilmesi ve eğitim sonucunda belge verilmelidir. Denetimleri bu belgeyi hak eden, meslek hayatında en az 5 yıl laboratuvarlarda görev yapmış teknik personel, özellikle Toprak Bölümü Mezunu Ziraat Mühendisleri yapmalıdır. Bu konuda Ziraat Fakültelerinin Toprak Bilimi ve Bitki Besleme bölümlerinden destek alınabilir. Ülkemizde çok sayıda toprak analiz laboratuvarı bulunmaktadır bu nedenle bölgesel referans laboratuvarlar oluşturulmalıdır. Ayrıca bütün laboratuvarlarda yapılan faaliyetler (toprak analiz sonuçlarının elde edilmesi için kullanılan sarf ve kimyasal malzemelerin cins ve miktarları, sonuçlara ve bitki çeşidine bağlı gübre önerileri ve hatta çiftçiler tarafından öneriye bağlı alınan kimyasal gübreler) online olarak laboratuvarlarca kullanılacak bir alt yapı ağına kaydedilmeli ve ilgili yetkililer tarafından bakılabilecek durumda ayarlanmalıdır

5. Tarımsal Laboratuvarlar Kurulu

Laboratuvarların denetimleri, laboratuvar açma-kapama veya diğer işlerle ilgili bütün tarafların (Bakanlık-TÜGEM-TAGEM, Ziraat Fakültesi-Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ziraat Odaları, Özel sektör) yer alacağı bir kurul oluşturulmalıdır. Bu kurul, üst kurul olarak Ankara'da kurulmalı ve alt kurullar bölgesel olarak oluşturulmalıdır.

6. Laboratuvarların Kapasitesi

Laboratuvarların donanım, eleman durumu ve günlük-aylık çalışma süresine göre analiz edebilecekleri maksimum örnek sayıları belirlenmelidir. Bu şekilde belirtilen sayı dışında analiz yapmadan rapor yazmalarının önüne geçilebilir. Ayrıca analizlerde kullanılan kimyasal kayıt defterine alınan malzemelerin fatura numaraları eklenmelidir. Böylece harcanan sarf ve kimyasal malzemelerin faturalarla karşılaştırılarak da yapılan analiz sayıları belirlenebilir.

7. Eğitim

Ülkemizde toprak analizlerine göre dengeli gübreleme programlarının yapılıp kimyasal gübrelerle uygulanan besin elementlerinin bitkilerce alım etkinliği artırılarak ve kayıplar azaltılarak, Avrupa Yeşil mutabakata uyum programı kapsamına hem kimyasal gübre tüketimimiz %20 oranında azaltılması hem de bitkisel üretimde verim ve kalitenin artırılması sağlanmalıdır. Bu amaçla Ziraat Fakültesi-Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümleri ders programlarında öğrencilerin toprak, bitki, su ve gübre analizlerini ve buna göre en azından ülkemizde en fazla yetiştirilen bitkiler için dengeli gübreleme programlarının oluşturulması, laboratuvar yönetimi konularında yeterli bilgileri alacak düzenlemeler yapılmalıdır. Laboratuvar elemanlarının her yıl toprak, bitki, su ve gübre analiz sonuçlarının yorumu ve gübre önerileri konusunda eğitime katılmaları zorunlu kılınmalıdır. Bu konuda Ziraat Fakültesi-Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümlerinden destek alınmalıdır. Ayrıca çiftçiler de toprak, bitki, su ve gübrelerden örneklerin alınması, muhafazası, taşınması ve bunların analizleri ile analize dayalı gübreleme konularında eğitilmeli, bölgesel laboratuvarlarda demonstrasyon çalışmaları yapılmalıdır.

8. Bilgi Paylaşım Ağı

Oluşturulacak alt yapı ağı ile Bakanlıkça görevlendirilen kişiler ile çiftçi, laboratuvar elemanı veya teknik diğer personeller arasında sürdürülebilir ve hızlı bilgi paylaşımı sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

- Çakmak, İ., Kalaycı, M., Ekiz, H., Brawn, H.J., Kılınc, Y., Yılmaz, A. 1999. Zinc Deficiency as a Practical Problem in Plant and Human Nutrition in Turkey: A Na To-Science for Stability Project Field Crops Research 60, 175-188.
- Çakmak, İ. 2002. Plant Nutrition Research: Priorities to Meet Human Needs for Food in Sustainable Ways. Plant and Soil 247: 3-24.
- Çekiç, C., Savaşlı, E., Önder, O., Dayıoğlu, R., Gökmen, F., Dursun, N., Gezgin, S. ve Kalaycı, H.M. 2008. Bitkilerin Azot Kullanma Etkinliğini Artırmada Mevsim İçi Azotlu Gübre Yönetiminin Önemi. 4. Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Kongresi, 8-10 Ekim 2008, Bildiri Kitabı, sf: 83-91, Konya.
- Eyüpoğlu, F., Kurucu, N., Talaz, S. 1995. Türkiye Topraklarının Bitkiye Yarayışlı Mikroelementler Bakımından Genel Durumu. Toprak Gübre Araştırma Ens. 620/A-002 Projesi Toplu Sonuç Raporu. Ankara.
- Gezgin, S., Karakaplan, S. 1994. Konya-Çumra Ovası Topraklarında Faydalı Azot Miktarının Tayininde Kullanılabilecek Yöntemler Üzerinde Bir Araştırma. TÜBİTAK, Türk. J. Agric. Forest.18(4):235-241.
- Gezgin, S., Dursun, N.; Hamurcu, M.; Harmanakaya, M.; Önder, M.; Sade, B.; Topal, A.; Soylu, S., Akgün, N., Yorgancılar, M., Ceyhan, E., Çiftçi, N., Acar, B., Gültekin, İ, Işık, Y., Şeker, C., Babaoglu, M. 2002. Determination of B Contents of Soils in Central Anatolian Cultivated Lands and Its Relations Between Soil and Water Characteristics. in Boran in Plant and Animal Nutrition; Goldbach, H.E., Brawn, P.H., Rerkasem, B., Thellier, M., Wimmer, M.A., Ben, R.W., Eds.; Kluwer Academic (Plenum Publishers:), 391-400. New York.
- Gezgin, S., Hamurcu, M. 2006. Bitki Beslemede Besin Elementleri Arasındaki Etkileşimin Önemi ve Bor ile Diğer Besin Elementleri Arasındaki Etkileşimler. Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 20 (39): 24.31.
- Gokmen Yılmaz, F., Korkmaz, A., Işık, Y., Sağlık, N. C., Akcay Kulluk, D., Kaya, Y., Gezgin, S. 2021. Determination Of The Nitrate Sufficiency Limit Value for Nitrogenous Fertilization Use İn Wheat Grown On a Calcareous Soils Through Application of Mitscherlich-Bray Equation. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 52(19), 2207-2216.
- Kacar, B., Çağatay, M., Arat, A., Günday, G. 1973. Çukurova Bölgesi Topraklarının Azot Durumu ve Bu Bölge Topraklarında Faydalanılabılır Azot Miktarının Tayininde Kullanılabilecek Metotlar Üzerinde Bir Araştırma. Azot Sanayii T.A.Ş Yayınları No:1, San Matbaası, Ankara.

- Kacar, B., Arat, A. 1973. Gediz Ovası Topraklarının Faydalanılabilir Azot Miktarının Tayininde Kullanılabilecek Metotlar Üzerinde Bir Araştırma. TÜBİTAK IV. Bilimsel Kongresi, Ankara.
- Kopittke M.P., Menzies, N.W. 2007. A Review of the use of the basic cation saturation ratio and the 'ideal' soil. SSSAJ 71: 259-265.
- Sağlam, M.K., Karakaplan, S., Sezen, Y., 1983. Iğdır Ovası Sulanan Topraklarında Faydalanılabilir Azot Miktarının Tayininde Kullanılabilecek Yöntemler Üzerinde Bir Araştırma. Doğa Türk Tarım ve Ormanlık Dergisi, 7:249-258.
- Yazgan, M. G., Gezgin, S. 2018. Magnezyum Uygulamalarının Şeker Pancarının Verim ve Kalitesine Etkileri. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.

DEĞİŞEN TARIMSAL ÜRETİM PARADİGMALARI BAĞLAMINDA SÜRDÜRÜLEBİLİR BİTKİ BESLEMENİN GELECEĞİ

Prof. Dr. Burçin ÇOKUYSAL¹

Ege Üniversitesi.Ziraat Fakültesi.
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü. izmir- TÜRKİYE
burcin.cokuysal@ege.edu.tr

Özet

İçine doğduğumuz doğa ve gıda temini için yapılan üretim, insan türünün yaşamının temelini oluşturan tarımsal üretim paradigmasının kilit unsurlarıdır. Yaşamın temelini oluşturan paradigmlar; bizlerin dünya görüşümüzü, dünya kavrayışımızı ve dünyayı anlayışımızı belirlerken dönemin tarımını tarımsal üretim modellerini de etkiler. Tarihsel süreçte, insanın üretim ve tüketim ilişkilerine bağlı olarak tarımsal üretim paradigmları da değişim göstermiştir. Yerleşik hayata geçene kadar süreçte “avcılık-toplayıcılık paradigması”, devam etmiş, yerleşik hayat ve tarımsal üretimin başlangıcı ile “geleneksel üretim paradigması” uzun bir zaman dilimi boyunca hakimiyetini sürdürmüştür. Bilim ve teknolojinin gelişimine bağlı olarak XVII. Yüzyılda “bilim devrimi”, XVIII. Yüzyılda “sanayi devrimi” gerçekleşirken tarımsal üretim paradigması da bu değişime uygun olarak “yoğun üretim paradigmasına” evrilmiştir. Yoğun üretim paradigmasının temel dayanaklarından biri olan endüstriyel üretim modelinde yoğun kimyasal gübre, ilaç ve girdi kullanımına bağlı olarak, ne kadar çok üretim yapılırsa verimin o derece yüksek olacağı düşüncesi ile doğal kaynaklar ve ekosistem geri dönüşsüz biçimde tahribata uğramıştır. Bu tahribat, bir kez daha üretim paradigmasının değişimi zorunlu hale getirmiş ve “sürdürülebilir üretim paradigmasına” geçilmiştir.

Tarımsal üretimde artan nüfusu beslemek için mono kültür, yoğun endüstriyel üretim ve aşırı gübreleme programları uygulanmaya devam ederken diğer taraftan doğal kaynakların hızla tüketilmesi, küçük üreticilerin gördüğü zarar, biyoçeşitlilik ve çevrenin korunması sorunlarına da çözümler üretilmeye çalışılmıştır. Çevresel kirliliğin, gıdalardaki yoğun kimyasalların tüm canlıların yaşamlarını tehdit eder boyutlara ulaştığının bilincine varılması, mevcut tarımsal üretim modelleri ile ortaya çıkan sorunların çözülemez bir hal alması ile tarımsal üretim paradigmasının bir kez daha değişimi zorunlu hale gelmiş ve bugünkü tarımsal üretim sistemine temel oluşturan “gıda sistemleri paradigmasına” geçilmiştir. Aynı zamanda bu durum mevcut bitki besleme tekniklerini de sorgulanır hale gelmiştir. Bu bağlamda bitki beslemenin gelecekte nasıl şekilleneceği, mevcut tarımsal üretim paradigmasının değişimi ve etik gereklilikleri ile şekillenecektir. Hazırlanan çalışmada, tarımsal üretimde, paradigma değişiminin gerekliliği; (a) sürdürülebilirlik ve ekolojik dengenin doğaya ait bir sorun değil, insana ait bir “adalet sorunu” olması, (b) ekosistemin bir üyesi olmak bakımından tüm canlıların “kendinde değeri” olması, (c) insan

¹ Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü.
E-posta: burcin.cokuysal@ege.edu.tr

türünün en önemli özelliğinin özgürce seçebilmesi oluşu nedeniyle yeni bir üretim ve bitki besleme yaklaşımı için “bakış açısını değiştirme” şansı olması üzerinden açıklanacaktır.

Değişen tarımsal üretim paradigması ile bitki besleme çalışmalarının da geleceği sürdürülebilirlik, adalet ve toplumsal sorumluluk gibi temel etik ilkeler üzerinde şekillenecektir.

Son yıllarda tarım ve gıda etiğini temel alan çalışmalarda sürdürülebilir bir toprak yönetim sistemi, entegre bitki besin maddesi yönetimi, arazi tahribatının engellenmesi, tarımda cinsiyet eşitliğinin rolünün felsefi ve etik platformlarda tartışmaya açıldığı görülmektedir. Toprak verimliliğinin ve bitki beslemenin sürdürülebilirliğinin sağlanmasında bilim ve teknoloji önemli kaynaklar olmakla birlikte felsefe ve etik olmaksızın bu tartışmaların en iyi ihtimalle önemli bir kısmı eksik olarak kalacaktır. Bugün yaşadığımız toprak, bitki besleme ve çevre sorunlarının bu eksiklik yüzünden olduğu söylenebilir.

Tarımsal üretimin geleceğinde bitki besleme, vazgeçilmez bir şekilde merkezde yer alacağı açıktır. Merkezi konumda olmasının nedeni sürdürülebilir tarım uygulamalarının zeminini oluşturacak en önemli bileşenlerden birinin bitki besleme olması nedeniyledir.

Çok uzak olmayan bir gelecekte, bitki beslemenin geleceği; bitki besleme teknolojilerinin daha hassas ve verimli hale gelmesi, sürdürülebilir tarımsal uygulamalar için sürdürülebilir bitki besleme uygulamalarının tasarlanması, bitki beslemede yenilikçi yaklaşımların ortaya çıkması, çevre dostu uygulamaların değerlendirilmesi, dijital tarım teknolojilerinin bitki besleme uygulamaları, iklim değişikliğinin bitki besleme üzerine yaptığı baskı, bitki beslemenin toplumsal sorumluluk ve adalet üzerindeki etkisi, eğitim ve bilinçlendirme çalışmalarında beklenen yenilikleri üzerinden şekillenecektir. Hazırlanan çalışmada öne sürülen bu öngörüler, teknolojik gelişmeler, çevresel sürdürülebilirlik, gıda adaleti ve toplumsal sorumluluklar olarak etik ve değişen bitki besleme uygulamaları gibi pratik faktörler dikkate alınarak açıklanacaktır. Görünen odur ki yakın gelecekte sürdürülebilirlik ve etik değerler bitki beslemede yeni yaklaşımlara önemli bir zemin hazırlayacaktır. “Bitki beslemenin geleceği nasıl olmalı?” sorusuna verilecek yanıt aynı zamanda nasıl bir tarımsal üretim tarzının ve gıda sisteminin tercih edildiğinin de göstergesi olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Bitki Besleme, Gelecek öngörüsü, Tarımsal paradigmalar, Sürdürülebilirlik

THE FUTURE OF PLANT NUTRITION: IMPLICATIONS FOR AGRICULTURAL PRODUCTION PARADIGMS

Abstract

The production of food for human sustenance is a cornerstone of the agricultural production paradigm that forms the basis of human life. Paradigms that shape life determine our worldview, understanding of the world, and our comprehension of agriculture and

agricultural production models. Throughout history, agricultural production paradigms have evolved in tandem with human production and consumption relationships. From the era of the "hunter-gatherer paradigm" until the transition to settled life, the "traditional production paradigm" prevailed over an extended period. Aligned with the developments in science and technology, the agricultural production paradigm transitioned to the "intensive production paradigm" in the seventeenth century with the advent of the scientific revolution, followed by the "industrial revolution" in the eighteenth century. The industrial production model, one of the foundational pillars of the intensive production paradigm, led to irreversible damage to natural resources and ecosystems due to intensive chemical fertilizer, pesticide, and input use, driven by the belief that higher production yields corresponded to higher efficiency. This environmental degradation compelled a shift to the "sustainable production paradigm."

While monoculture, intensive industrial production, and excessive fertilization programs persist to feed the increasing population in agricultural production, attempts have been made to address issues such as rapid depletion of natural resources, harm suffered by small-scale producers, biodiversity, and environmental conservation. Awareness of the extent to which environmental pollution and the intensive use of chemicals in food threaten all living beings has necessitated yet another change in the production paradigm, leading to the current "food systems paradigm." Simultaneously, this situation has raised questions about existing plant nutrition techniques. The future of plant nutrition will be shaped by the change in the agricultural production paradigm and ethical requirements. This study discusses the necessity of a paradigm shift in agricultural production through the lenses of:

Sustainability and ecological balance as an "issue of justice" intrinsic to humans. This emphasizes the responsibility humans have to protect the environment and ensure sustainable agricultural practices. The "inherent value" of all living beings as members of the ecosystem. This recognizes that all living organisms have intrinsic value and should be treated with respect. The opportunity for a new production and plant nutrition approach due to the human species' ability to choose freely. This highlights humanity's ability to make conscious choices about agricultural practices and plant nutrition strategies. With the changing agricultural production paradigm, the future of plant nutrition studies will be grounded in fundamental ethical principles such as sustainability, justice, and social responsibility. Recent studies focusing on agricultural and food ethics have initiated discussions on a sustainable soil management system, integrated plant nutrient management, prevention of land degradation, and the philosophical and ethical role of gender equality in agriculture. Science and technology play significant roles in ensuring soil fertility and sustainable plant nutrition, but without philosophy and ethics, these discussions will remain incomplete. The current soil, plant nutrition, and environmental problems we face today can be attributed to this deficiency. In the future of agricultural production, plant nutrition will undoubtedly play a central role. Its centrality stems from being one of the most critical components laying the foundation for sustainable agricultural practices. In the not-too-distant future, the future of plant nutrition will be shaped by: More precise and efficient plant nutrition technologies. These technologies will allow for more targeted and efficient nutrient delivery to plants, reducing waste and improving nutrient

uptake. The design of sustainable plant nutrition practices for sustainable agricultural applications. This will involve developing practices that are environmentally friendly and promote long-term soil health. The emergence of innovative approaches to plant nutrition. This includes exploring new sources of nutrients, such as biofertilizers and organic amendments. Evaluation of environmentally friendly practices. This involves assessing the environmental impact of different plant nutrition practices and selecting those that are most sustainable. Digital agricultural technologies in plant nutrition applications. This includes using sensors and data analytics to optimize nutrient management and plant growth. The pressure of climate change on plant nutrition. Climate change is expected to alter nutrient availability and plant nutrient requirements, necessitating new plant nutrition strategies. The impact of plant nutrition on social responsibility and justice. Plant nutrition practices should consider their impact on small-scale producers, food security, and social equity. Anticipated innovations in education and awareness campaigns. These innovations will play a crucial role in promoting sustainable plant nutrition practices and educating farmers and consumers about the importance of plant nutrition. These predictions, presented in this study, will be explained, considering practical factors such as technological developments, environmental sustainability, food justice, and social responsibilities as well as ethical considerations and evolving plant nutrition practices. It is evident that in the near future, sustainability and ethical values will lay a significant foundation for new approaches to plant nutrition. The answer to the question, "What should be the future of plant nutrition?" will simultaneously indicate the preferred agricultural production style and food system.

Keywords: Plant nutrition, Future foresight, Agricultural paradigms, Sustainability

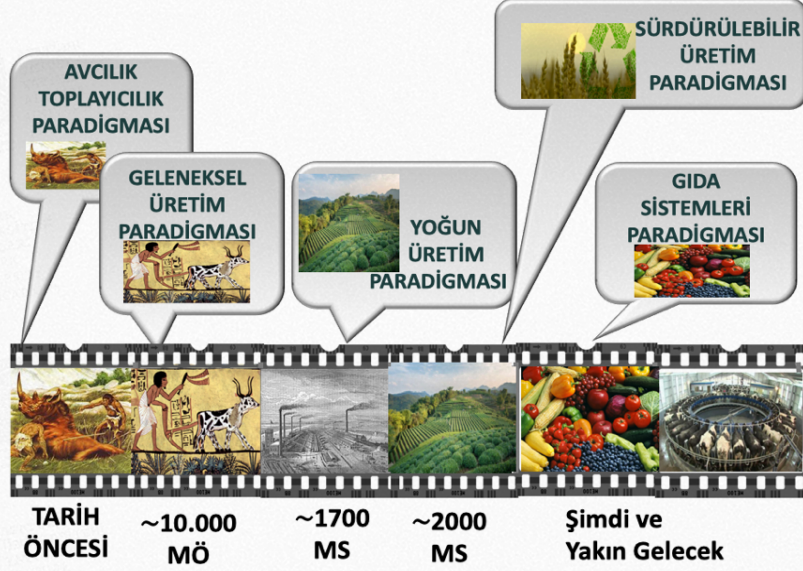
Paradigma Kavramı ve Değişen Tarımsal Üretim Paradigmaları

Paradigma kavramı literatürde ilk kez, bilim insanı Thomas Samuel Kuhn (1922-1996) tarafından 1962 yılında yazılan "*The Structure of Scientific Revolutions*" ve dilimize "*Bilimsel Devrimlerin Yapısı*" adlı eserinde kullanılmıştır. Kuhn'a göre paradigma kavramı "*bir bilim çerçevesinde, belli bir süre içerisinde bir model sağlayan yani örnek sorular ve çözümler temin eden, evrensel olarak kabul edilmiş bilimsel başarılar*" (Kuhn,2008) olarak tanımlanmıştır. Dolayısıyla paradigma kavramı en genel anlamıyla, bir nesneye bakışımızı, onu anlamlandırmamızı belirleyen farklı bil türlerinden kaynaklanan bir kabuller bütünü olarak ifade edilebilir.

İnsan zorunlu olarak doğanın içine doğar. Yaşamsal faaliyetlerinin devamı için de gıda üretimini yaşadığı dönemin tarımsal üretim paradigması içinde gerçekleştirir. Zaman içinde değişim gösterse de paradigmlar; bizlerin dünya görüşümüzü, dünya kavrayışımızı ve dönemin tarımsal üretim modelini de etkiler. Tarihsel süreçte insanın üretim ve tüketim ilişkilerine bağlı olarak gözlenen etik sorun alanlarına dair planlı ve eşgüdüm içerisinde çözüm önerileri yetersiz kaldığında, dönemin paradigma değişimi de zorunlu hale geldiğinde buna bağlı olarak dünya görüşümüz ve kavrayışımız da değişir (Şekil-1). Tarımsal üretimin çok paydaşlı ve çok katmanlı yapısı yanında, karmaşık ekolojik ağlar içerisinde hem üretici hem de tüketici olan insan türünün üretim ve beslenme davranışları

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

nedeniyle ortaya çıkan etik sorun alanları tarımsal üretim paradigmasının da değişiminde önemli bir etkidir.



Şekil 1. Zaman içinde değişen tarımsal üretim paradigmaları (Çokuyusal, 2022).

Teknolojinin gelişimi, doğal kaynakların sürdürülebilirliğinin tartışılması, çevresel etkilere uyum çabası da tarımsal üretim paradigmasının değişiminde rol oynayan faktörler arasındadır (McKenzie ve Williams, 2015; Çokuyusal, 2016).

İnsanın doğa ile kurduğu ilişki açısından değerlendirildiğinde; antik dönemde doğayı tanıma ve anlama çabaları ile başlayan tarım ve gıda sistemi, orta çağda doğanın izin verdiği ölçüde ve doğaya saygılı üretim biçimine evrilmiş, yakın çağda doğaya hükmetme düşüncesi ile sürmüş ancak doğanın geri dönüşsüz tahribatı ile günümüzde ise doğayla ortak yaşam düşüncesi ile sürdürülmektedir.

Tarımsal üretim sistemleri açısından değerlendirildiğinde; yaklaşık 10.000-12.000 yıl öncesine kadar avcı toplayıcı yaşam biçimine sahip olan insan türü tamamen doğaya bağlı bir yaşam sürmüştür. Avcı toplayıcı toplulukların yaşadıkları yerin iklim, bitki örtüsü, arazi yapısı ve av hayvanı çeşitliliği ile sınırlı olduğundan, beslenme ihtiyaçları çevre taşıma kapasitesine bağlı olarak karşılanmıştır. Çevre taşıma kapasitesinin aşılması, yer değişimini zorunlu hale getirirken, yaşlı ve çocukların grubun hareket kabiliyetini sınırlaması, artan nüfusun beslenmesi için daha çok gıda ihtiyacı da mevcut üretim paradigmasını değiştirmeye zorlar. Yerleşik hayata geçene kadar olan süreçte “avcılık toplayıcılık paradigması” hâkim olurken, yerleşik hayat ve tarımsal üretimin başlangıcı ile “geleneksel tarımsal üretim paradigması”na geçildiği gözlenmiştir. Avcılık ve toplayıcılıktan yerleşik yaşama geçişle başlayan geleneksel üretim paradigmasında ıslah, evcilleştirme ve bitkilerin beslenmesi önem ve gerekliliğinin fark edilmesi önemli bir aşama olarak kabul edilebilir. Zaman içinde değişim gösteren tarımsal üretim paradigmasının dünyanın her yerinde ayna ayda değişim gösterdiğini söylemek mümkün değildir. Dünyanın değişik bölgelerinde farklı üretim paradigmasının hatta farklı dönemlerde benzer üretim paradigmasının hâkim olduğu söylenebilir (Resim-1).



Resim 1. MÖ XII yy Mısırlı üretici ve MS XX yy Hintli üretici

Resimde MÖ XII yüzyıla Mısır'da mezar odasında bulunan ve iki öküzle çekilen pullukla yapılan tarımsal üretim ile XX yüzyılda yapılan tarımsal üretim neredeyse aynı görünmektedir. Aslında onca bilimsel ve teknolojik gelişmeye rağmen dünyanın her yerinde eş zamanlı olarak değişmemesi, paradigma değişimlerinin sadece bilim ve teknolojinin gelişmesi ile değil, siyasi, ekonomik ve etik bakış açısıyla açıklanması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bitkilerin ıslahı ve hayvanların evcilleştirilmesinin yanında bitkilerin beslenmesi ve gübreleme yöntemlerini konusundaki gelişmelerle başlayan süreç, XVII. Yüzyıldaki "bilim devrimi", XVIII. Yüzyıldaki sanayi ile devrimi ile geleneksel üretim paradigmasından 1980'li yıllara kadar devam edecek olan "yoğun tarımsal üretim paradigmasına" geçilmiştir. Bu dönem; emek, toprak, gübre, zaman, tohum, yem ya da nakit gibi girdi birimi başına tarımsal üretimdeki artış olarak tanımlanmıştır (FAO, 2004). Tarımsal üretimin endüstrileştiği bu paradigma döneminde, kâr odaklı, ölçek ekonomilerine dayanan ve yoğun girdi kullanan bir üretim sisteminde düşük maliyet ve yüksek verim elde etmek için yoğun kimyasal gübrelerin kullanıldığı dikkat çekmektedir. Bu paradigma döneminde beklenen şekilde ürün ve gıda üretimi açısından önemli çözümler üretilmiştir. Ancak tarımsal üretimde gözlenen başarılarla bağlı olarak ortaya çıkan üretim fazlası ile dünya nüfusu dört kat artış göstermiş, artan gıda ihtiyacı için ise daha yoğun girdi kullanımını gerektirmiştir. Örneğin 1950-2000 yılları arasında fosil yakıt kullanım miktarı dört kat artarken kimyasal gübre kullanımı on kat, pestisit kullanımı ise otuz iki kat artmıştır. Monokültür üretim, aşırı gübre ve ilaç kullanımının yanında sınırsız olduğu düşünülen doğal kaynakların hızla tüketilmesi, biyoçeşitliliğin ve yerel çeşitlerin kaybı, gıdalardaki yoğun kimyasalların tüm canlıların yaşamını tehdit eder boyutlara ulaşması çözülemez boyutlara ulaşmıştır. Bu tahribat, bir kez daha tarımsal üretim paradigmasının değişimini zorunlu hale getirerek "sürdürülebilir üretim paradigmasına" geçilmiştir.

Birleşmiş Milletler Brundtland Komisyonu sürdürülebilirliği "bugünün ihtiyaçlarını, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama kabiliyetinden ödün vermeden karşılamak" olarak tanımlamıştır. Bugün dünyada sürdürülebilir kalkınmanın yollarını arayan ülkelerin, iklim krizinin tehdidi ile tarımsal üretimi de sürdürülebilir kılmak için ciddi bir çaba harcaması gerekmektedir. Brundtland Raporu, 1983 yılında o dönemde Norveç Başbakanı olan Gro Harlem Brundtland başkanlığında, Birleşmiş Milletler çerçevesinde kurulan Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından (WCED) sadece

kalkınma uğruna çevreden özveride bulunulması yönündeki kaygı temel alınarak hazırlanmış, insan-doğa-kalkınma arasındaki bağın anlaşılması sağlamak amacıyla "Ortak Geleceğimiz (Our Common Future)" ismiyle 1987 yılında yayınlanmıştır (Aksu, 2011).

Uygulanan gübreleme programlarına bağlı olarak çevrenin sürdürülebilirliği sağlanırken verimin korunması, küresel tohum, gübre ve ilaç şirketlerinin yönetimindeki endüstriyel üretim sisteminin yarattığı çevresel kirlilik, gıda güvenliği riskleri, tarımsal emeğin sömürülmesi ve kırsal toplumsal yapının bozulması gibi tarım ve gıda etiği açısından tartışılan önemli sorun alanları yaratması yakın gelecekte üretimin sürdürülebilirliğinin yanında sağlıklı gıda üretimi ve üretilen gıdaların adil paylaşımının ön plana çıktığı bugünün ve yakın geleceğin "gıda sistemleri paradigmasına" geçilmiş olduğu gözlenmektedir. Bu değişim aynı zamanda mevcut bitki besleme tekniklerinin de sorgulanır hale getirmiştir. Bu bağlamda bitki beslemenin geleceği sürdürülebilirlik, adalet, sağlıklı beslenme ve toplumsal sorumluluk üzerinden şekilleneceği öngörülmektedir.

Bitki Besleme ve Gübreleme Tekniklerinin Temel İlke ve Varsayımları Üzerinde Yeniden Düşünmenin Etik ve Pratik Gerekliği

Bitkilerin ihtiyaç duyduğu besin elementlerini topraktan ya da farklı kaynaklardan temin ederek büyüme ve gelişmesi tarımsal üretimin temelini oluştururken aynı zamanda gıda güvenliği ve gıda güvenliğinin de sağlanmasının, verimliliğin artırılmasının, sürdürülebilirliğin sağlanmasının zeminini oluşturmaktadır.

Değişen tarımsal üretim paradigmalarına bağlı olarak bitki besleme ve gübreleme tekniklerinin de zaman içinde değişim gösterdiğini görüyoruz. Başlangıçta bitkilerin büyüme ve gelişmeleri için ihtiyaç duyduğu maddeler, ihtiyaç duyduğu şekliyle alındığı düşüncesi zaman içinde mutlak gerekli bitki besin elementlerinin tanımlanmalarıyla birlikte farklı bir boyut kazanmıştır. Ancak moleküler tekniklerin gelişmesi multidisipliner çalışmalar sürdürülebilir tarım ve sağlıklı gıda üretimi açısından bitki besin elementlerinin ne ya da neler olabileceğini yeniden sorgulanır hale getirmiştir.

Son yıllarda tarım ve gıda etiğini temel alan çalışmalarda sürdürülebilir bir toprak yönetim sistemi, bütünleşmiş bitki besin maddesi yönetimi, arazi tahribatının engellenmesi, tarımda cinsiyet eşitliğinin rolünün felsefi ve etik platformlarda tartışmaya açıldığı görülmektedir. Toprak verimliliğinin ve bitki beslemenin sürdürülebilirliğinin sağlanmasında bilim ve teknoloji önemli kaynaklar olmakla birlikte felsefe ve etik olmaksızın bu tartışmaların en iyi ihtimalle önemli bir kısmı eksik olarak kalacaktır. Bugün yaşadığımız toprak, bitki besleme ve çevre sorunlarının bu eksiklik yüzünden olduğu söylenebilir.

Değişen tarımsal üretim paradigması ile bitki besleme çalışmalarının da geleceği sürdürülebilirlik, adalet ve toplumsal sorumluluk gibi temel etik ilkeler üzerinde şekillenecektir. Tarımsal üretimin geleceğinde bitki besleme, vazgeçilmez bir şekilde merkezde yer alacağı açıktır. Merkezi konumda olmasının nedeni sürdürülebilir tarım uygulamalarının zeminini oluşturacak en önemli bileşenlerden birinin doğru ve sürdürülebilir bitki besleme uygulamaları olmasıdır. Sürdürülebilir bitki besleme teknikleri, tarımsal üretimde doğrudan sosyal, ekonomik ve çevresel adaleti tesis etmede de önemli

bir rol oynamaktadır. Sürdürülebilir bitki besleme uygulamalarının sosyal, ekonomik ve çevresel boyutları Şekil-2’de verilmiştir.



Şekil 2. Sürdürülebilir bitki besleme uygulamalarının sosyal, ekonomik ve çevresel boyutları

Kimyasal gübrelerin kullanımının verim üzerine etkisinin yanında çevresel etkilerini ve insan sağlığı üzerine olası olumsuz etkileri düşünüldüğünde sürdürülebilirlik açısından yeni bitki besleme preparatları ve gübreleme yöntemlerinin geliştirilmesi kaçınılmaz görünmektedir.

Sürdürülebilir bitki besleme uygulamalarının sosyal, ekonomik ve çevresel boyutlarının ortaya konması gıda olarak tükettiğimiz tarımsal ürünlerin insan ve hayvan sağlığı açısından tehlike yaratmayacak nitelikte olmasının da teminatıdır. Bu noktada sorulması gereken soru, “gübreleme programları uygulamadan tarımsal üretim yapabilir miyiz?” olmalıdır.

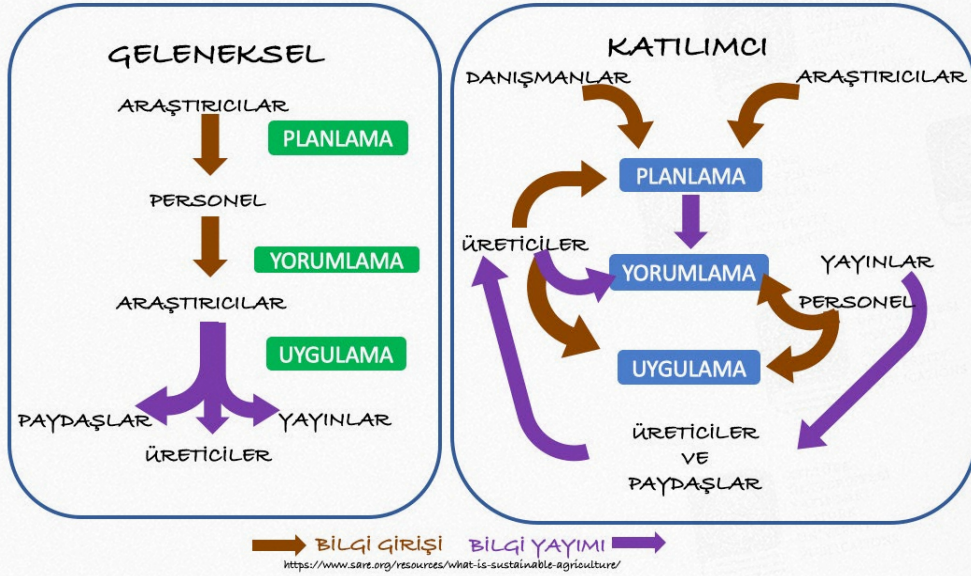
İlk kez 1800’lü yıllarda İngiltere Rothamsted’de (Rothamsted Research, 2012), ardından Almanya’da Julius Khün üretim alanında (Merbach ve Deubel, 2007), ve Danimarka’da Askov Araştırma İstasyonundakilerle (Christensen ve ark., 2008) başlayan çok yıllık gübreleme denemeleri, İngiltere’de 11, Danimarka’da 3, Fransa’da 2, Almanya’da 2, Ukrayna’da 2 ve Amerika’da 5 olmak üzere toplam 25 deneme 100 yıldan fazla sürdürülmüştür (Debreczeni ve Körschens, 2010). Ardından yapılan çok yıllık gübre denemelerinde de elde edilen sonuçlar, alınan ürünün %50’den fazlası ilave edilen gübreleme uygulamalarının etkisi ile gerçekleştiği bilimsel olarak kabul edilmiştir. Yapılan denemeler tarımsal üretimde sürdürülebilirliği ve çevresel etkileri iyileştirmek temel hedefi ile gübreleme uygulamalarının vazgeçilmez olduğunu da göstermektedir. Bununla birlikte gübre üretim teknolojileri ile hızlanan küresel iklim değişikliği, uzak mesafelere yapılan nakliye nedeniyle kullanılan fosil yakıtlar yanında çevre kirliliği nedeniyle hem çevrenin hem de tarımın sürdürülebilir şekilde devam edebilmesi için gübreleme ve bitki besleme tekniklerinin temel ilke ve varsayımlarının yeniden değerlendirilmesi zorunlu hale getirmiştir. Esas itibarıyla doğa, özel olarak da sürdürülebilir tarımsal üretim olmadan insanlığın yaşamının devam edemeyeceğini fark eden düşünürler, gübreleme programlarının hazırlanmasında tarım ve gıda etiğini temel alan yaklaşımları

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

benimsedikleri izlenmektedir. Dolayısıyla sürdürülebilirlik ve ekolojik dengenin korunması doğaya ait bir sorun değil insanın yaptığı uygulamalara bağlı olarak ortaya çıkan bir adalet sorunu olarak kabul edilmelidir. Bitki besleme ve gübrelemenin geleceğini oluşturacak nitelikteki teknikler açısından adalet sorunu kapsamında doğal kaynakların şimdi ve gelecek nesiller için korunmasına yönelik önlemler çevresel, ekonomik ve sosyal adalet kapsamında yeniden değerlendirilmelidir. Örneğin doğal kaynakların etkin kullanımı, tarım alanlarının tarım dışı kullanımlarının engellenmesi, aşırı gübre kullanımını azaltacak mikro doz uygulamaları, yavaş salınımlı preparatlar, organomineral gübreler, agroekolojik tarımsal yöntemler çevresel adalet kapsamında değerlendirilebilir. Ekonomik adalet kapsamında bu yeni tekniklerin küçük üreticiler tarafından da erişilebilir olması, bitki besleme uygulamalarını güçlendirecek mikro kredilerin sağlanması, araştırma geliştirme çalışmalarına yeterli bütçe ayrılması ve politik kaygılardan uzak olarak düzenlemelerin yapılması ve teknoloji içeren yeniliklerin tüm üreticiler açısından ekonomik olarak da erişilebilir olması sayılabilir. Sosyal adalet kapsamında düşük gelirli küçük üreticilerin desteklenmesi, uzaktan algılama tekniklerinin bitki beslemede kullanımı (Li ve ark., 2020), sürdürülebilirlik açısından önerilen nano gübreler (Jakhar ve ark., 2022), biyogübreler, biyopestisiler (Das ve ark., 2022), iklim değişikliğine direnç sağlayan genetik çalışma sonuç ve ürünlerine (Raza ve ark., 2023) erişim, bitki beslemede kullanılan teknolojik alet ve cihazlara sahiplik ve kullanım yeterliliği açısından yerel üreticilerle çok uluslu şirketler arasındaki ortaya çıkan güç dengesizliği, uydu verileri, sensörler ve otonom araçlarla üreticilerin tarımsal üretim alanlarından toprak verimliliğine dair toplanan verilerin sahipliği ve bu verilerin kullanımındaki eşitsizlikler sayılabilir.

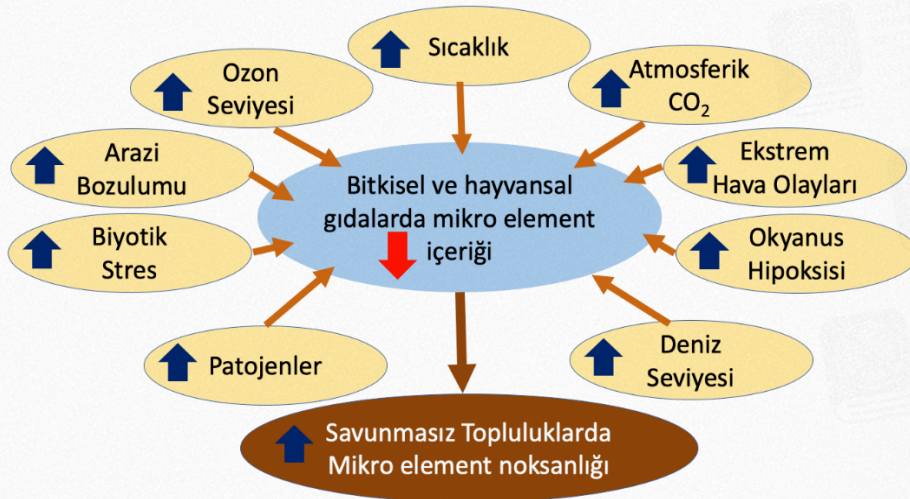
Sürdürülebilir bitki besleme ve gübreleme tekniklerinin bilimsel ve teknolojik olarak geliştirilmesinde bilginin oluşturulması ve transferinin de geleneksel yöntemlerle yeterli ve anlamlı olmayacağı göz ardı edilmemelidir. Geleneksel bitki besleme ve gübreleme tekniklerine ait olarak araştırmacılar tarafından elde edilen bilgiler, yine araştırmacılar tarafından yorumlanıp, test edildikten sonra üreticilere götürülen ve aktarılan bir veri olarak görülürken, katılımcı yöntemde bitki besleme tekniklerini uygulayan üreticiler, araştırmacılar ve danışmanlar bilginin üretilmesinin bir paydaşı olarak görüldüğü için üreticilerin ihtiyaçlarına uygun projelendirme mümkün olmaktadır (Şekil-3).

(www.sare.org)



Şekil 3. Sürdürülebilir bitki besleme uygulamalarında geleneksel ve katılımcı bilgi transferi

Geleneksel olarak kullanılan bitki besleme teknikleri ve gübreleme ilkeleri değişimini zorunlu kılan bir diğer önemli kriter de küresel iklim krizine bağlı olarak bitkilerin besin element içeriklerinin azalması besin zincirinin daha yukarılarındaki türleri doğrudan etkileyecek olmasıdır. Yapılan çalışmalar küresel iklim krizine bağlı olarak üretilen tarımsal ürünlerin, çiftlik hayvanlarının yem olarak tükettikleri bitkilerin ve doğada yetişen bitkilerin ve bu bitkilerle beslenen diğer türlerin de besin maddelerinde düşüş olduğunu göstermektedir (Soares ve ark., 2019; Heckathorn ve ark., 2020; Shahzad ve Rouached, 2022; Cho, 2022; Dance, 2023). İklim değişikliğinin mikro element eksiklikleri üzerine olan kavramsal model Şekil-4'te verilmiştir.

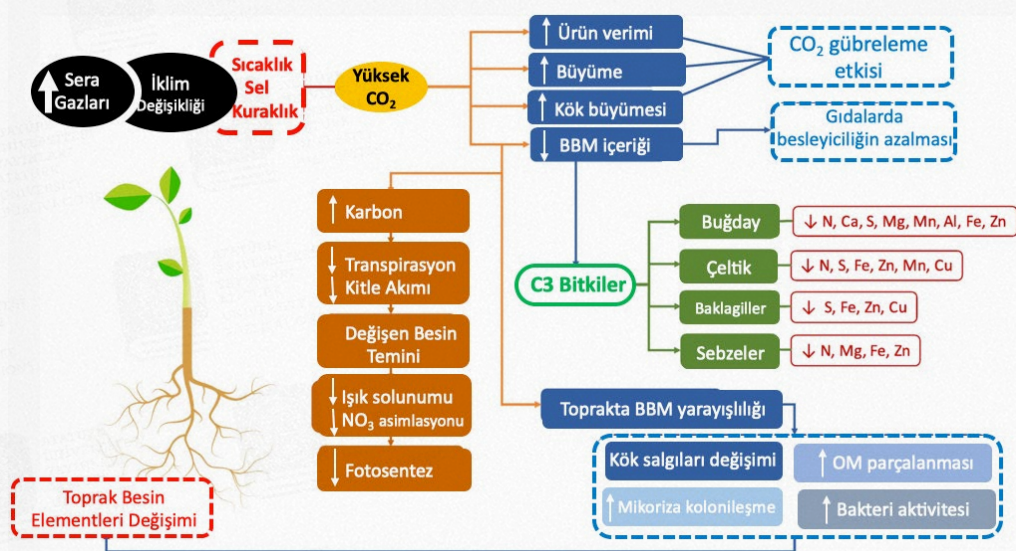


Şekil 4. İklim değişikliğinin mikro element eksiklikleri üzerine olan kavramsal modeli (Semba ve ark., 2022).

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

Besin element noksanlıkları bitkilerin büyüme ve gelişmelerini doğrudan etkilediği gibi bu bitkilerle beslenen özellikle düşük gelirli toplulukları küresel anlamda etkilemekte ve daha kırılgan hale getirmektedir. Gıdalardaki mikro besin element noksanlıklarının çocukların gelişimi ve hamilelik dönemlerindeki kadınlar üzerindeki olumsuz etkileri yaşamsal öneme sahiptir. Bailey ve arkadaşları (2015), global mikro besin element noksanlık epidemisi olarak adlandırdıkları bu durumdan dünya genelinde 2 milyon insanın etkileneceğini bildirmişlerdir. İnsanların yeterli gıda ihtiyacının karşılanması, mikro besin element noksanlıklarından korunma ihtiyacı artan nüfusla birlikte özellikle iklim değişikliğinin etkileri de düşünüldüğünde ciddi bir etik problem alanı olarak çözüm beklemektedir. Özellikle iklim değişikliğine bağlı olarak gözlenen afetler açısından düşünüldüğünde afetlere dirençli tarım ve gıda sistemlerinin geliştirilmesinde bitki besleme ve gübreleme tekniklerinin gelişen bilim ve teknolojinin ışığında yeniden değerlendirilmesini zorunlu hale getirmektedir.

Yapılan çalışmalar sadece mikro elementler değil, diğer besin elementlerinin de iklim değişikliğine bağlı olarak topraktaki yarıyışlılığı ve bitkideki konsantrasyonlarında azalmalar olduğunu göstermektedir (Şekil-5). Bu değişimler bitki besleme ve gübreleme stratejilerinde köklü değişimlerin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda iklim değişikliğinin bitki besin element içerikleri üzerine olan olumsuz etkilerine karşı mücadele stratejileri arasında toprak işlemsiz tarım, biyoçeşitliliğin artırılması, ürün rotasyonuna baklagillerin dahil edilmesinin yanında yeni gübreleme teknik ve preparatlarının kullanımı önerilmektedir. Uyum stratejileri arasından da gen transferleri ile dirençli çeşitlerin üretimi, bitki gelişimini teşvik eden mikrobiyal uygulamalar yanında besin element içeriği artırılmış yeni gübre preparatları ile gübreleme programları önerilmektedir.



Şekil 5. Artan sera gazı emisyonlarının yol açtığı iklim değişikliklerinin bitkilerdeki besin element konsantrasyonları ve topraktaki biyoyararlanımları üzerine etkileri (Soares ve ark., 2019).

Bitki besin elementleri, bitkilerdeki askorbik asit, karotenoidler, flavonoidler, steroller ve yağ asitleri gibi fitokimyasal biyosentezin temelini oluşturduğu için bitkilerin beslenme durumunun iyileştirilmesi iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılmasında önemli rol oynamakla birlikte insanların gıda diyetlerini de doğrudan etkileyecektir.

Moleküler tekniklerdeki gelişmeler, bitkilerde stres fizyolojisi ve bitki besleme alanında yapılan çalışmalarla birlikte kimya, biyoloji ve tarımsal araştırmalardaki mutidisipliner yaklaşımlara bağlı olarak geleneksel bitki besin maddesi tanımlamalarının bitki besleme için yeni bir vizyonu temsil etmediği görüşünü ön plana çıkarmıştır. Geleneksel bitki besin elementleri için “mutlak gereklilik” kavramının yeterli olmadığı bitkinin verimi, ürün kalitesi, kaynak kullanımı, stres toleransı, hastalık ve zararlılara karşı direnç açısından etkili olan elementleri de “faydalı elementler” kategorisinde değerlendirilmesinin dar tanımlı kriterleri genişletecektir (Brown ve ark.,2022). Bitki besin maddelerinin yeniden tanımlanması, insan ve hayvan beslenmesi için gerekli olduğu düşünülen besin maddeleriyle uyumlu hale getirilerek daha bütünsel bir yaklaşımla “tek beslenme” konseptine yönelmektedir. Küresel iklim değişikliğinin bitkisel üretim açısından stres faktörlerini arttıracığı açıktır. Besleyiciliği arttırılmış gıdaların üretimi için “bitki besin maddesinin” ne olduğunun modern bilim ve teknolojinin tarımsal uygulamalarına bağlı tanımlanması, gıda sistemini dönüştürecek ve sürdürülebilir kalkınmaya bütüncül bir bitkisel beslenme konsepti oluşturacaktır. Teknolojik gelişmelere bağlı olarak besin elementlerinin belirlenmesindeki hassasiyetin artması mutlak gerekliliğin biyolojik işlevlerle olduğundan daha çok teknolojik gelişmişlikle ilgili bir mesele olduğunu göstermektedir. Periyodik tablodaki elementlerin yarıdan fazlasının bitki dokularında mevcut olduğu ve analiz tekniklerinin geliştirilmesine bağlı olarak geri kalanlarının da olmasının muhtemel olduğunu bildirmiştir (Asher, 1991).

Burada belki de sorulması gereken en önemli sorular; bir elementin besin maddesi olarak kabul edilip edilmeyeceğine karar verecek olan bilimsel otorite kim olmalıdır? Hızla artan dünya nüfusunu besleyebilecek kadar üretimin yanında sosyoekonomik, çevresel ve sağlık hedeflerini de karşılayabilecek tarımsal ürünlerin besin element içeriklerinin ne olması gerektiği hangi bilimsel otorite tarafından güncellenmelidir?

Bitki besin maddelerinin yeniden tanımlanması yeni bitki besin elementlerinin araştırılmasına zemin hazırlarken yeni besin elementlerinin bitkisel verimliliği arttırmadaki işlevlerinin incelemesine olanak sağlayacaktır. Benzer şekilde gübre üretim endüstrisi yeni ürün geliştirme ve mevcut standart gübre formlarının değişimi ile yeni inovatif ürünlerin gelişimine yol açacaktır. Özellikle iklim değişikliğine bağlı stres faktörlerinin eliminasyonunda etkili besin elementlerinin araştırılması ürün kalitesi yanında tüm sistemin sürdürülebilirliğinin sağlanması üzerine “bütünsel bir bitki besleme” vizyonu oluşturulmasına yardımcı olacaktır.

Tarımsal Üretim Gelecek Projeksiyonundaki Bitki Beslemenin Geleceğine Dair Öngörüler

Yöntem

Tarımsal üretim ve ona bağlı olarak gelecek öngörülerini yapabilmek için eğer geleceği gösteren sihirli bir küreniz yoksa, bitki beslemenin gelecek projeksiyonları tarımın ve bitki beslemenin mevcut durumu, tarihsel süreçteki paradigma değişimlerinin neden ve sonuçları ile geleceğe dair beklentilerin etik ilkeler üzerinden yapılması projeksiyonların doğruluğu ve güvenilirliği açısından önemli ve gereklidir. Bu bağlamda gelecek projeksiyonu bitki besleme üzerine odaklanarak mevcut durum üzerinden kısa vadeli süreci içermektedir. Bu projeksiyonların hazırlanması amacıyla öncelikle mevcut literatür ışığında bilimsel ve teknolojik gelişmeler dikkate alınarak sorun alanları belirlenmiştir. Tarımsal üretimde belirlenen paradigma değişimlerinin etik temellerinin incelenmesi de gelecekteki olası eğilimleri öngörebilmek için bir referans noktası oluşturmuştur. Tarımsal üretimin çok paydaşlı ve çok katmanlı yapısı dikkate alındığında, mevcut değişkenler bitki besleme alanıyla sınırlı tutulmuş, böylelikle gelecekteki belirsizlik alanı daraltılmaya çalışılmıştır. Ayrıca yapılan gelecek öngörülerine dair olası etik sorun alanları da ortaya konmaya çalışılmıştır.

Gelecek Öngörülerinin Etik Temelleri

Tarımsal üretim ve sağlık gıda sistemlerinin gelecek projeksiyonlarında, bitki besleme; sürdürülebilirlik, adalet ve toplumsal sorumluluk açısından merkezi bir rol oynayacaktır. Sağlıklı gıda tarımsal üretim paradigmasının etik gerekliliği açısından göz önünde bulundurulması gereken ilk konu sürdürülebilirlik olarak görünmektedir. Sürdürülebilir bitki besleme uygulamaları, toprak ve su kirliliğini önleme, biyoçeşitliliğin devamını sağlama, geleneksel gübrelerin yanında yeni preparatların kullanımına bağlı olarak kimyasal gübrelerin kullanımının azaltılmasına odaklanır. Sürdürülebilirlik uygulamaları gelecek nesillere karşı sağlıklı bir çevre bırakma sorumluluğumuz yanında afetlere dirençli tarım ve gıda sistemlerinin oluşturulması ön koşulu olarak görülmelidir.

Dünya genelinde tarımsal üretime bağlı olarak gözlenen etik sorun alanları sürdürülebilir bitki besleme uygulamalarının adaleti sağlama konusundaki sorumluluğunu arttırmaktadır. Bitki besleme uygulamalarının ekosistem hizmetleri açısından daha adil şekilde yönetilmesi kırılabilir kesimlerin, küçük üreticilerin, üretimin sorumluluğunu üstlenen kadın ve çocuk haklarının korunması ve gıda dağılımındaki eşitsizliklerin giderilmesine yardımcı olacaktır.

Gelecek Öngörülerinin Pratik Temelleri

Bitki besleme teknolojilerinde öngörülen gelecek, tarımsal üretimi üretimde ve gıda sistemlerinde üreticiler, çevre ve üretilen gıdaları tüketen canlılar üzerinde olumlu ve sürdürülebilir etkiler yaratacaktır. Bu etkilerin pratik temellerini; üretimde verimlilik artışı, sürdürülebilir tarımsal uygulamalar, yenilikçi yaklaşımlar, çevre duyarlılığı, dijital tarım teknolojileri ve eğitim-bilinçlendirme çalışmaları oluşturacaktır.

Artan dünya nüfusunun beslemenin önemli bir beklentisi verimlilik artışı olmakla birlikte çevre duyarlılığı ile sağlıklı gıda ihtiyacı verimlilik beklentisi ile çelişkili bir durum yaratmaktadır. Bitki besleme teknolojileri ile daha hassas ve duyarlı uygulamaların gıda artışı sağlaması beklenmektedir. Bitki besleme teknikleri sürdürülebilir tarımın ayrılmaz bir parçasıdır. Maksimum verim yerine optimum verimin hedeflenmesiyle yapılan gübre uygulamaları, daha az kimyasal kullanımı yanında verimli su kullanımı sürdürülebilir tarımın hedeflerine ulaşmada önemli bir etkidir. Nano teknolojik gübreler, yavaş salınımlı ve kaplamalı gübreler, üretimi yapılan bitkiye özel üretilecek preparatlar, iklim değişikliğine bağlı olarak bitkilerin besleyici özelliklerini güçlendiren preparatlar, organomineral gübreler, biyostimulantlar bitki beslemede yenilikçi yaklaşımlar olarak ifade edilebilir.

Sürdürülebilir Bitki Beslemeye Dair Gelecek Öngörülleri

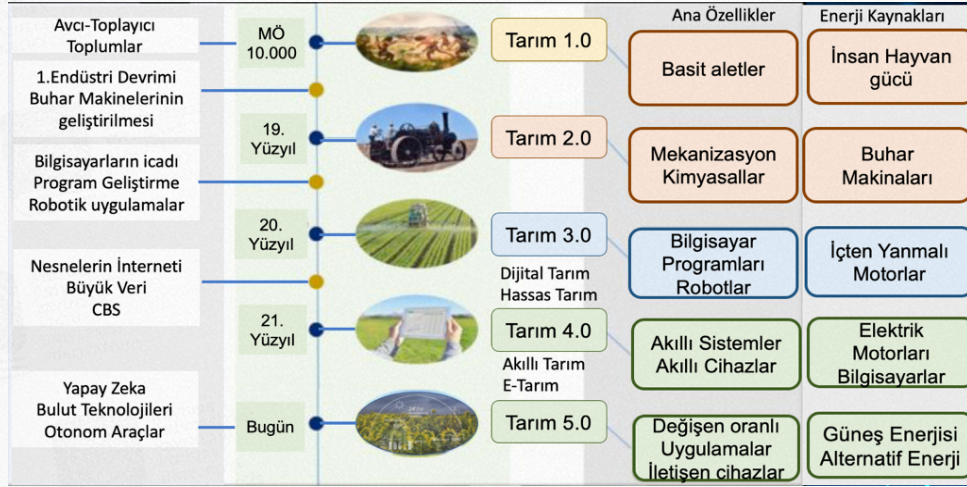
Tarımsal üretimin geleceğine dair öngörüllerde bitki besleme geçmiş tarımsal üretim paradigmasında olduğu gibi merkezi bir rol oynaması kaçınılmaz görünmekle birlikte sürdürülebilir bitki besleme uygulamaları sürdürülebilir tarımın temel bileşeni olacağı öngörülmektedir. Sürdürülebilir bitki beslemeye dair gelecek öngörülleri tarımsal üretimde verimlilik artışı, sürdürülebilir tarımsal uygulamalar, bitki beslemede yenilikçi yaklaşımlar, bitki besleme uygulamalarının çevre duyarlılığı, bitki besleme uygulamalarının dijital tarımdaki yeri, bitki besleme uygulamalarının toplumsal sorumluluk ve adalet üzerindeki etkileri ile son olarak eğitim ve bilinçlendirme çalışmaları açısından bitki besleme üzerinden değerlendirilecektir.

Dijital Tarım Sistemleri ve Blok Zincir Kullanımı (Blockchain)

Tarımsal üretim ve gıda sistemleri açısından, hızla ilerleyen bilim ve iletişim teknolojileri, yapay zekâ uygulamaları, sensörler, otonom araçlar ve coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak akıllı tarım, tarım 5.0 hassas tarım olarak da adlandırılan dijital tarım sistemleri yaygınlaşma eğilimi göstermektedir. Zaman içinde değişen tarımsal üretim paradigmasına bağlı olarak dijital tarım sistemlerinin de değiştiğini görüyoruz. Kullanılan enerji kaynakları ve ana özelliklerine bağlı olarak tarımsal üretimin dijitalleşme süreci Şekil-6'da verilmiştir.

Akıllı tarım sistemleri ile toprak verimliliğine ait parametrelerin analizi ile etkin gübreleme programlarının hazırlanmasının yanında, iklim değişimlerine adapte olabilen dijital çiftlik yönetimiyle üreticilere ait verilerin toplanmakta, endüstriyel hayvan çiftliklerinde her hayvana ait verilerin analizi yapılmakta, üretim alanlarına ait verim haritalarının oluşturulmaktadır. Yerel hava tahmin sistemlerinden alınan verilere bağlı olarak çalışan sensörler, yapay zekâ ile üretilen gübreleme ve sulama programları, uydu verileri, otonom araçlarla ilaçlama-besin maddesi eksikliği-verim tahmini çalışmaları olumlu sonuçlar üretilmektedir (Çokuysal, 2023). Akıllı tarım sistemlerinin tarımsal üretime mobil uzman sistemler, tarımsal robotlar aracılığıyla öngörü analizleri yapılarak ve karar destek sistemleri kullanılarak dahil edilmektedir (Şekil-7).

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)



Şekil 6. Kullanılan enerji kaynağı ve ana özelliklerine zaman içinde tarımsal üretimin dijitalleşme süreci (Çokuysal, 2023)

Şekil incelendiğinde mobil uzman sistemler bitkilerin beslenme durumunu, besin elementi noksanlıklarının dijital olarak teşhisi, yabancı ot, hastalık ve zararlılarda tür teşhisi konularında kullanılmaktadır. Öngörü analizleri ile tahminlenen verime bağlı olarak ihtiyaç duyulan besin elementleri ve bu besin elementlerinin biyoyararlanımları belirlenebilmektedir. Karar destek sistemleri ile mikro klima özellikleri, bitkinin yetiştiriliş amacı ve ürünün satışa sunulacağı pazarın beklentilerine ve çevreye duyarlı olarak hazırlanan gübreleme programları, tarımsal robotlar ile insanlardan daha büyük hassasiyetle uygulanabilmektedir.

Bu teknoloji kullanımının yaygınlaşmasına bağlı olarak bitki besleme açısından gelecek beklentisi ümit verici niteliktedir. Özellikle büyük ölçekli endüstriyel üretim alanlarında birbiri ile iletişim kurabilen sensör bağlantıları ve yapay zekâ uygulamaları ile bitkilerin büyüme ve gelişmelerini takip etmek ve gelişme dönemlerine uygun olarak ve yeterli miktarda gübreleme programları hazırlayarak, tarımsal ürün yönetimini optimize etmek amacıyla kullanılmaktadır (Yin ve ark.,2021).



Şekil 7. Akıllı tarım sistemlerinin tarımsal üretimde ve bitki besleme uygulamalarında kullanım olanakları (Liu ve ark, (2021) temel alınarak hazırlanmıştır)

Dijital tarım teknolojileri tarımsal üretim alanlarını detaylı bir şekilde takip ederek toprak verimliliği ve bitki besleme açısından önemli veriler sağlarken yapay zekâ modelleri ise bitki ihtiyaçlarına göre gübreleme programlarını optimize ederek kimyasal gübre kullanımını minimize etmede önemli işleve sahip olacağı öngörülmektedir. Benzer şekilde veri analitiği ve IoT üretim alanlarında gerçek zamanlı bilgi akışına olanak sağladığından kimyasal gübre stratejilerinin daha hassas uygulanmasına ve optimizasyonuna olanak sağlarken, uygulamaları daha verimli hale getirerek maliyetleri azaltmaya yardımcı olur.

Yapay zekâ destekli akıllı tarım uygulamaları aynı zamanda üretim alanlarında yabancı ot kontrolü, hastalık ve zararlıların teşhisi ve bitki besin element noksanlıklarını hassasiyetle belirlemede tarımsal IoT², derin öğrenme³ ve yapay zekâ tabanlı teknolojileri kullanmaktadır (Machii, 2023).

Akıllı tarım sistemleri bitki besleme alanında önemli etkinliğe sahip olacak gibi görünse de beraberinde tarımda bu teknolojiye küçük ve orta işletmelerinin erişemeyecek olması, toplumun tüm kesimlerinin faydalanma şansının olmayacağı anlamında gelmektedir. Bu nedenle yaratabileceği toplumsal adaletsizlikler, büyük üreticilerle küçük üreticiler arasından gözlenebilecek güç asimetrisi, olası zararlardan adil bir şekilde korunma imkânı, diğer türlerin haklarının gözetilmesi gibi etik sorun alanlarını da gündeme getirmektedir. Ayrıca üreticilerden toplanan verilerin sahipliği, bu verilerin kötüye kullanım olasılığı ve bu verilerin el değişimiyle üreticilerin özerklik ve otonomisine ciddi zararlar

² IoT, Internet of Things (Nesnelerin interneti) Tarımsal üretimde kullanılan aletlerin ortak internet ağına bağlanarak birbirleri arasında veri transferi yapmasına olanak sağlayan teknoloji anlamında kullanılmıştır. Bu nesnelere üretim alanına veya traktörlere yerleştirilen farklı sensörler, gübre ve ilaç dağıtımında kullanılan dronlar, otonom araçlar ve diğer akıllı cihazlar olabilir.

³ Derin öğrenme, yapay zekâ uygulamalarının bir alt dalı olarak, insan benzeri öğrenme yeteneğine sahip modelleri oluşturmak amacıyla kullanılan makine öğrenim tekniği anlamında kullanılmıştır. Bu modeller tarımsal üretim alanlarında, meteoroloji istasyonlarından, ortak internet ağına bağlı araçlardan gelen büyük veriyle etkileşim içinde öğrenirler ve büyük veriyi karmaşık kalıplar ve ilişkiler üzerinden düzenleyerek analiz edebilirler.

verebileceği de göz önüne alınarak bu akıllı tarım sistemleri her yönü ile tartışmaya açılmasının gerekliliği önerilmektedir.

Blokzincir (Blockchain) teknolojisi diğer sektörlerde olduğu gibi tarımsal üretim sistemlerinde de ilgi görmüş ve kullanılmaya başlanmıştır. Yapılan çalışmalar blok zincir teknolojisinin kimyasal gübre üretimi ve uygulaması da dahil olmak üzere tarımsal üretimin farklı alanlarında kullanıldığını yakın gelecekte ise bu kullanıma olan ilginin artarak yaygınlaşacağını düşündürmektedir. Blok zincir teknolojisi, çok genel olarak, verilerin dijital ortamda belli bir sistemle şifrelenerek kaydedildiği veri kayı sistemi olarak tanımlanabilir. Bu veri kayı sisteminde veriler tarihe sırasına göre birbirlerine zincir şeklinde bağlanmış dokümanlar halinde saklanmaktadır. Blok zincir teknolojisini diğer kayıt sistemlerinden farklı kılan yönü ise merkezi olmayan bir kayıt sistemi oluşudur ki bu da toplanan verilerin merkezi bir otorite tarafından kontrol edilmediği anlamına gelmektedir. Kayıt sistemindeki veriler blok zincirine katılan kullanıcılar tarafından ortaklaşa yönetilmektedir. Bu kayıt sisteminin avantajları, blok zincirine eklenen tüm verilerin tüm kullanıcılar tarafından görülebiliyor olması bu verilerin şeffaflığını sağlarken hesap verilebilirliği de artırır. Blok zincirdeki verilerin şeffaflığı yanında veriler tüm kullanıcılar tarafından takip edilebildiği için izlenebilirliği sağlar. Böylelikle veri manipülasyonlarının ve veri sahtekarlığının önlenmesini sağlar. Verilerin bu özelliklerinin yanında değiştirilmesi veya silinmesi girişimlerine karşı korunmuş olması verilerin güvenliğini sağlar. Yapılan çalışmalar tarımsal uygulamalar açısından blok zincir teknolojisinin yakın gelecekte yaygınlaşma potansiyeli olduğunu, izlenebilirliği, tedarik zinciri yönetiminin ve kalite güvencesini geliştirme açısından önemli imkânlar sunduğunu göstermektedir (Wang ve ark., 2022; Singh, 2022; Ehsan ve ark., 2022). Blok zincir, büyük işletmelerin tedarik zincirindeki risklerin yönetilmesinde kullanımı da önerilmektedir (Fu ve Zhu, 2019).

Kimyasal gübre üretimi bağlamında, blok zinciri teknolojisi şeffaflık, izlenebilirlik ve kalite kontrol açısından potansiyel olarak faydalar sağlayabileceği öngörülmektedir. Blok zincirini üretim sürecine entegre ederek, hammadde tedarikinden kimyasal gübrelerin dağıtımına ve uygulanmasına kadar tüm tedarik zincirinin güvenli ve değişmez bir kaydı oluşturmak mümkün hale gelir. Bu da hesap verilebilirliği ve şeffaflığı artırarak kimyasal gübrelerin genel kalite güvencesine katkıda bulunabilir (Wan-Tao ve ark., 2020; Wang ve ark., 2022; Xiong ve ark., 2020; Singh, 2022; Ehsan ve ark., 2022; Yan ve ark., 2021). Blok zincirinin kimyasal gübre üretimi ve tarım sistemlerindeki potansiyel uygulamaları, çeşitli endüstrilerde izlenebilirlik, tedarik zinciri yönetimi ve kalite kontrolünü ele almak için blok zinciri teknolojisini kullanma eğilimiyle uyumludur. Blok zincirinin merkezi olmayan ve şeffaf yapısı, onu kimyasal gübreler de dahil olmak üzere tarımsal ürünlerin bütünlüğünü ve güvenliğini sağlamak için umut verici bir araç haline getirmektedir.

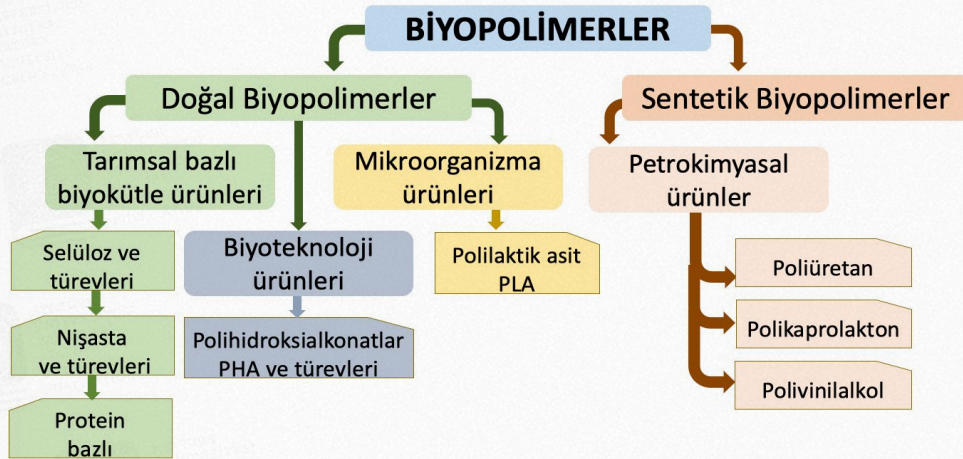
Akıllı Gübreleme/Akıllı Gübreler/Biyopolimerler

İçerdiği besin maddeleri polimer, reçine veya başka bir materyalle kaplanan, bitkilerin ihtiyaç duyduğu besin maddelerini ihtiyaç duyduğu dönemlerde, serbest bırakarak bitki besin maddelerinin kayıplarını engelleyen ve topraktaki azot kaybının azaltan etkinliğe sahip "akıllı" gübreler de bitki beslemenin gelecek öngörüsü içinde önemli bir yer tutmaktadır. Yavaş/kontrollü salınımlı gübreler olarak da adlandırılan

gübrelerde salınım; kimyasal bir maddenin çözünme, hidroliz bozulma gibi olaylarla bitkiler tarafından alınabilir besin madde serbest bırakarak alınabilir kılması olarak tarif edilebilir. Temel olarak bu gübrelerde kullanılan malzemeler; suda kontrollü çözünürlüğe sahip örneğin yarı geçirgen kaplamalar, protein materyaller, polimerler veya benzeri kimyasal formlar olup, düşük molekül ağırlıklı bileşiklerin su ile ayrışma özelliğine sahiptirler. Bu gübrelerin toprağa uygulanmasının ardından değişik mekanizmalarla ilk kullanımının gecikmesi veya daha uzun süreli kullanılabilirlik sağlayan gübrelerdir. Burada yavaş salınımlı gübreler ile kontrollü salınımlı gübreler arasında genel olarak yapılabilecek bir ayırım yavaş salınımlı gübrelerde, besin maddesi salınım modeli tamamen toprağa ve iklim koşullarına bağlı olarak gerçekleşirken salınım süresi çok net belirlenmez veya az çok kabaca tahminlenebilir. Kontrollü salınımlı gübrelerde salım şekli, salım miktarı ve süresi belirli sınırlar içerisinde tahminlenebilir. Kumar ve ark., (2020) polimer kaplamalı yavaş salınımlı gübrelerin kullanılması ile topraklarda yaratabileceği mikroplastik kirliliğine dikkat çekmiştir. Yavaş salınımlı gübrelerde kullanılan polimerler (örneğin polietilen, poliüretan) biyolojik olarak parçalanabilir olmadığında çevresel anlamda mikroplastik birikimine neden olması (Heuchan ve ark., 2019) bitki besleme çalışmalarında biyolojik olarak parçalanabilen gübre kaplamalarının geliştirilmesine yönelik ilginin giderek artmasına sebep olmuştur.

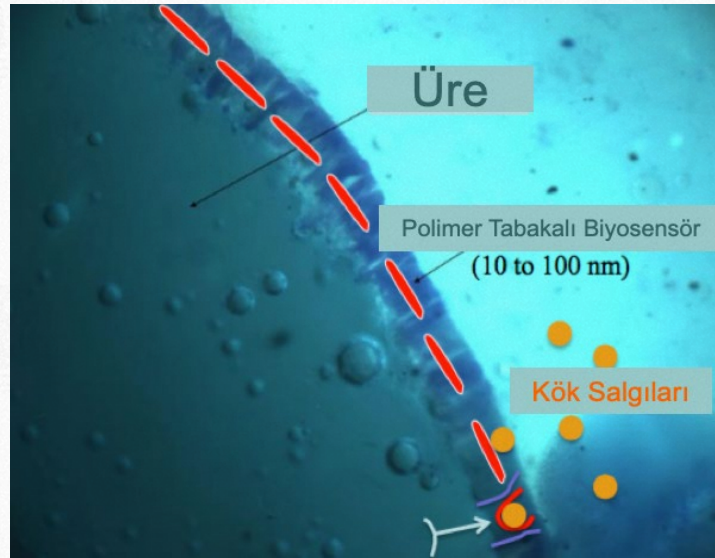
Biyopolimerler, polimerik biyomolekülleri oluşturan monomerik bileşenlerin kovalent olarak bağlanmış uzun zincirleri olarak tanımlanabilir. "Biyo" ön eki, polimerin biyolojik süreçlere bağlı olarak parçalanacağını gösterir. Bu nedenle biyopolimerler, sentetik, fosil bazlı polimerlere alternatif olarak görülürken, biyolojik olarak parçalanabilen bir malzeme olduğu için çevre koruma açısından da önemli bir avantaja sahiptir (Phiri ve ark., 2023). Sentetik polimerler ise biyolojik olarak parçalanmayan ve insanlar tarafından petrokimyasallardan üretilen bir malzemedir. Bilindiği gibi petrol kaynaklarının sınırlı oluşu aynı zamanda küresel anlamda çevre kirliliğine katkıda bulunması nedeniyle biyopolimerler bitki beslemede gelecek vaat eden bir çalışma alanı olarak görülmektedir.

Biyopolimerler (Şekil-8), biyolojik kaynaklarda elde edilen ve polimerik bir yapıya sahip olan bir malzeme olması nedeniyle bitki besleme uygulamalarında kullanışlı olarak görülmektedir. Böylelikle bitki beslenmesi temin edilirken bu bitkinin yetiştiği ortada, bu bitkileri tüketen canlılarda mikroplastik biriminin önüne geçilmesi hedeflenmiştir.



Şekil 8. Biyopolimerlerin sınıflandırılması (Phiri ve ark., 2023)

Biyopolimerler aynı zamanda tarımsal atıkları değerlendirilmenin ve biyoekonomi konseptini teşvik etmenin sürdürülebilir yolu olarak da görünmektedir. İncelenen çalışmalar biyopolimerler ve biyosensörlerin (Şekil-9) tarım sektörünün sürdürülebilirliği ve katma değerli ürünler elde etmek için gelecek vaat eden bir alan olduğunu göstermektedir (Patel ve ark., 2022). Örneğin yenilenebilir kaynaklardan biri olan ve kabuklu deniz ürünlerinin atıklarından elde edilen kitin ve türevleri, sentetik tarım kimyasallarına alternatif olarak biyo ürünlerin geliştirilmesi için önemli bir fırsat olarak değerlendirilmiştir (Giraldo ve ark., 2023).



Şekil 9. Polimer kaplamalı üre ve polimer tabakalı Biyosensör

Bitki Beslemede Nanoteknoloji Uygulamaları: Nanogübreler/Nanosensörler

Kimyasal gübrelerin üretimi ve kullanımında gelecek vaat eden bir araç olarak nanoteknoloji; özel kimyasal bileşimlere sahip nanogübrelerin geliştirilmesinde, bitki besin elementlerinin verimliliğinin artırılmasında ve kimyasal gübrelerin çevreye verdiği olumsuz etkilerin azaltılmasında kullanılmaktadır. Temel olarak girdi verimliliğini arttırmak ve bitki besin elementlerinin kayıplarını en aza indirmek açısından tarımsal üretimi iyileştirme potansiyeline sahiptir. Ayrıca nanoteknolojik gübreler besin elementlerinin yavaş salınımını kolaylaştırmanın yanında bu teknolojinin kullanımı ile toprak kalitesinin izlenmesi, bitkilerin hastalıklardan korunması ve bitki besin maddesi eksikliklerinin giderilmesine kadar uzanmaktadır (Prasad ve ark., 2017; Shang ve ark., 2019; Bahrololum ve ark., 2021). Nanoteknolojinin tarımsal üretimde ve özellikle kimyasal gübre üretim ve uygulanmasında kullanılması sürdürülebilir tarımsal kalkınma için yenilikçi stratejiler sunarak tarımsal üretimde devrim yaratma potansiyeline sahip olarak değerlendirilmektedir (Yaseen ve ark., 2020). Örneğin nano-biyokömür süspansiyonlarının geliştirilmesi verimi az olan topraklarda, ürün verimini, büyümesini ve gelişimini iyileştirmek için ideal bir seçim olarak tanımlanmıştır (Shani ve ark., 2023).

Nanoteknolojilerin kimyasal gübre üretimi ve kullanımına entegrasyonu tarımsal üretimde verimi arttırmak, stres faktörlerine toleransını arttırmak, çevre kirliliğini azaltmak için umut verici sonuçlar verecek niteliktedir. Nanogübrelerin, nanosensörlerin ve nanoyapılı malzemelerin geliştirilmesi tarımsal üretim ve bitki beslemedeki temel zorlukların aşılmasında ve sürdürülebilir tarım sistemlerinin ilerlemesine katkıda bulunma potansiyeline sahip olarak görünmektedir. Bununla birlikte nanoteknolojik preparatların insan sağlığı ve çevre üzerindeki uzun vadeli etkilerinin araştırmalarının derinleştirilmesi önerilmektedir.

Nanoteknolojik ürünlerin fiyatlarının yüksek oluşu bu preparatlara özellikle küçük üreticilerin ve gelişmekte olan ülkelerin erişimini zorlaştırabilecek niteliktedir. Son olarak nanoteknolojik ürünlerin kullanımı hakkında tarımsal üreticilerin ve bu ürünleri satın alan tüketicilerin yeterli bilgiye sahip olmasının gerekliliği çözüm bekleyen etik sorun alanları olarak görünmektedir.

Biyolojik Gübreler ve Biyostimulantlar

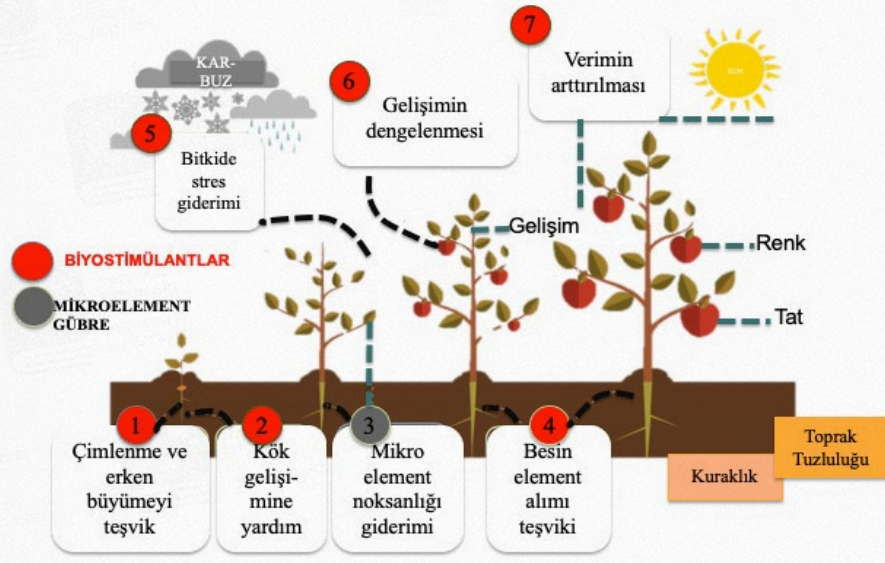
Kimyasal gübrelerin üretim ve kullanımının yarattığı sürdürülebilirlik ve çevresel sorunlar dikkate alındığında biyolojik gübreleri bitki beslemenin gelecek projeksiyonunda yeniden değerlendirmek önem kazanmaktadır. Biyolojik gübrelerin yetiştirme ortamının besin maddesi içeriğini, enzim aktivitesini ve mikroorganizma gruplarının yapısını geliştirerek toprak sağlığını ve verimliliğini artırması üzerine olan etkisi uzun zamandır bilinmektedir. Ancak bitki büyümesini teşvik eden mikroorganizmaların ve biyostimülantların kullanımı, bitki gelişimini ve besin maddesi alınımını olumlu yönde etkileyecektir (Castiglione ve ark., 2021). Bitki beslemenin geleceğinde biyolojik gübreler sürdürülebilirlik açısından da önemli bir rol oynaması beklenmektedir. Biyolojik gübreler ve biyostimülantların kullanımı kimyasal gübrelere olan bağımlılığı azaltmada, çevre kirliliğinin engellemede ve ekolojik dengenin teşvik edilmesinde önemli yere sahip

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

olacaktır. Ayrıca biyolojik gübreler ve biyostimülanların kullanımı üretilen gıdaların kalitesini artırarak gıda güvenliği ve insan sağlığına olumlu katkılar yapması beklenmektedir (Tahmasebi ve ark., 2023).

Biyostimülanlar, bitki gelişimini, bitkilerin beslenmesini, ürün kalitesini ve verimini olumlu yönde etkilemek; bitkilerin strese dayanıklılığını arttırmak amacıyla, bitkilere yapraktan, topraktan veya tohuma uygulanan, içeriğinde organik veya inorganik bileşikler, mikroorganizmalar bulundurabilen, ayrıca bazılarının toprak yapısını düzenleyici etkileri de bulunan materyallerdir. Örneğin fosforu bitkilerin kullanabileceği formlara dönüştürerek, toprakta başka türlü bitkilerin kullanamayacağı besin maddelerini kullanmayı da içerir. Bu besin kullanımı iyileştirmeleri, besin element kayıplarını ve ilgili çevresel etkileri (ve dolayısıyla temizleme maliyetini) azaltır. Bitkilerin beslenmesi ve optimum verim arasındaki bağlantının kurulmasına yardım eder.

Biyostimülanlar ayrıca bitkilerin kuraklık, aşırı sıcaklıklar, tuzluluk ve sel gibi abiyotik stresleri daha iyi tolere etmesine yardımcı olur. Bu tür olumsuz yetiştirme koşulları, bitkilerin enerjilerini stres tepkilerine yönlendirmesi nedeniyle verimi düşürebilir (Şekil-10).



Şekil 10. Yeni nesil biyostimülanların kullanım olanakları (Çokuysal, 2016).

Biyostimülanlar, bitkilerin stresle daha iyi başa çıkmasına yardımcı olarak, verimin bu "biyolojik sigorta" olmadan olacağından daha yüksek olmasını sağlamaya yardımcı olur. Birincil kullanım nedenleri bu olmasa da bitkileri abiyotik stresler karşısında daha dirençli hale getirmek, tıpkı sağlıklı ve dengeli beslendiğinizde hastalanma olasılığınızın azalması gibi, onları hastalıklara karşı daha güçlü hale getirecektir. Güçlü kök gelişimini teşvik eden biyostimülanlar aynı zamanda su kullanım verimliliğini de artırması, verim üzerine olumlu etkide bulunur. Biyostimülanların bitkilere doğrudan etkilerini tam olarak belirlemek güç olmakla birlikte, biyostimülan kullanımıyla ilgili minimum verim artışları %5-10 olarak bildirilmektedir (EBIC, 2023).

Bitki beslemenin geleceği açısından biyolojik gübreler ve biyostimülantların değerlendirilmesi, toprak sağlığını ve verimliliğini iyileştirme, bitkiler tarafından besin elementlerinin alınabilirliğini artırma ve sürdürülebilir tarım uygulamalarını teşvik etmesi açısından önemlidir.

Bitki beslemenin gelecek projeksiyonunda sürdürülebilir tarımsal uygulamalar

Bitki besleme, sürdürülebilir tarımsal üretimin bugün de gelecekte de ayrılmaz bir parçası olarak görünmektedir. Daha az kimyasal gübre kullanımını teşvik eden uygulamalar, su kullanım verimliliğinin artırılması ve toprak erozyonunu engelleme, iklim değişikliğine direnç kazandırma gibi hedeflere ulaşmak amacıyla bitki besleme uygulamalarının daha yeniden tasarlanması üzerine çalışmaların yoğunlaşacağı görülmektedir.

Daha az gübre kullanımı üzerine bitki ihtiyaçlarına yönelik daha hassas gübreleme programlarının oluşturulması, organik malzemelerin kullanımı üzerine daha fazla odaklanılacağını düşündürmektedir. Su kullanım verimliliğinin artırılması amacıyla sulama teknolojilerinin iyileştirilmesi, toprak nem izlemem sensörlerinin kullanımının yaygınlaştırılması beklenmektedir. Erozyonu engelleme amacıyla bitki örtüsünün sürdürülmesi ve toprak koruma önemlerinin alınması önem taşımaktadır.

Bitki beslemenin gelecek projeksiyonunda sürdürülebilir tarım uygulamalarının, mevcut referanslara dayalı olarak birkaç temel hususu kapsamı beklenmektedir. İlk olarak, toprak mikroorganizmalarının bitki mineral beslenmesindeki rolü sürdürülebilir tarım sistemleri için çok önemlidir. Sadece baklagillerde azot fiksasyonu için değil, aynı zamanda baklagil olmayan ürünlerde N, P ve S beslenmesi için de toprak mikroorganizmalarının kullanımının rafine ve optimize edilmesi, gelecekteki sürdürülebilir tarım uygulamaları için gerekli olacaktır (Jacoby ve ark., 2017). Biyoçeşitlilik ve toprak ekolojisi mühendisliği de tarımsal sürdürülebilirlik için hayati önem taşımaktadır. Yoğun tarımsal uygulamalarının daha basit toprak besin ağlarına yol açtığı bilinmekle birlikte toprak ekosistemlerinde biyoçeşitliliğin teşvik edilmesi sürdürülebilir tarım için çok önemli olacaktır (Bender ve ark., 2016). Mikrobiyal biyostimülanların kullanımı, toprak verimliliğini korumayı ve toprak biyoçeşitlilik kaybını azaltmayı amaçlayan modern tarım ihtiyaçlarına bir yanıt olarak tanımlanmaktadır. Bu durum, tarımsal açıdan daha sürdürülebilir sistemlere yönelik artan ihtiyacı vurgulamaktadır (Castiglione ve ark., 2021). Ayrıca, tarımın ve gübre kullanımının çevresel etkilerini ele almak için gübrelerin besin kullanım verimliliği önemli ölçüde artırılmalı ve sürdürülebilir besin yönetimi uygulamalarının önemi vurgulanmalıdır (Rietra ve ark., 2017). Buna ek olarak, sürdürülebilir tarım uygulamaları, tarımsal verimliliği sınırlayan ve bozulmamış ortamların tarımsal kullanımlara dönüştürülmesine katkıda bulunan bozulmuş toprakların rehabilitasyonuna odaklanmalıdır (Green ve ark., 2018). Sürdürülebilir tarımın geleceği, şimdiki ve gelecek nesiller için uzun vadeli gıda güvenliği ve beslenme sağlamayı amaçlayan, çevresel açıdan sağlam, ekonomik açıdan uygulanabilir ve sosyal açıdan destekleyici tarım uygulamalarının hayata geçirilmesini de içerecektir (Awadhpersad ve ark., 2021). Ayrıca, mikrobiyal aşılayıcıların, özellikle de arbusküler mikorizal mantarların

uygulanmasının, kimyasal gübre ve pestisit kullanımını azaltmayı amaçlayan sürdürülebilir mahsul yönetimi için büyük bir potansiyele sahip olduğu kabul edilmektedir (Prasad, 2020). Genel olarak, bitki beslenmesinin gelecekteki projeksiyonunda sürdürülebilir tarım uygulamaları, uzun vadeli gıda güvenliği, çevresel sürdürülebilirlik ve gelişmiş beslenme sağlamak için toprak sağlığı, biyoçeşitlilik, besin yönetimi ve çevreye duyarlı tarım uygulamalarını entegre eden bütünsel bir yaklaşım içerecektir.

Bitki beslemenin gelecek projeksiyonu açısından çevresel duyarlılık

Çevresel duyarlılık açısından bitki beslemenin gelecek projeksiyonu, sürdürülebilir tarımsal uygulamaları sağlamak için ekolojik, sosyal ve ekonomik faktörleri entegre eden bütünsel bir yaklaşımla çerçevelenecektir. Bu yaklaşım, bitki besleme ve tarım sistemleri bağlamında çevresel etkilerin, biyoçeşitliliğin ve ekosistem sağlığının dikkate alınmasının önemini vurgulayan çeşitli referanslarla desteklenmektedir. Gillespie ve Bold (2017), tarımsal projelerin değerlendirilmesinde siyasi, ekonomik, çevresel ve kültürel faktörlerin daha fazla dikkate alınması çağrısında bulunmaktadır, zira bunlar projelerin sonuçlarını önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Bu durum, gelecekteki tarımsal uygulamaların şekillendirilmesinde daha geniş çevresel ve sosyo-ekonomik bağlamın anlaşılmasının önemini vurgulamaktadır. Enebe ve Babalola (2018), bitki hastalıklarının yönetiminde kullanılan kimyasalların çevresel etkilerini vurgulayarak, çevresel tehlikeleri en aza indiren sürdürülebilir yaklaşımlara duyulan ihtiyacın altını çizmektedir. Bu durum, gelecekteki bitki besleme stratejilerinde çevre dostu hastalık yönetimi uygulamalarının önemini altını çizmektedir. Lenton ve Huntingford (2003), küresel karasal karbon depolamasını ve bunun sıcaklık duyarlılığını anlamının önemini tartışmakta ve idealize edilmiş bir küresel değişim yörüngesinde çevresel değişkenleri birbirine bağlama ihtiyacını vurgulamaktadır. Bu, gelecekteki tarım ve beslenme uygulamalarının şekillendirilmesinde çevresel faktörlerin dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır. Pelletier ve Tyedmers (2010), hayvancılık üretiminin potansiyel küresel çevresel maliyetlerini ele alarak, mevcut ve gelecekteki hayvancılık üretiminin sürdürülebilirlik eşiklerine ne ölçüde katkıda bulunduğunun ölçülmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bu durum, gelecekteki bitki besleme projeksiyonlarında tarımsal uygulamaların çevresel etkilerinin değerlendirilmesinin önemini altını çizmektedir. Dhankher ve Foyer (2018), değişen iklimin bitki fizyolojisi, toprak verimliliği ve mikrobiyal aktivite üzerindeki olumsuz etkilerini tartışmakta ve küresel gıda güvenliği ve emniyetini iyileştirmek için iklime dayanıklı mahsullere duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır. Bu durum, gelecekteki bitki besleme uygulamalarında çevresel dayanıklılığın dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır.

Özetle, çevresel duyarlılık açısından bitki beslemenin gelecekteki projeksiyonu, sürdürülebilir tarımsal uygulamaları sağlamak için çevresel, sosyal ve ekonomik hususları entegre eden kapsamlı bir yaklaşımla karakterize edilecektir. Bu yaklaşım, gelecekteki bitki besleme stratejilerini şekillendirirken çevresel tehlikeleri en aza indirme, iklim direncini teşvik etme ve daha geniş sosyo-ekonomik ve çevresel faktörleri dikkate alma ihtiyacını vurgulamaktadır.

Bitki beslemenin gelecek projeksiyonu açısından toplumsal sorumluluk ve adalet

Bitki beslemenin sosyal sorumluluk ve adalet açısından gelecek projeksiyonu, adil ve sürdürülebilir tarımsal uygulamaları sağlamak için etik, sosyal ve çevresel hususları entegre eden kapsamlı bir yaklaşımla çerçevelenecektir. Bu yaklaşım, sosyal eşitsizliklerin ele alınması, gıda güvenliğinin teşvik edilmesi ve gelecekteki bitki besleme stratejilerinin şekillendirilmesinde daha geniş sosyo-ekonomik ve çevresel faktörlerin dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır.

Gıda sistemlerinde sosyal adaletin önemi, gıda seçimlerinin etik ve ekolojik sonuçlarını tartışan ve gıda üretiminin sosyal adalet ve çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkisini dikkate alma ihtiyacını vurgulayan Bogard (2007) tarafından vurgulanmaktadır. Bu durum, etik ve sürdürülebilir gıda üretim uygulamalarının gelecekteki bitki besleme projeksiyonlarındaki öneminin altını çizmektedir.

Sosyal adaletin beslenme ve sağlığı etkilemedeki rolü Booth (2003) ve Truswell (2002) tarafından ele alınmış ve gıda endüstrisinin sosyal ve beslenme eşitliği üzerindeki etkisinin dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır. Bu, besleyici gıdaya erişimde sosyal ve ekonomik eşitsizliklerin ele alınmasının ve adil gıda sistemlerinin teşvik edilmesinin önemini vurgulamaktadır.

Sürdürülebilir tarımın sosyal ve çevresel zorlukları ele alma potansiyeli Lang ve Barling (2012) tarafından tartışılmış ve gıda güvenliği ve sürdürülebilirlik tartışmalarının sosyal ve çevresel konular da dahil olmak üzere karmaşık bir dizi sorunu ele alacak şekilde yeniden formüle edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Bu durum, sosyal ve çevresel hususların gelecekteki bitki besleme uygulamalarına entegre edilmesinin öneminin altını çizmektedir.

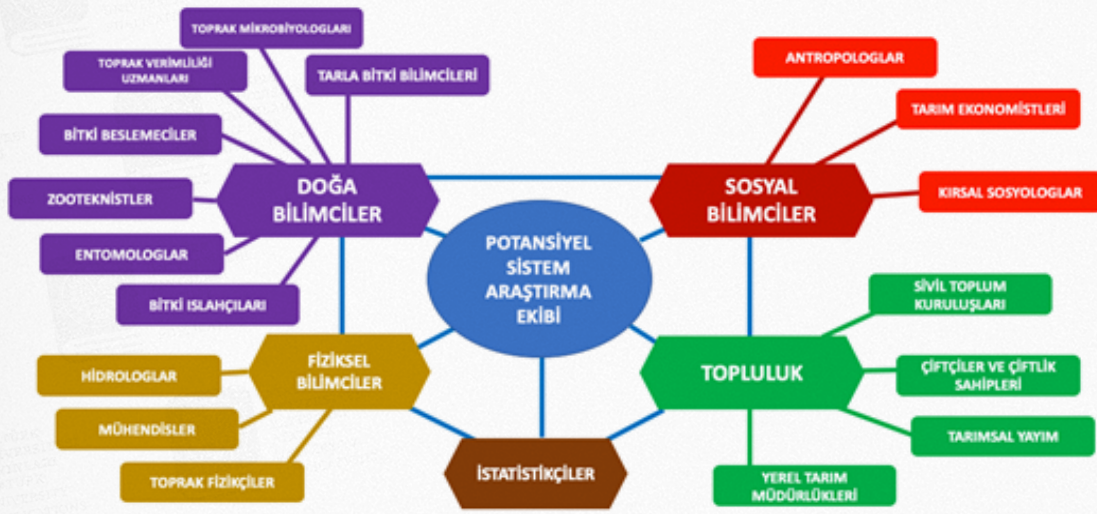
Çevresel girişimlerde sosyal adaleti ve kapsayıcılığı teşvik etmenin önemi, çocukların refahını, çevresel adaleti ve sosyal kapsayıcılığı teşvik etmek için çocukların çevresel vatandaş bilimi projelerine dahil edilmesini savunan Makuch ve Aczel (2019) tarafından vurgulanmaktadır. Bu durum, çevresel ve tarımsal girişimlerde sosyal adalet ve kapsayıcılığın dikkate alınması gerektiğinin altını çizmektedir.

Özetle, bitki besleme, gıda güvencesini arttırmak ve gıdaya erişimde adaleti tesis etmek konusunda elimizdeki önemli argümanlardan biridir. Toplumsal sorumluluk açısından ele alındığında yerel gıda üretiminin ve tüketiminin teşvik edilmesi önemli ve gerekli görünmektedir. Çiftçi haklarının korunması ve adil ticaret konusunda siyasi otoritelerin gerekli yaptırımları uygulaması beklenirken, gıda atığının azaltılması bireysel sorumluluğumuz olarak görünmektedir.

Sosyal sorumluluk ve adalet açısından bitki beslemenin gelecekteki projeksiyonu, eşitlikçi ve sürdürülebilir tarımsal uygulamaları sağlamak için etik, sosyal ve çevresel hususları entegre eden bütünsel bir yaklaşımla karakterize edilecektir. Bu yaklaşım, sosyal eşitsizliklerin ele alınması, gıda güvenliğinin teşvik edilmesi ve gelecekteki bitki besleme stratejilerinin şekillendirilmesinde daha geniş sosyo-ekonomik ve çevresel faktörlerin dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır.

Bitki beslemenin gelecek projeksiyonu açısından eğitim ve bilinçlendirme

Bitki beslemenin geleceği açısından eğitim ve bilinçlendirme çalışmaları iki yönlü olarak ele alınmalıdır. Bir yandan tüketici olarak bireylerin eğitim ve bilinçlendirme çalışmaları yanında diğer taraftan üreticilerin eğitim ve bilinçlendirme çalışmalarının ön plana çıkması öngörülmektedir. Geleneksel eğitim yöntemleri içerisinde bilgi üreticilere götürülmesi gerekli bir materyal olarak görülürken katılımcı eğitim modelinde tüm paydaşların bilgi üretim ve paylaşımına ortak olması beklenmektedir (Şekil-3).



Şekil 11. Gelecek projeksiyonları hazırlaması öngörülen potansiyel araştırma ekip yapısı

Sürdürülebilir tarım ve sağlıklı gıda sistemlerinde bitki besleme uygulamalarının, çok katmanlı ve çok paydaşlı yapısı düşünüldüğünde karmaşık sistemleri anlamak, bilgiyi organize etmek ve gelecek projeksiyonları hazırlamak multidisipliner çalışmalar kaçınılmaz görünmektedir. Bitki besleme alanına ait gelecek projeksiyonları hazırlaması öngörülen potansiyel araştırma ekip yapısı Şekil-11’de verilmiştir.

Sürdürülebilir ve sağlıklı beslenme uygulamalarını teşvik etmek için bireylerin eğitimi ve bilinçlendirilmesi kilit bir odak noktası olmalıdır. Tüketim alışkanlıklarımızı mevsiminde sebze ve meyve tüketimi şeklinde ve yerel üreticilerin korunması çerçevesinde geliştirmek için toplumsal farkındalık çalışmaları öne kazanacak niteliktedir. Krishnan ve ark. (2019), botanik bahçelerinin, akademik kurumların ve tarımsal araştırma kuruluşlarının gıda ve tarımsal bitki körlüğünü ele almak için iş birliği yapmadaki rolünü vurgulayarak, halkın farkındalığını sivil toplum kuruluşlarının girişimlerinin önemini göstermektedir.

Üreticiler açısından bitki besleme eğitimlerinin devlet, bilim üreten akademi ve enstitüler ve sivil toplum kuruluşları açısından ele alınması sürdürülebilir tarımsal uygulamalarının temelini oluşturacaktır. Bu noktada üreticilere aktarılan eğitim, sürdürülebilirlik yanında verimliliğin de artışına katkı sağlarken kaynakların da etkin kullanılmasına olanak sağlayacaktır. Tarımsal üretimi gerçekleştiren üreticilerin yanında

tarım uzmanlarının da eğitimi üreticilere yapacakları rehberlik açısından önemli ve gereklidir. Bu nedenle uzmanların eğitimi sıklıkla güncellenen şekilde olacağı, yeni teknoloji ve yöntemlere ait bilgilerin kolaylıkla ulaşılabilir olacağı da öngörülmektedir. Bu noktada önem kazanacak bir diğer husus da eğitim kaynaklarının ve içeriklerinin zenginleştirilmesi, geliştirilmesi olacaktır.

Sonuç olarak, eğitim ve farkındalık yaratma açısından bitki beslenmenin gelecek projeksiyonu, kanıta dayalı yaklaşımlara, disiplinler arası iş birliğine, tüketim alışkanlıkları gözden geçirmeye, sürdürülebilirlik uygulamalarını teşvik etmeye ve farklı nüfus grupları arasında beslenme bilincini geliştirmeye yönelik yenilikçi eğitim yöntemlerinin ele alacak şekilde olacağı öngörülmektedir.

Bitki beslemenin gelecek projeksiyonu açısından atık yönetimi ve geri dönüşüm

Bitkilerin gübrenmesi ve kimyasal gübrelerin geleceği, sürdürülebilir tarım uygulamalarına odaklanarak atık yönetimi ve geri dönüşüm ile yakından bağlantılı olduğu açıktır. Son yapılan çalışmalar bitkilerin gübrelemesinin verimliliğini ve sürdürülebilirliğini artırmak için tarımsal atıkların geri dönüştürülmesi ve yönetilmesine yönelik yenilikçi yaklaşımlar üzerine yoğunlaşmıştır. Tarımsal kalıntılardaki fosforun geri dönüşümü için bir yol olarak biyokömürün potansiyeline odaklanana çalışmaların artışı bu hipotezi destekler niteliktedir. Organik maddelerin pirolizinden elde edilen karbon açısından zengin bir ürün olan biyokömür, fosforun bitkiler tarafından kullanımını en üst düzeye çıkarmayı ve tarımsal atıklardan geri kazanılan fosforun kaybını en aza indirmeyi amaçlayan sürdürülebilir fosfor geri dönüşümü için umut verici bir yöntem olarak tanımlanmıştır (Dai ve ark., 2016).

Sürdürülebilir toprak sağlığı ve bitki büyümesi için organik atıkların geri dönüşümü, bitki besin maddelerinin yenilenmesi, toprak sağlığının sürdürülmesi ve kirlilik sorunlarının azaltılması için bir strateji olarak vurgulanmaktadır. Bu yaklaşım, üretim alanlarında bitki besin elementlerin eksikliğini, kimyasal gübrelerin yüksek maliyetini ve düşük verimliliğini, organik atık geri dönüşümünün istihdam fırsatları yaratma ve sürdürülebilir bitkisel üretimi destekleme potansiyelini olduğunu göstermektedir (Chatterjee vd., 2017). Ticari girdilerle maliyetleri azaltmak ve tarımsal üretimden elde edilen kaynakların sürdürülebilir kullanımını teşvik etmek için tarımsal üretimden elde edilen yan ürünlerin geri dönüştürülme potansiyeli önem kazanmaktadır. Örneğin Costa ve ark. (2020), bitkisel üretimden gelen atık suyun bir gübreleme kaynağı olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Kaynakların verimli bir şekilde geri dönüştürülmesi, ekolojik ve çevresel koruma ile döngüsel tarımın geliştirilmesi yakın geleceğin çalışma alanları olarak görülmesinin nedenleri; kaynak tasarrufu sağlama potansiyeli oluşu, çevre dostu bir tarıma imkân sağlaması, tarımsal üretimin sürdürülebilir kalkınmasının gerçekleştirilmesi olanağıdır. Tarımsal atıkların rasyonel geri dönüşümü ve ekolojik geri dönüşüm tarımının geliştirilmesi, tarımsal kalkınmanın geleceği için kilit görevler olarak kabul edilmiştir (Du ve ark., 2022). Mikroalg uygulamalarının, atık sulardan tarım arazilerine besin

maddelerinin hızlandırılmış geri dönüşümüne katkıda bulunma potansiyeli de vurgulanarak, sürdürülebilir tarım için besin geri dönüşümünde yenilikçi yaklaşımların rolüne işaret edilmektedir (Çakırsoy ve ark., 2022). Bununla birlikte, tarımda geri dönüşüm ve atık yönetimi uygulamalarının yaygın olarak benimsenmesinin önündeki zorluklar ve engeller olması atık yönetimi ve geri dönüşümün gelecekte çözüm bekleyen sorun alanları arasındadır. Özellikle yaşam döngüsü değerlendirmeleri ve tekno-ekonomik analizlerin anlaşılması açısından daha iyi altyapıya, daha fazla araştırma ve geliştirmeye, geri dönüşüm teknolojilerinin çevresel, ekonomik ve sosyal etkilerinin daha derinlemesine anlaşılmasına ihtiyaç duyulmaktadır (Chaudhari ve ark., 2021). Sonuç olarak, atık yönetimi ve geri dönüşüm açısından bitkilerin gübreleme ve kimyasal gübrelerin geleceği, organik atıkların geri dönüşümü, fosfor geri dönüşümü için biyokömür kullanımı ve dögüsel tarımın geliştirilmesi de dahil olmak üzere sürdürülebilir tarım uygulamalarının benimsenmesine yakından bağlıdır. Bu yaklaşımlar, tarımsal atık yönetiminin zorluklarını ele alırken gübrelemenin verimliliğini, sürdürülebilirliğini ve çevresel etkisini artırmayı amaçlamaktadır.

SONUÇ VE SON SÖZ

Bitki besleme ve gübreleme teknikleri açısından düşünüldüğünde sürdürülebilirlik ve etik değerlerin ön plana çıktığı bir gelecek öngörüsü yapılabilir. Tarımsal üretimde iklim değişikliğine bağlı olarak ortaya çıkabilecek olumsuzluklar bitki beslemenin sürdürülebilir şekilde yürütülmesi zorunlu hale getirecektir. Tarımsal üretimde gübre kullanımının gelecek öngörüsü, tarımsal verimlilik korunmaya devam ederken çevresel sürdürülebilirliğin ön plana çıktığı, gıda güvenliğinin sağlanması üzerinde şekilleneceğini düşündürmektedir. Değişen tarımsal üretim paradigmaları bağlamında, geçmişteki kimyasal gübre uygulamalarının uzun vadeli etkilerinin sağlık, çevre ve doğal kaynakların korunması açısından değerlendirilmesi önerilmektedir.

Yapılan çalışmalar, gübre uygulamalarının bitkilerin büyüme, gelişme ve tahminlenen verimi sağlamada gerekli olduğunu ortaya koymaklar birlikte (Toader ve ark., 2022), iklim değişikliği etkileri, toprak koşulları, sulama sistemleri ve kültürel işlemler ile gübrelerle ilgili teknolojik gelişmelerin dengeli bir şekilde yönetilmesi durumunda tarımsal üretimin uzun vadeli üretimi mümkün kılacağını göstermektedir (Jah ve Dhakal, 2020).

Tarımsal üretimde gübre kullanımının çevresel sürdürülebilirlik açısından yaratabileceği endişeler göz önüne alınarak kimyasal gübre kullanımı, tarıma yönelik mali destek programları, tarımsal karbon emisyonları arasındaki ilişkinin yakın gelecekte de araştırılması gereken önemli bir çalışma alanı olarak görünmektedir. Sürdürülebilir tarımsal kalkınma için kimyasal gübrelerin kullanımının azaltılması yönündeki görüş sahipleri tarafından da agroekolojik modeller, organik tarım uygulamaları, yerel üretici destekleyen pazarları teşvik edecek ve sürdürececek politika ve programlara duyulan ihtiyaç da vurgulanmaktadır (He ve ark., 2020; Oyetunde-Usman ve ark., 2021). Ayrıca gübre kullanımının toprak sağlığı ve verimliliği açısından uzun vadeli etkilerinin de dikkate alınmasının gerekliliği açıktır.

Yenilik içeren gübre teknolojileri tarımsal üretimde bitki beslemenin geleceğini önemli ölçüde şekillendirecek nitelikte görünmektedir. Bu teknolojiler, bitkinin yapısına uygun hassas ve daha etkili şekilde bitki besin maddelerini sağlayabilecek nitelikte olmalarının yanında, gübre uygulamalarının çevresel etkilerini de azaltma ve tarımsal verimliliği artırma potansiyeline sahip olacaktır. Bu açıdan değerlendirildiğinde dijital tarım teknolojileri, çoklu mikro besin element gübreleri, mikro organizmaların gübrelerle kullanımı, yapay zekanın kullanımı, veri analitiği, nano teknolojik ürünler, uzaktan algılama ve izleme teknikleri kullanılarak tarımsal üretimde bitki besleme daha sürdürülebilir ve verimli hale geleceği öngörülebilir. Ancak bu teknolojilerin ve yenilikçi preparatların geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması için etik, ekonomik, sosyal ve çevresel faktörlerin birlikte değerlendirilmesi gerekli olduğu ifade edilebilir. Bununla birlikte üreticilerin ve uzmanların eğitimi, yenilikçi ürün ve teknolojilerin üreticiler açısından maliyet etkinliği, üreticilerin bu teknolojilere ve ürünlere erişim eşitliği gibi faktörlerin de ön plana çıkacağı öngörülmektedir.

Değişen tarımsal üretim paradigması bağlamında sürdürülebilir bitki beslemenin geleceği, teknoloji ve yenilikçi ürünlerin kullanımının toprak sağlığı, doğal kaynakların, biyoçeşitliliğin ve ekosistemin korunması ile verimin optimizasyonu üzerinde temellenecektir.

Bitki besleme sadece verimli bir tarımsal üretim açısından değil yakın gelecekte gıda sistemlerinin bir parçası olarak ele alınarak, gıda güvenliği, doğal kaynakların korunması, çevresel kirliliğin önlenmesi, yerel ve döngüsel ekonomi modelleri, küresel iklim değişikliğine direnç sistemlerinin bir bileşeni olarak gıda sistemlerinin bir parçası olarak meselesi üzerinden de değerlendirileceği için konunun sadece bilimsel değil, etik ve politik boyutu da birlikte ele alınacaktır.

KAYNAKLAR

- Aksu, C. (2011). Sürdürülebilir Kalkınma ve Çevre. Aydın, Denizli, Muğla: Güney Ege Kalkınma Ajansı.
- Asher, C. J. (1991). Beneficial Elements, Functional Nutrients, and Possible New Essential Elements. *Micronutrients in Agriculture*, Second Edition. Volume 4. Chapter 18.
- Awadhpersad, V. R. R., Ori, L., Ansari, A. A. (2021). Production And Effect Of Vermiwash Singly And in Combination With Vermicompost On The Growth, Development And Productivity Of Tomato in The Greenhouse in Suriname. *Asian Journal of Agriculture*. 5(1).
- Bahrulolum, H., Nooraei, S., Javanshir, N., Tarrahimofrad, H., Mirbagheri, V., Easton, A., Ahmadian, G. (2021). Green Synthesis Of Metal Nanoparticles Using Microorganisms And Their Application İn The Agrifood Sector. *Journal of Nanobiotechnology*, 19(1).
- Bailey, R. L., West, K. P. Black, R. E. (2015). The Epidemiology of Global Micronutrient Deficiencies. *Annals of Nutrition Metabolism*. 66(2):22-33.
- Bender, S., Wagg, C., Heijden, M. G. A. (2016). An Underground Revolution: Biodiversity And Soil Ecological Engineering For Agricultural Sustainability. *Trends in Ecology And Evolution*, 31(6): 440-452.
- Bogard, P. (2007). The Omnivore's Dilemma: A Natural History Of Four Meals. *Interdisciplinary Studies in Literature and Environment*. 14(1): 250-251.
- Booth, S. (2003). Food Politics: How The Food Industry Influences Nutrition And Health. *Critical Public Health*. 13(2): 187-188.
- Castiglione, A., Mannino, G., Contartese, V., Berteau, C., Ertani, A. (2021). Microbial Biostimulants As Response To Modern Agriculture Needs: Composition, Role And Application Of These Innovative Products. *Plants*, 10(8):1533.
- Chatterjee, R., Gajjela, S., Thirumdasu, R. K. (2017). Recycling Of Organic Wastes For Sustainable Soil Health And Crop Growth. *International Journal of Waste Resources*. 07 (03).
- Chaudhari, U. S., Lin, Y., Thompson, V. S., Handler, R. M., Pearce, J. M., Caneba, G. T., Shonnard, D. R. (2021). Systems Analysis Approach To Polyethylene Terephthalate And Olefin Plastics Supply Chains in The Circular Economy: A Review Of Data Sets And Models. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*. 9(22): 7403-7421.
- Christensen, B., Petersen, J., Schact, M. (2008). Long Term Field Experiments -A Unique Research Platform. *Proceeding of NJF Seminar 407*. Denmark.
- Cho, R. (2022). How Climate Change Will Affect Plants. *State of Planet, Columbia Climate School*. <https://news.climate.columbia.edu/2022/01/27/how-climate-change-will-affect-plants/>
- Costa, A. G., Cova, A. M. W., Souza, L. S., Xavier, F. A. S., Correia, M. R. S., Goncalves, D. R., Almeida, W. F. (2020). Use Of Cassava Wastewater in Capsicum Chinense Production. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. 50.

- Çakırsoy, I., Miyamoto, T., Ohtake, N. (2022). Physiology Of Microalgae And Their Application To Sustainable Agriculture: A Mini-Review. *Frontiers in Plant Science*. 13.
- Çokuysal, B. (2016). Gübreleme Programlarına Yeni Bir Bakış. Yeni paradigmalarla, Neden Fark Yaratmak Zorundayız? Çukurova Üniversitesi, *Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, Cilt 31, Sayfa 13-20. ISSN 1300-4700.
- Çokuysal, B. (2022). *Tarım ve Gıda Etiği Bağlamında İnsan Doğa İlişkisinin Yeniden Kurgulanması*. Yüksek Lisans Tezi (Danışman Prof.Dr. Ali Osman Gündoğan), Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Felsefe Anabilim Dalı.
- Dai, L., Li, H., Tan, F., Zhu, N., He, M., Hu, G. (2016). Biochar: A Potential Route For Recycling Of Phosphorus in Agricultural Residues. *GCB Bioenergy*. 8(5): 852-858.
- Dance, A. (2023). A Warmer Planet, Less Nutritious Plants. *Knowable Magazine*. 10:1146.
- Das, P. P., Singh, K. R. B., Nagpure, G., Mansoori, A., Singh, R. P., Ghazi, I. A., Kumar, A., Singh, J. (2022). Plant-Soil-Microbes: A Tripartite Interaction For Nutrient Acquisition and Better Plant Growth For Sustainable Agriculture Practices. *Environmental Research*. 214(1): 113821.
- Debreczeni, K., Körshens, M. (2010). Long Term Field Experiment of World. *Archives of Agronomy and Soil Science*.
- Dhankher, O. P., Foyer, C. H. (2018). Climate Resilient Crops For Improving Global Food Security And Safety. *Plant, Cell and Environment*. 41(5): 877-884.
- EBIC. (2023). Economic Overview of The European Biostimulants Market Report. (www.biostimulants.eu) (Erişim tarihi 20.11.2023).
- FAO (2004). *The Ethics of Sustainable Agricultural Intensification* (Ed. P. Kenmore, C. Stannard, P. Thompson) <https://www.fao.org/3/j0902e/j0902e00.htm#Contents> (Erişim Tarihi 16 Mayıs 2021).
- Fu, Y. and Zhu, J. (2019). Big Production Enterprise Supply Chain Endogenous Risk Management Based On Blockchain. *Ieee Access*. 7: 15310-15319.
- Giraldo, J. D., Garrido-Miranda, K. A., Schoebitz, M. (2023). Chitin and Its Derivates: Functional Biopolymers For Sustainable Agriculture-A Reality? *Carbohydrate Polymers*. 299: 120196.
- Green, H., Broun, P., Cook, D. R., Cooper, K., Drewnowski, A., Pollard, D., Roulin, A. (2018). Healthy And Sustainable Diets For Future Generations. *Journal Of The Science Of Food And Agriculture*. 98(9): 3219-3224
- Gillespie, S., Bold, M. (2017). Agriculture, Food Systems, And Nutrition: Meeting The Challenge. *Global Challenges*. 1(3)
- Ehsan, I., Khalid, M., Ricci, L., Iqbal, J., Alabrah, A., Ullah, S., Alfakih, T. (2022). A Conceptual Model For Blockchain-Based Agriculture Food Supply Chain System. *Scientific Programming*. 1-15.

- Enebe, M. C., Babalola, O. O. (2018). The Impact Of Microbes In The Orchestration Of Plants' Resistance To Biotic Stress: A Disease Management Approach. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 103(1): 9-25.
- Heckathorn, S., North, G., Wang, D., Zhu, C. (2020). Editorial: Climate Change and Plant Nutrient Relations. *Frontiers in Plant Science*. 11:869.
- He, R., Shao, C., Shi, R., Zhang, Z., Zhao, R. (2020). Development Trend And Driving Factors Of Agricultural Chemical Fertilizer Efficiency In China. *Sustainability*. 12(11): 4607
- Heuchan, S., Fan, B., Kowalski, J., Gillies, E., Henry, H. (2019). Development Of Fertilizer Coatings From Polyglyoxylate–Polyester Blends Responsive To Root-Driven Ph Change. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 67(46): 12720-12729.
- Jakhar, A. M., Aziz, I., Kaleri, A. R., Hasmain, M., Haider, G., Ma, J., Abideen, Z. (2022). Nono-Fertilizers: A Sustainable Technology For Improving Crop Nutrition and Food Security. *NonoImpact*. 27: 100411.
- Jacoby, R. P., Peukert, M., Succurro, A., Kopřivová, A., Kopriva, S. (2017). The Role Of Soil Microorganisms In Plant Mineral Nutrition—Current Knowledge And Future Directions. *Frontiers in Plant Science*. 8.
- Jha, R., Dhakal, S. (2020). Trend Analysis Of Technological And Agricultural Economic Growth In Nepal. *Food and Agribusiness Management*. 2(1): 28-30
- Kuhn, T. S. (2008). Bilimsel Devrimlerin Yapısı. (Çev. N. Kuyaş). İstanbul, Kırmızı Yayınları.
- Krishnan, S., Moreau, T., Kuehny, J. S., Novy, A., Greene, S. L., Khoury, C. K. (2019). Resetting The Table For People And Plants: Botanic Gardens And Research Organizations Collaborate To Address Food And Agricultural Plant Blindness. *Plants, People, Planet*. 1(3): 157-163.
- Kumar, M., Xiong, X., He, M., Tsang, D., Gupta, J., Khan, E., Bolan, N. (2020). Microplastics As Pollutants In Agricultural Soils. *Environmental Pollution*. 265, 114980
- Lang, T., Barling, D. (2012). Food Security And Food Sustainability: Reformulating The Debate. *The Geographical Journal*. 178(4): 313-326.
- Lenton, T. M. and Huntingford, C. (2003). Global Terrestrial Carbon Storage And Uncertainties in Its Temperature Sensitivity Examined With A Simple Model. *Global Change Biology*. 9(10): 1333-1352.
- Li, D., Li, C., Yao, Y., Li, M., Liu, L. (2020). Modern Imaging Techniques in Plant Nutrition Analysis: A Review. *Computers and Electronics in Agriculture*. 174:105459.
- Liang, R. and Liu, M. (2006). Preparation And Properties Of A Double-Coated Slow-Release And Water-Retention Urea Fertilizer. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54(4): 1392-1398
- Liu, Y., Xiaoyuan, M., Lei, S., Hancke, G. P., Abu-Mahfuz, M. A. (2021). From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current Status, Enabling Technologies, and Research Challenges. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 17 (6): 4322-4334.

- Machii, J. (2023). IoT, Data Analytics and Deep Learning For Sustainable Precision Agriculture. *Journal of Information Engineering and Applications*. 13(1): 19-29.
- Makuch, Z., Aczel, M. R. (2019). Eco-Citizen Science For Social Good: Promoting Child Well-Being, Environmental Justice, And Inclusion. *Research on Social Work Practice*. 30(2): 219-232.
- McKenzie, F., Williams, J. (2015). Sustainable Food Production: Constraints, Challenges And Choices By 2050. *Food Security*, 7(2), 221-233
- Merbach, W., Deubel, A. (2007). *The Long Term Fertilization Trails in Halle, Germany*. Teubner Research, Germany. ISBN 978-3-8350-4000-7. Montpellier Panel 2013. A New Paradigm For African Agriculture. Imperial College London.
- Oyetunde-Usman, Z., Ogunpaimo, O., Olagunju, K., Ambali, O., Ashagidigbi, W. (2021). Welfare Impact Of Organic Fertilizer Adoption: Empirical Evidence From Nigeria. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.691667>
- Patel, N., Feofilovs, M., Blumberga, D. (2022). Agro Biyopolimer: A Sustainable Future of Agriculture. *Environmental and Climate Technologies*. 26(1): 499-511.
- Pelletier, N. and Tyedmers, P. (2010). Forecasting Potential Global Environmental Costs Of Livestock Production 2000–2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 107(43): 18371-18374.
- Phiri, R., Rangappa, S. M., Siengchin, S., Oladijo, O. P., Dhakal, H. N. (2023). Development of Sustainable Biopolymer-Based Composites For Lightweight Applications From Agricultural Waste Biomass: A Review. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*. 6: 436-450
- Prasad, K. G. (2020). Positive Importance Of Arbuscular Mycorrhizal Fungi For Global Sustainable Agriculture And Environment Management For Green Technology. *Current Investigations in Agriculture and Current Research*. 9(2).
- Raza, A., Tabassum, J., Fakhar, A. Z., Sharif, R., Chen, H., Zhang, C., Ju, L., Fotopoulos, V., Siddique, K. M. H., Singh, R. K., Zhuang, W., Varshney, R. K. (2023) Smart Eprogramming Of Plants Against Salinity Stress Using Modern Biotechnological Tools. *Critical Reviews in Biotechnology*, 43(7): 1035-1062.
- Rietra, R., Heinen, M., Dimkpa, C. O., Bindraban, P. (2017). Effects Of Nutrient Antagonism And Synergism On Yield And Fertilizer Use Efficiency. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 48(16): 1895-1920.
- Semba, R. D., Askari, S., Gibson, S., Bloem, M. W., Kraemer, K. (2022). The Potential Impact of Climate Change on the Micronutrient-Rich Food Supply. *American Society for Nutrition. Advances in Nutrition*. 13:80-100.
- Shahzad, Z., Rouached, H. (2022). Protecting plant Nutrition From the Effects of Climate Change. *Current Biology*. 32(13): 725-727. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982222008594>
- Singh, M. (2022). Can blockchain technology support agricultural sustainability? <https://doi.org/10.22541/au.164192086.60828523/v1> (Erişim Tarihi 20.10.2023)

- Soares, J.C., Santos, C.S., Carvalho, S.M.P., Pintado, M. M., Vasconcelos, M. W. (2019). Preserving the nutritional quality of crop plants under a changing climate: importance and strategies. *Plant Soil* 443, 1–26.
- Tahmasebi, A., Dastjerdi, A. M., Jamali, B. (2023). Microbial-Based Biological Treatments Improved The Nutritional, Nutraceutical And Functional Properties Of Greenhouse Sweet Pepper (*Capsicum Annuum* L.). *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 7
- Toader, E., Toader, G., Trifan, D., Lungu, N., Ghiorghe, N. (2022). Innovative ecological technologies for soil restoration: bacterial biopreparations. <https://doi.org/10.24818/cafee/2021/10/09>
- Truswell, A. S. (2002). Food Politics—How The Food Industry Influences Nutrition And Health. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 76(6): 1458.
- Wan-Tao, L., Huang, X., Fang, H., Wang, V., Hua, Y., Wang, J., Yau, L. (2020). Blockchain Technology in Current Agricultural Systems: From Techniques To Applications. *IEEE Access*. 8: 143920-143937.
- Wang, L., Chun-jie, Q., Jiang, P., Xiang, S. (2022). The Impact Of Blockchain Application On The Qualification Rate And Circulation Efficiency Of Agricultural Products: A Simulation Analysis With Agent-Based Modelling. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 19(13): 7686.
- Xiong, H., Dalhaus, T., Wang, P., Huang, J. (2020). Blockchain Technology For Agriculture: Applications And Rationale. *Frontiers in Blockchain*. 3.
- Yan, H., Yang, J., Kim, H. (2021). Application Of Blockchain Technology in Agricultural Products' Traceability System. *Asia-Pacific Journal of Convergent Research Interchange*. 7(12): 55-66.
- Yin, H., Cao, Y., Marelli, B., Zeng, X., Mason, A. J., Cao, C. (2021). Soil Sensors And Plant Wearables For Smart And Precision Agriculture. *Advanced Materials*. 33(20).

TARIMSAL ÜRETİMİN ARTIRILMASINDA MİNERAL GÜBRELERLE BİRLİKTE KULLANILAN GÜNCEL UYGULAMALAR: MİKROBİYAL GÜBRELER, BİYOSTİMULANLAR, BİYOKÖMÜR VE SOLUCAN GÜBRESİ

Ali COŞKAN

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Isparta- TÜRKİYE
alicoskan@isparta.edu.tr

Özet

Tarımsal üretimde maksimum verime ulaşmak, üreticiler tarafından kontrol altına alınabilen ve alınamayan birçok faktöre bağlıdır. Kontrol edilemeyen faktörler ile kontrol edilebilir görülen ve fakat bu konuda yapılacak girişimlerin ekonomik veya çevreyle dost olmaması, verimi maksimize etmede engel oluşturabilmektedir. Kimi zaman, bitki besleme ile ilgili sorunların giderilmesinde kullanılan mineral gübrelerin bitkilerce kullanım etkinliği düşük kalabilmektedir. Bitki gelişimini teşvik eden mikroorganizmalar, tarımsal üretimde karşılaşılan bu ve benzeri sorunların azaltılmasında, ekonomik ve çevreci bir uygulama olarak ortaya çıkmıştır. Bu mikroorganizmaların biyolojik azot fiksasyonu yoluyla azot bağladıkları, fitohormon ürettikleri, 1-aminocyclopropane-1-carboxylic asit (ACC) deaminaz aktivitesi yoluyla etilen sentezini engelledikleri, çevresel stresi azalttıkları, inorganik fosforun çözünürlüğünü artırdıkları, organik fosfor bileşiklerinin mineralizasyonunu sağladıkları, potasyum alımını artırdıkları ve siderofor ürettikleri çeşitli çalışmalar ile ortaya konmuştur. Yapılan çalışmalar bitki gelişimini teşvik eden mikroorganizmaların hemen her toprakta var olduğunu ispatlar niteliktedir. Ancak, üretimdeki yoğun gübre ve tarımsal mücadele ilaçlarının kullanımı nedenleriyle çoğu zaman bu mikroorganizmaların etkilerinin verime yansımadağı düşünülmektedir. İlgili mikroorganizmalar tarım alanlarında bulunsa da farklı ekosistemlerden izole edilen mikroorganizmaların daha fazla umut vaat ettiğine dair güçlü bulgular vardır. Bitki gelişimini teşvik eden mikroorganizmaların elde edilmesinde yöntem olarak iki yaklaşım sıklıkla tercih edilmektedir. Birinci yaklaşımda, izole edilen bir mikroorganizmanın hangi cins ve tür olduğunun belirlenmesi, buradan yola çıkılarak beklenen etkiye yönelik laboratuvar çalışmalarının yapılması şeklindedir. Bitki yetiştirme denemeleri ise en sona bırakılmaktadır. Diğer yaklaşımda ise, ilk önce bitki gelişme denemeleri yürütülürken, etkinliği belirlenen mikroorganizmaların tür-cins tanımlamaları yapılmaktadır. Her iki yaklaşımın da birbirleri üzerine avantaj ve dezavantajları vardır. Sonuç olarak, elimine edilmesi hedeflenen olumsuz faktörlere karşı uygun mikroorganizmanın ekosistemden izole edilerek kullanılması, verimin artırılmasında önemli bir yaklaşımdır. Sözü edilen mikroorganizmaların mineral ve/veya organik gübrelere alternatif olmadığının da vurgulanmasında yarar vardır.

Organik atıkların düşük oksijen koşullarında kömürleştirilmesi ile elde edilen biyokömürün yaygın kullanılmasının esas dayanağı, kısa sürede atmosfere dönme

İhtimali olan organik maddenin yapısındaki karbonun toprağa uzun süreli bağlanmasıdır. Ancak, topraklara biyokömür karıştırılmasının toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine etkili olduğu birçok araştırmacı tarafından ortaya konmuştur. Diğer taraftan, biyokömürün organik madde olarak öngörülmesi tartışmalı bir konudur. Biyokömür tanım itibarıyla tek bir ürün gibi görünse de kullanılan hammaddeye, üretim sıcaklığına ve biyokömürün uygulanacağı bitkiye bağlı olarak etkilerinin farklılaştığı bilinmektedir. Üretim süresi, yeterli en kısa süre sağlanmak kaydıyla kritik değildir. Biyokömür üretiminde sıcaklık uygulamasına, sistemden yanıcı gazlar gelmemeye başlayınca kadar devam edilmelidir. Bu bölümde biyokömür üretimi ile ilgili teknik bilgilere, basit üretim yöntemlerine ve elde edilen biyokömürün kullanımı ile ilgili bazı uyarılara yer verilmiştir. Çeşitli organik atık ve atıkların solucan bünyesinden geçirilmesi ile mezofilik koşullarda elde edilen solucan gübresi veya vermikompost, termofilik fazı da içeren geleneksel kompostlamadan bazı özellikler ile ayrılmaktadır. Bu özellikler vermikompostun organik madde olma özelliğinin oldukça üzerinde olmasına rağmen, çalışmalarda daha çok toprakların düşük organik madde kapsamına vurgu yapılmaktadır. Yüksek uygulama dozlarının yetiştirilecek bitkide olumsuzluklara neden olması ve ekonomik kaygılar, vermikompostun toprak organik maddesini artırmada kullanılacak sınırlı bir kaynak olabileceğine işaret etmektedir. Bu bölümde, vermikompost üretim tekniklerine yer verilecek, vermikompost elde edildikten sonra ürüne sıcaklık uygulaması ve ürünün depolama ömrü üzerine olan endişeler tartışılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Mikrobiyal gübre, PGPR, Biyostimulant, Biyokömür, Solucan gübresi

ACTUAL APPLICATIONS USED IN ADDITION TO MINERAL FERTILIZERS TO IMPROVE AGRICULTURAL PRODUCTION: MICROBIAL FERTILIZERS, BIOSTIMULANTS, BIOCHAR AND VERMICOMPOST

Abstract

Achieving maximum yield in agricultural production depends on many factors that farmers can manage or are non-controllable. Uncontrollable factors along with factors that are considered controllable but are not economical or environmentally friendly can be obstacles to maximizing yields. Using mineral fertilizers to overcome plant nutrition-related problems is quite widespread. Microorganisms that promote plant growth have emerged as an economical and environmentally friendly application to reduce the problems encountered in agricultural production. Various studies have shown that these microorganisms fix nitrogen through biological nitrogen fixation, produce phytohormones, inhibit ethylene synthesis through 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) deaminase activity, reduce environmental stress, increase the solubility of inorganic phosphorus, provide mineralization of organic phosphorus compounds, increase potassium uptake, and produce siderophores. Current studies prove that microorganisms that promote plant growth exist in all soils. However, it is assumed that the effects of these

microorganisms are often not reflected in yields due to the intensive use of fertilizers and pesticides in agricultural production. Although relevant microorganisms are present in agricultural sites, there is strong evidence that microorganisms isolated from different ecosystems offer more promise. Two approaches are frequently preferred as methods for obtaining plant growth-promoting microorganisms. The first approach is to determine the genus and species of a microorganism isolated and to carry out laboratory studies to determine the expected effect. Plant cultivation experiments are postponed to the last stage. In the other approach, plant growth studies are carried out in the beginning, and the species identification of the microorganisms are postponed. Both approaches have advantages and disadvantages over each other. As a result, using appropriate microorganisms isolated from the ecosystem against inconvenient factors to increase yield is an important approach. It should be emphasized that these microorganisms are not an alternative to mineral and/or organic fertilizers. The primary reason for the widespread usage of biochar, which is produced by carbonizing organic residues or wastes under low oxygen conditions, is the long-term sequestration of carbon in the structure of organic matter to the soil, which is likely to return to the atmosphere in a short period. However, several researches have demonstrated that incorporating biochar into soils modifies the soil's physical, chemical, and biological properties. On the other hand, it is a controversial issue to envisage biochar as organic matter. Although biochar appears to be a single product by definition, the effects vary depending on the raw material utilized, the production temperature, and the plant to which the biochar is applied. Production time is not significant if the shortest sufficient time is supplied. In biochar production, heating should be applied until combustible gases generated from the system are exhausted. This chapter provides technical information regarding biochar production, simple production methods, and some warnings about how to use the biochar produced. Earthworm cast or vermicompost, which is produced under mesophilic conditions by passing various organic residues and wastes through the worm body, varies from typical composting, which also includes the thermophilic phase, with some features. Although these features are well above the organic matter properties of vermicompost, studies frequently emphasize the low organic matter content of soils. The fact that high application doses of vermicompost cause negative effects on the plants to be grown and economic concerns indicate that vermicompost may be a limited resource that can be used to increase soil organic matter. In this section, vermicompost production techniques will be presented and concerns about the application of temperature to the product after vermicomposting and the storage life of the product will be discussed.

GİRİŞ

Tarımsal üretimde ana amaç ürün miktarını kaliteden ödün vermeden artırmaktır. Bu amaçla üreticiler yenilikçi gördükleri tüm uygulamaları deneme eğilimindedirler ve bu yaklaşımları tarımda gelişmenin önünü açmaktadır. Bu nedendir ki kimi zaman üreticiler temkinli davranan Üniversitelerden ve Araştırma Enstitülerinden daha önce, denemeleri yapılmamış olan ürünleri deneyebilmektedirler. Genel olarak mineral gübrelerin yerine geçebilecek, verimde kayıp yaşanmadan ve karlılık korunarak mineral gübrelerin gerekliliğini tamamen ortadan kaldıracak bir uygulama henüz bulunmamaktadır. Bu

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

nedenle bu çalışmada bildirilen tarımsal uygulamalar, mineral gübrelere beraber kullanılabilen yaklaşımlar şeklinde tanımlanmıştır. Mineral gübrelemeye karşı oluşan tepki basit bir yanılsamadan kaynaklanmaktadır. Zira bitkiler besin elementlerini mineral formda kullanmaktadır. Toprağa karıştırılan organik gübrelere içerdiği organik yapıda bulunan elementler bitkiler tarafından kullanılabilir değildir. Çiftlik gübresi, hasat artıkları veya yeşil gübre uygulaması yapıldıktan sonra içerdikleri bitki besin elementleri mineralizasyon denilen süreçle bitkiler tarafından alınabilir formlara dönüştükleri zaman bitkilerce alınabilmektedir (Gök vd., 1998, 1999). Mineralizasyon hızı ise birçok çevre etmenine bağlı olup, bitkiler açısından kimi zaman yetersiz, çevre açısından kimi zaman fazla miktarda elementlerin toprakta var olmasına neden olabilmektedir. Örneğin, çevre açısından büyük endişe oluşturan nitrat miktarı yönünden organik tarım yapılan alanlarla mineral gübreleme yapılan alanlar karşılaştırıldığında, organik tarım yapılan alanlarda daha fazla nitrat bulunabileceği görülmüştür (Çizelge 1; Erol vd., 2010).

Çizelge 1. Mineral azot yönünden yağlık güde konvansiyonel ve organik üretimin karşılaştırılması (Erol vd., 2010)*

	Konvansiyonel				Organik				
	NO_3^- Z	NO_2^- Z	NH_4^+ Z	N_{top}	NO_3^- Z	NO_2^- Z	NH_4^+ Z	N_{top}	
Gönen	15.0	7.3	2.8	25.1	Ayvalıpınar	32.4	0.8	2.1	35.4
Yakaören	11.7	0.8	0.3	12.8	Yakaören	11.8	0.8	1.7	14.3
Ayvalıpınar 1	61.1	1.6	1.6	64.3	Deregümü 1	17.1	1.5	2.8	21.4
Ayvalıpınar 2	40.5	0.9	0.1	41.6	Deregümü 2	16.6	0.8	0.1	17.5
Senir 1	15.2	14.7	7.1	36.9	Pazarköy 1	13.7	1.0	1.1	15.8
Senir 2	17.7	9.6	3.5	30.8	Pazarköy 2	29.1	1.1	3.1	33.3
Deregümü	17.7	0.9	1.6	20.2	Pazarköy 3	31.0	0.9	0.5	32.4
Ortalama	25.6	5.1	2.4	33.1	Gönen	14.5	9.7	4.2	28.5
					Andıçlı 1	61.0	12.8	3.4	77.2
					Andıçlı 2	38.5	12.6	5.9	56.9
					Andıçlı 3	33.2	12.8	15.5	61.4
					Gelincik	25.6	0.7	0.2	26.5
					Ortalama	27.0	4.6	3.4	35.0

*değerler $\mu\text{g N g}_{\text{kuru toprak}}^{-1}$

Bu sonuçlar bir besin elementinin, bitkinin ihtiyacı olduğu zamanda, ihtiyacı olduğu miktar ve formda kök bölgesinde bulundurulmasına dayanan esas kuralı sağlamada, kontrollü olarak mineral gübreleme yapılmasının, organik tarım sisteminde de kabul görmesi gerektiğini gösterir niteliktedir. Mineral gübre karşıtı yaklaşımlar, bu gübrelere üretimi esnasında doğaya salınan CO_2 yanında, çevrenin belirgin biçimde kirletildiği

yönünde haklı eleştirilerde bulunmaktadır. Ancak, sınırlı miktarlarda da olsa, çevrede var olan kaynaklardan, çevre kirliliğine neden olmadan bazı mineral gübrelerin elde edilmesi de olasıdır. Örneğin, etlik piliç yetiştirilen barınaklarda atmosfere salınan amonyak gazının, organik tarımda kullanımına izin verilen bir asitle tutularak mineral gübreye çevrilmesi mümkündür. Bu şekilde çevreyi kirletmek bir yana, atmosfer kirliliğini azaltırken, kümes içinde çalışan personelin de sağlığı korunabilmektedir (Şekil 1; Coşkan ve Atılgan, 2018). Sistemde içerisine küre şeklinde cisimlerin yerleştirildiği kabın içinden bulunduğu ortamın atmosfer havası geçirilmekte, havadaki amonyak sisteme konulan asitle tepkimeye girerek mineral gübre formlarından birisi oluşmaktadır. Çevreyi korurken elde edildiği ve birden çok yarar sağladığı halde bu gübrenin organik tarımda kullanımına izin verilmemektedir. Konvansiyonel tarımda, toprak ve bitki analizlerine dayanan, verilen gübrenin dahil olacağı tüm reaksiyonların bilincinde olarak yapılan mineral gübrelemenin çevreye ve insan sağlığına olumsuz etkisinin en az düzeyde olacağını söylemek yanlış olmaz. Tarımsal mücadele ilaçları ve sentetik bitki büyüme düzenleyiciler bu eserin kapsamı dışındadır.



Şekil 1. Amonyak tutma düzeneği (Coşkan ve Atılgan, 2018)

Özetle, mineral gübrelerin maksimum ürüne ulaşmada önemli ajanlar olduğu ve bitkilerin besin elementlerini mineral formda aldıkları bilinmektedir. Bu gübrelerin çevreyle dost bir teknolojiyle üretilmesi ve kontrollü biçimde kullanılması halinde meydana gelecek risklerin, organik tarım sisteminde de var olduğu ortadadır. Çeşitli bulgulara dayanan bu yargının ışığında, bu eserde sözü edilen yeni yaklaşımların mineral gübrelerle birlikte kullanımının gerekli olduğu değerlendirilmektedir.

Mikrobiyal gübreler

Çeşitli mikroorganizmaları içeren, bitki gelişimini, ürün verimini veya ürün kalitesini artırmak gibi hedeflerle üreticilere sunulan formülasyonlara mikrobiyal gübre, bu gübrelerin tarım alanlarına uygulanmasına ise mikrobiyal gübreleme denilmektedir. Mikrobiyal gübre olarak en fazla kullanılan mikroorganizmalar bakteriler, mantarlar ve algler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bitki gelişimini teşvik eden bakteri kelimelerinin İngilizce baş harflerinden oluşan PGPR ve yine bitki gelişimini teşvik eden mantar kelimelerinin İngilizce baş harflerinden oluşan PGPF kısaltmalarına sıklıkla rastlanılmaktadır.

Bitki gelişimini teşvik eden rhizobakteriler (PGPR) rhizosfer bölgesinde yaşam süren, fosfor yarayışlılığını artırma, siderefor üretme, biyolojik azot fiksasyonu yapma, ACC (1-aminocyclopropane-1-carboxylate) deaminaz, hormon ve antifungal madde üretme gibi çok farklı mekanizmalar kullanarak bitki gelişimini artıran mikroorganizmalardır (Bhattacharyya ve Jha, 2012). Artan tarımsal üretimin ihtiyaçlarını daha az kimyasal kullanarak ve çevreyi kirletmeden karşılamak ancak bir grup mikroorganizmanın kullanımıyla mümkündür. Kök bölgesini teşvik eden rhizobakteriler (PGPR) olarak adlandırılan bu mikro canlılara dair araştırmalar 20. yüzyılın başlarından itibaren başlamıştır (Ruzzi ve Aroca, 2015). PGPR uygulamasının bir diğer nedeni de, son zamanlarda tüketici davranışlarında meydana gelen değişimdir. Zira son yıllarda tüketicilerin bahçe tarımı ile elde edilmiş ürünlerde kaliteye verdikleri önem tüm dünyada giderek artmaktadır (Zaidi vd., 2015). Olivares vd. (2015) pestisit kalıntısı endişesi nedeniyle her yıl tüketicilerin yaklaşık %20'sinin organik tarım ürünlerine olan taleplerinin arttığını bildirmiştir. PGPR etki mekanizması direk ve dolaylı olarak iki başlıkta toplanmaktadır. Direk etkiler, mikroorganizmaların bitkiye azot, fosfor ve gerekli diğer elementlerin taşınmasını sağlaması veya bitkinin hormonal dengesini düzenleme şeklinde gerçekleşirken, dolaylı etkiler, çeşitli patojenlerin bitki gelişimini inhibe etmesini engellenmesi şeklinde olmaktadır (Ahemad ve Kibret, 2014).

Kloepper (1994)'e göre PGPR'lerin taşınması gereken özellikler şunlardır:

- Kök çevresinde kümeleşecek kadar fazla sayıda olmalıdırlar,
- En azından görev yapacakları süre boyunca hayatta kalabilmeli, bölünebilmeli ve diğer mikroorganizmalarla rekabet edebilmelidir.
- Bitki gelişimini teşvik etmelidir.

Ahemad ve Kibret (2014) PGPR'lerin etki mekanizmalarını şu başlıklar altında incelemişlerdir:

Direk mekanizmalar:

- Azot fiksasyonu
- Fosfor yarayışlılığının artması
- Siderefor üretimi
- Bitki hormonu üretimi
- 1-Aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) deaminaz üretimi

Dolaylı mekanizmalar:

- Hastalıkların kontrolü
- Zararlı mikroorganizmaların elimine edilmesi

Tarımsal üretimde kullanılan yararlı mikroorganizmalar söz konusu olduğunda azot fikse etme yeteneği olan *Rhizobium* bakterilerinden öncelikli olarak söz etmek gerekir. Her ne kadar yüz yıldan daha uzun süredir biliniyor olsa da günümüzde biyolojik azot fiksasyonuna yeterince değer verildiğini söylemek güçtür. *Rhizobium* bakterileri uzun süre baklagil yetiştirilmeyen topraklarda bulunmazlar veya inaktif durumda bulunurlar. Bu nedenle, bir alanda ilk kez baklagil yetiştirilecekse veya o alanda bir baklagil uzun süredir yetiştirilmiyorsa, ilgili bakterinin seçilecek aşılama yöntemlerinden (Coşkan ve İşler, 2009) birisi kullanılarak aşılama yapılmalıdır. Daha önce soya bitkisi yetiştirilmemiş Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti topraklarında yürütülen bir denemede, farklı teşvik azotu uygulamalarının ve farklı bakterilerle aşılamanın nodül oluşumunu etkilediği ancak aşılama yapılmadığında (kontrol uygulaması) hiç nodül oluşumu gözlenmediği ortaya konmuştur (Çizelge 2; Biren, 2002). Benzer durum Isparta koşullarında da gözlenmiş, daha önce soya yetiştirilmemiş alanlarda yapılan soya tarımında nodülasyon gerçekleşmemiştir (Coşkan vd., 2009).

Çizelge 2. KKTC topraklarına bakteri aşılmasının bitki başına nodül oluşumuna etkisi (Biren, 2002)

Soya çeşidi	B1		B2		B3	Kontrol	Ortalama
	N4	N8	N4	N8	N4		
Sa88	14.2 ab	11.7 a-c	2.9 bc	0.6 c	13.4 ab	-	8.6 B
Asgrow	11.2 a-c	19.9 a	0.8 c	2.5 bc	4.9 bc	-	7.9 B
Ortalama	12.7 a	15.8 a	1.9 b	1.6 a	9.1ab	-	
G. ortalama	14.25 A		1.75 BC		9.1 B		

Rhizobium/Bradyrhizobium bakterilerinin farklı koşullarda baklagil bitkilerine aşılama durumunda, dekara 10 ila 30 kg azot bağlanabileceği çok sayıda araştırma ile ortaya konmuştur. Takip eden dönemlerde, baklagil olmayan bitkilere de fosfor yararlanılabilirliğini artırmak için *Rizobium* bakterilerinin aşılama çalışmaları yapılmış ve olumlu sonuçlara ulaşılmıştır (Afzal ve Bano, 2008; Sridevi ve Mallaiah, 2009; Beltran-Medina vd., 2023).

Mikoriza mantarları, tarımsal üretimde fosfor ve çinko başta olmak üzere besin elementi alımını ve bitki gelişimini artırmada (Ortaş, 2010; Ortaş vd., 2011), bitkinin suya daha kolay ulaşımını sağlamada ve hastalık ve zararlılara karşı bitkinin dayanıklılığını artırmada kullanılabilecek potansiyeli olan önemli bir mikroorganizmadır. Ağır metallerle kontamine olmuş topraklarda yetiştirilen bitkiler, mikoriza ile aşılandığında, aşılama oranla çok daha iyi gelişim göstermişlerdir (Akay ve Karaarslan, 2011). Bu bulgu mikorizanın biyoremediasyonda kullanılabileceğini göstermesi bakımından önemlidir. Bitki besleme özellikleri dışında mikorizaların bazı hastalıklara karşı da etkili biçimde kullanılabileceğine dair bulgular da vardır (Bastas vd., 2006).

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

Bir dönem araştırmacıların üzerinde çok sayıda araştırma yürüttüğü bu mikroorganizma ile ilgili araştırmalar görece azalmıştır. Araştırmaların azalmasındaki nedenlerden biri yüksek ihtimalle mikoriza mantarlarının ortamda yeterli fosfor varlığında yeterince çalışmaması (Haktanır ve Arcak, 1997; Ortas, 2003) sonucu pratikte kullanımının sınırlı olmasından kaynaklanmaktadır. Diğer bir neden de mikoriza mantarlarının steril edilmiş topraklarda iyi sonuç verirken (Ortas, 2003), işlenen tarım topraklarında etkinliğinin sınırlı kalması olabilir. Bazı çalışmalarda ise mikoriza etkinliği beklenildiği kadar belirgin olmamıştır. Örneğin, acı bakla bitkisinde mikoriza aşılmasının bitki gelişimine etkisi önemsiz bulunurken, kükürt ve kalsiyum içeriğinde artış, mangan içeriğinde azalma görülmüştür (Akay vd., 2016). Son yıllarda mikorizanın gıda güvenliği (Yang vd., 2023) ve karbon döngüsü (Ortaş vd., 2017) üzerine etkilerine yönelik çalışmalara rastlanılmaktadır.

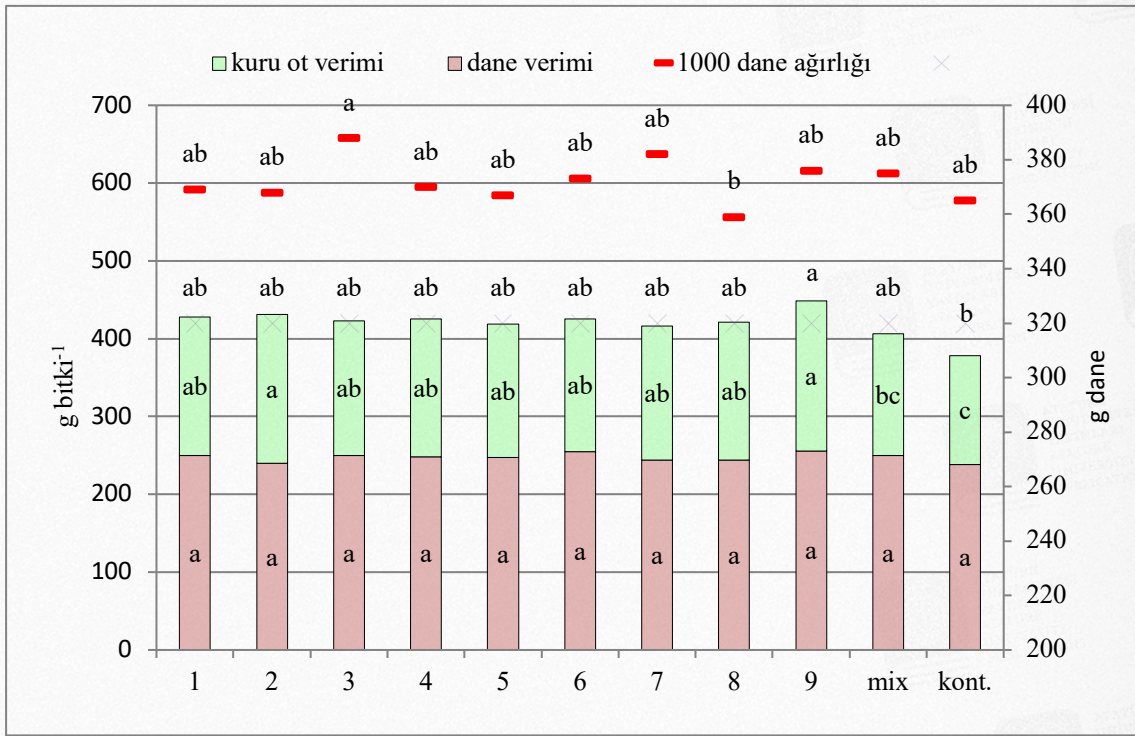
Bakteriler arasında *Bacillus subtilis*, mantarlar arasında ise *Trichoderma harzianum* tarımsal üretimde güncel olarak sıklıkla kullanılan mikroorganizmalar arasında yer almaktadır. Bu mikroorganizmaların bazı etki mekanizmaları Çizelge 3'te yer almaktadır. Yapılan çalışmalarda bitki gelişimini teşvik eden mikroorganizmaların temelde bitkilerin gelişiminde, stres etkilerini azaltmada ve patojenlere karşı korumada etkili olmaktadır.

Çizelge 3. *Bacillus subtilis* ve *Trichoderma harzianum*'un etki mekanizmaları

<i>Bacillus subtilis</i>		<i>Trichoderma harzianum</i>	
Bitki gelişiminde ve verimde artış	Mena-Violante ve Olalde-Portugal, 2007.	Bitki gelişiminde artış	Kleifeld ve Chet, 1992.
Fitohormon üretimi	Sivasakthi vd., 2014.	Cu, P, Fe, Zn, Mn ve Na alımında artış	Yedia vd., 2001.
N, P, K, Fe alımında artış		Patojenlerin biyolojik kontrolü	Elad, Chet ve Katan, 1980.
Oksin üretimi	Lim ve Kim, 2009.	Fosfor çözme	Vinci vd., 2018.
Stres koşullarının etkilerini hafifletme	Upadhyay vd., 2012.	Stres etkisini hafifletme	Yogendra ve U, 2014.
İndol asetik asit ve oksin üretimi	Kashyap vd., 2019.		
Fosfat çözme			
Siderofor salgılama			
Patojen biyokontrolü			

Bitki gelişimini teşvik eden mikroorganizmalar doğadan izole edilen, yapılan testler ile etkinliği belirlenen mikroorganizmalar olup, tarım alanlarında bu tür mikroorganizmaların varlığı kuşkusuzdur. Ancak var olan bu mikroorganizmaların birçok nedenle bireysel performanslarını gösteremedikleri düşünülmektedir. Bu hipotezden yola çıkarak, Isparta ilindeki 3 orman alanından 3'er toprak alınarak her birinden 3 bakteri izole

edilmiş ve Adana ilinde bu bakteriler denenmiştir. Denemeye aşılama yapılmayan kontrol uygulamasına ek olarak tüm bakterilerin karıştırıldığı mix uygulaması eklenmiştir (Mutlu ve Coşkan, 2018). Elde edilen sonuçlar (Şekil 2) oldukça umut verici bulunmuş, tüm bakteriler kontrole oranla kuru ot verimini ve dane + kuru ot verimini artırmıştır. Benzer şekilde, 1000 dane ağırlığı da uygulamalardan olumlu olarak etkilenmiştir. Denemede 9 numaralı bakteri en fazla umut vaat eden bakteri olarak belirlenirken 3 numaralı bakteride 1000 dane ağırlığı en yüksek bulunmuştur. Dane veriminde istatistiki düzeyde belirgin sonuçlara ulaşılamamıştır. Ancak, Şekil 2’de yer alan verilere dayanılarak silajlık mısır üretimi için 9, tohumluk üretimi için 3 numaralı bakterilerin önerilebileceği söylenebilir. Bu denemede ulaşılan en önemli bulgu, rastgele alınan 9 topraktan en az 2 tanesinde umut vaat eden izolata ulaşılmış olmasıdır. Diğer deyişle farklı bir ekosistemden ve farklı bir bölgeden alınan bakterilerde başarılı izolat bulma ihtimali yüksek olmaktadır.

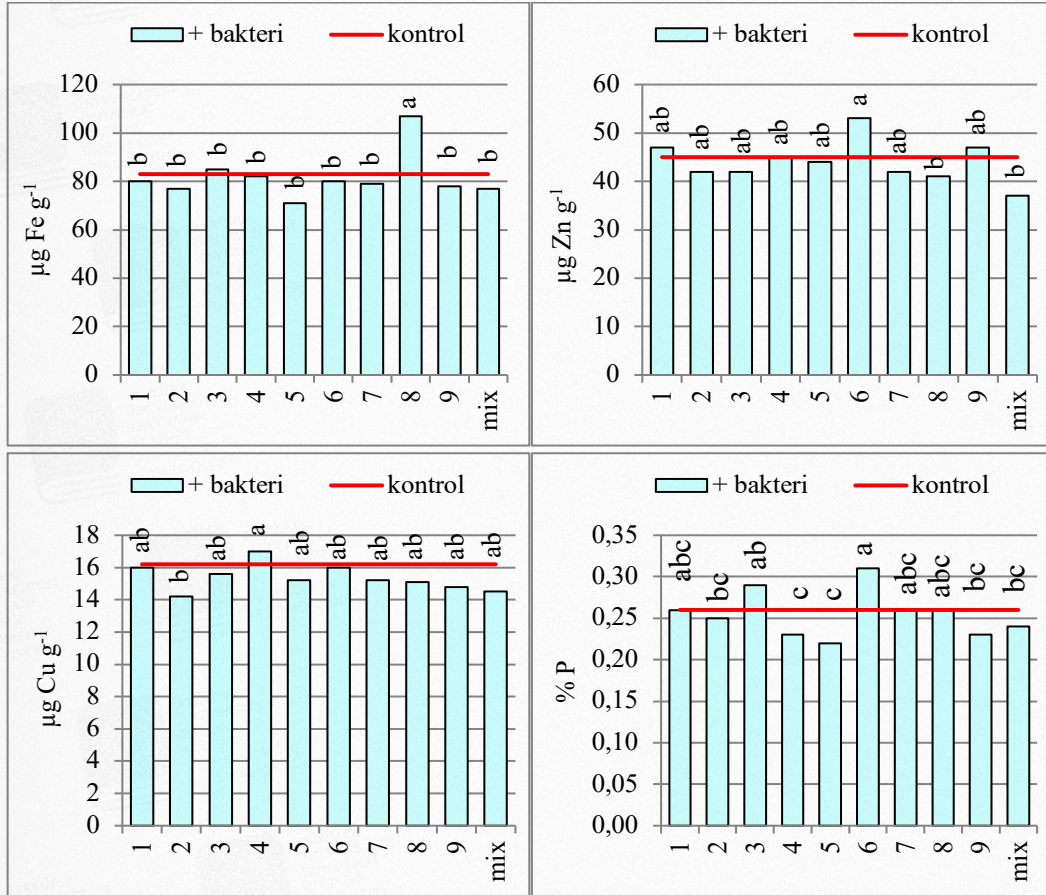


Şekil 2. PGPR uygulamalarının mısır bitkisinin kuru ot ve dane verimi ile 1000 dane ağırlığı (Mutlu ve Coşkan, 2018)

Mikrobiyal gübreler tek tek veya konsorsiyum olarak uygulanabilir de tek bir mikroorganizmanın tek bir hedef için kullanılmasının daha olumlu sonuçlar verdiğine dair bulgular vardır. Her mikroorganizma çeşidinin farklı bir özelliği geliştirme potansiyeli olduğunu gösteren Şekil 3 incelendiğinde, demir konsantrasyonunu 8, çinko konsantrasyonunu 6, bakır konsantrasyonunu 4 ve fosfor konsantrasyonunu 6 numaralı bakterinin artırdığı görülmektedir. Şekil 3’te yer alan bulgularda fosfor ve çinko konsantrasyonunun aynı bakteri tarafından artırılmış olması dikkat çekici bir durumdur. Zira fosfor ve çinko arasında antagonistik bir ilişki olduğu bilinmektedir (Kacar ve Katkat, 2015). Yine Şekil 3’te yer alan bulgulardan, 2 numaralı bakterinin Cu konsantrasyonunu belirgin olarak azalttığı görülmektedir. Belirli bir elementin alımının bakteriler yardımıyla

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

azaltılması, tarım alanlarında güvenli olduğu düşüncesiyle bol miktarda kullanılan bakırlı preparatların (Demircan ve Yılmaz, 2005) neden olduğu bakır birikiminin olumsuz etkilerini azaltmak bakımından önemlidir. Benzer biçimde ağır metallerce kirlenmiş topraklarda da ilgili ağır metalin alınmasını azaltmak için bakterilerin kullanılabileceğine dair bulgular vardır (Demirbaş vd., 2020).



Şekil 3. Püskül oluşumu döneminde mısır bitkisinin Fe, Zn, Cu ve P konsantrasyonları (Mutlu ve Coşkan, 2018).

Bitki gelişimini teşvik eden mikroorganizma izolasyonu için başlangıç noktası olarak farklı bölge ve farklı ekosistem seçilmesi başarı şansını belirgin biçimde artırmaktadır. Yapılan bir çalışmada farklı illerden alınan toprak örneklerinden izole edilen bakteriler Isparta ilinde denenmiş ve Isparta'dan izole edilen bakterilerin Isparta toprağında etkili olmadığı belirlenmiştir (Çizelge 4; Jawad ve Coşkan, 2019). Bu çalışmada ortalama değerler itibariyle Isparta'dan izole edilen topraklardan elde edilen bitki boyu değeri kontrol uygulaması ile aynı olmuştur. En yüksek değerlere ise Isparta ilinden oldukça uzak bir noktada bulunan Sivas ilinin orman toprağından izole edilen bakterilerden elde edilmiştir. Bu bulgu uyarınca bir bölgede kullanılacak bakterinin başka bölgeden izole edilmesinin daha iyi sonuç verebileceği söylenebilir. Diğer taraftan, derin bir araştırma ile bir bölgede kullanılabilecek bir bakterinin aynı bölgeden izole edilme ihtimalinin hiç olmadığını düşünmek de yerinde bir yaklaşım olmaz.

Çizelge 4. Farklı bölgelerden izole edilen bakterilerin Isparta toprağında yetiştirilen mısır bitkisinin boyuna (cm) etkisi (Jawad ve Coşkan, 2019)

İller	İzolatlar				Ortalama
	1	2	3	4	
Adana	111 abc	119 abc	115 abc	113 abc	115 A
Antalya	112 abc	112 abc	118 abc	120 abc	116 A
Hatay	122 abc	123 abc	113 abc	111 abc	117 A
Isparta	98 bc	108 abc	93 c	114 abc	103 B
Ordu	125 abc	105 abc	118 abc	111 abc	116 A
Sivas	116 abc	120 abc	127 a	121 ab	121 A
Kontrol	102 bc	102 bc	102 bc	102 bc	102 B

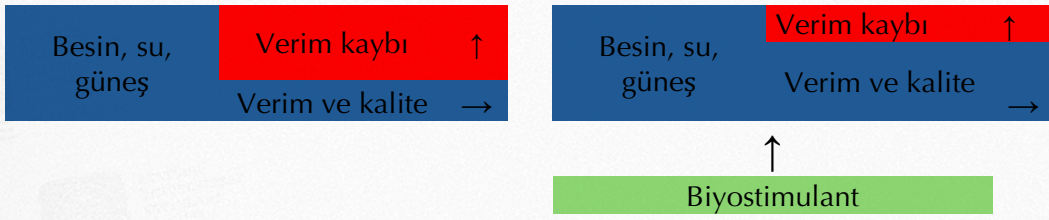
Bölüm özeti

- Tarımsal üretimde mikroorganizma kullanımının birden fazla yararı olduğunu gösteren çok sayıda çalışma vardır.
- Gübrelerin etkin biçimde kullanılmadığı bölgelerde, gübre kullanım etkinliğini artırmak için mikroorganizma kullanımına önem verilmelidir.
- Bitki gelişimini teşvik eden organizmalar topraklarda olsa bile bireysel performanslarını sergileyemeyebilirler.
- Etkin mikroorganizma izolasyonu için tarım alanı dışındaki farklı ekosistemler ve farklı coğrafi bölgelerin seçilmesinde yarar olduğuna dair bulgular vardır.
- Bakterilerin konsorsiyum yerine tek başlarına ve tek bir amaç için kullanılmasının daha yararlı olduğu düşünülmektedir.

Biyostimulantlar

Genel olarak bitkilerin gelişimini, beslenmesini ve kalitesini geliştiren çeşitli bileşikler ile organizmalar biyostimulant olarak adlandırılmaktadır (Külahtaş ve Çokuysal, 2016). Biyostimulantlar bitki gelişimini sınırlayan veya ürün kalitesini düşüren koşulun etkilerini hafifleterek bitkide meydana gelen verim kaybını azaltmaktadır (Şekil 4; Brown ve Saa, 2015). Diğer bir deyişle biyostimulantlar bitkilerin kendilerine sağlanan koşullardan ve girdilerden daha fazla yararlanmasını tesis etmektedir. Bitki gelişimini artıran biyolojik kökenli substratlar ve organizmalar, basit veya kompleks organik bileşikler, mikrobiyolojik gübreler, humik ve fulvik asitler, amino asitler, deniz yosunu, kitosan, esensial yağlar, toprak solucanı gibi çeşitli canlıların salgıları ve bunlara benzer materyaller biyostimulant sınıfında yer almaktadır. Bu çalışmada mikrobiyal gübreler ile solucan gübresi ayrı başlıklar altında irdelenmiştir. Geri kalan materyaller arasında yer alan humik+fulvik asitlerden, biyolojik biyostimulant olarak solucan salgılarından ve amino asitlerden aşağıda söz edilecektir.

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)



Şekil 4. Biyostimulantların etkisi (Brown ve Saa, 2015)

Humik+fulvik asitler

Humik-fulvik asitler (HFA) organik maddenin alkalide çözülen bölümüdür. Esasen humik asitler sadece alkali çözümlerle elde edilirken fulvik asitler hem alkali hem de asidik çözümlerle ekstrakte edilebilirler. HFA çiftlik gübresi de dahil olmak üzere her organik maddeden elde edilebilir ancak bu materyallerin HFA içerikleri oldukça düşüktür. Bu nedenle HFA ekstraksiyonu için genellikle %40 ve daha yüksek oranda HFA içeren leonardit, başlangıç materyali olarak tercih edilmektedir. Ekstrakt alımından daha önceleri NaOH kullanılırken, topraklarda sodyumun neden olduğu olumsuzluklar göz önüne alınarak KOH kullanımına geçilmiş, böylece potasyum-humat elde edilmeye başlanmıştır.

Humik-fulvik asit uygulamalarının bitkilerin büyümesi ve beslenmesi üzerine olumlu ve olumsuz etkide bulunduğu çalışmalar literatürde yer almaktadır. Olumlu etkinin derecesi, HFA uygulanan topraklara bağlı olarak değişmektedir. Örneğin Çizelge 5'te yer alan değerler incelendiğinde, tüm uygulamalar aynı olmasına rağmen Samsun toprağında HFA etkisi daha belirgin olmuştur. Denemeye konu edilen topraklar arasında pH'sı en düşük olan toprağın Samsun toprağı olması bu sonucu doğurmuş olabilir. Zira isminde "asit" kelimesi olmasına rağmen HFA'nın pH'sı 8'in üzerinde, çoğu zaman 9-10 aralığında olabilmektedir. Bu durum ekstraksiyonda kullanılan alkali çözeltinin miktarı ve derişimi ile ilintilidir. Deneme topraklarının önemli bölümünün pH'sının 8 civarında olması ve uygulanan HFA'nın yüksek pH'sının toprak pH'sını daha da yukarıya taşıması ile olumsuz sonuçlar çıkmış olması kuvvetle muhtemeldir.

Çizelge 5. HFA uygulamalarının farklı bölge topraklarının mikrobiyal biyomas karbonu (MBC) içeriğine etkisi ($\mu\text{g MBC g}_{\text{dry soil}}^{-1}$) (Erol ve Coşkan, 2016)

Bölgeler	Dozlar				Ortalama
	0	1	2	3	
Diyarbakir	198 ab	123 b-e	177 a-c	108 c-f	151 b
Konya	25 fg	87 d-g	97 c-g	137 b-d	87 cd
Urfa	43 e-g	54 d-g	108 c-f	69 d-g	69 d
Samsun	231 a	238 a	249 a	245 ab	241 a
Kutahya	83 d-g	40 e-g	22 g	40 e-g	46 d
Eskisehir	105 c-g	22 g	115 c-e	114 c-e	89 cd
Antalya	94 c-g	112 c-e	195 ab	123 b-e	131 bc
Ortalama	111.3 ab	96.4 b	137.5 a	119.3 ab	

HFA'ların zeytin karasuyu ile kirlenmiş toprakların rehabilitasyonunda kullanılabilirliğini konu eden bir çalışmada (Doğan vd., 2016) HFA kullanımının zeytin karasuyunun neden olduğu topraktaki mikrobiyal aktivite düşüklüğünü gidermede yararlı olduğuna dair sonuçlara yer verilmiştir. Diğer yandan, yüksek oranda HFA kullanımı yarar yerine zarar getirebilmekte (Kıraç ve Coşkan, 2017) olup bölgesel doz çalışmaları önem arz etmektedir.

HFA'nın ekstrakte edildiği leonarditin doğrudan topraklara uygulanmasının olumlu etkilerinin olduğu bilinmektedir. Leonardit uygulaması ile bitkilerin besin elementi alımı ile toprakların biyolojik aktivitelerinin artırılması olasıdır. Yürütülen bir çalışmada, görece alımı zor olan Ca alımını artırmak için doğal bir kaynak olan dolomit ile leonarditin bir arada uygulanmasının dozlara bağlı olarak Ca alımını artırdığı belirlenmiştir (Coşkan vd., 2017). Ancak, bu artış Zn alımında görülmemiş, yüksek dozların olumsuz etkide bulunabileceği uyarısı (Kıraç ve Coşkan, 2017) ile uyumlu olarak artan leonardit dozu Zn alımını sınırlamıştır. Leonarditin bu olumsuz etkisinden yararlanarak nitrifikasyonu azaltma amacıyla yürütülen denemenin sonuçları bu etkinin minör olduğunu, hatta leonarditin bazı dozlarının azot döngüsünü hızlandırdığını göstermiştir (Aydın vd., 2018). Benzer olarak, Furkan ve Türkmen (2023) 60 günlük inkübasyonda, humik asit uygulamalarının amonyum üzerine etkisinin belirgin olmadığını bildirmiştir. Yürütülen bu çalışmada ayrıca, humik asit uygulamalarının enzimler üzerindeki etkisinin istatistiki düzeyde anlamlı olduğu, humik asidin mikrobiyal gübrelerle beraber uygulanmasının uzun dönem inkübasyonda incelenen tüm parametreleri etkilediği gösterilmiştir (Furkan ve Türkmen, 2023).

Piyasada bulunan sıvı formdaki humik-fulvik asitlerin üzerinde bildirilen yüzde içerik çoğu zaman gerçekçi değildir. Basit bir hesaplama ile, %40 humik-fulvik asit içeren leonarditin içindeki humik fulvik asit çözeltiye alınabilir, elde olunabilecek en yüksek oran %10-13 aralığında olacaktır. Kimi madenlerde %80 humik-fulvik asit içeren leonardit yataklarına rastlanılmaktadır. Üretimde bu yüksek içerikli leonardit kullanılsa dahi elde edilecek sıvı ürünün humik-fulvik asit içeriği %20-26 aralığında olabilir. Alınan ürünün gerçekte hangi içerikte olduğunu kabaca belirlemek mümkündür. Bunun için darası alınmış 1 litrelik kaba ürün konulup, terazi yardımıyla tartılıp, bulunan rakamdan 1 çıkartılarak yaklaşık % içeriğe ulaşılabilir. Örneğin, 1 litre çözelti darası hariç 1.123 kg ağırlığındaysa, 1.123 - 1'den kabaca %12 humik-fulvik asit içerdiği söylenebilir.

Solucan salgıları

Canlılar tarafından üretilen biyostimulantlara örnek olarak, solucan bünyesinden geçen topraklara solucan tarafından ilave edilen organik bileşikler verilebilir. Toprağın solucan bünyesinden geçmesi biyolojik aktivitesinin belirgin biçimde artmasına neden olmaktadır (Kızılkaya ve Hepşen, 2007). Bu durum büyük olasılıkla solucan bünyesinden geçerken toprağa ilave edilen organik bileşiklerle ilintilidir. Şekil 5'te solucan bünyesinden geçen toprağın oluşturduğu toprak yüzeyindeki yükselti ve bu yükseltinin yüzeyindeki parlak ve kaygan yapı görülmektedir. Bu şekilde solucan bünyesinden geçen toprakların özelliklerinin değiştiğine işaret eden çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Kızılkaya ve Hepşen, 2007; Kızılkaya, 2008; Ateş ve Coşkan, 2016).



Şekil 5. Solucan sindirim sisteminden geçen toprağın görünümü

Tüm koşulların sabit tutularak gübresiz, organik ve mineral gübreli koşullarda solucan aşılmasının etkisinin belirlendiği bir çalışmada (Çizelge 6) gübre uygulaması yapılmadığında bitkinin yeşil aksam ağırlıklarının dramatik biçimde düşük kaldığı görülmüştür. Organik gübre uygulandığında ise yeşil aksam ağırlıklarının belirgin biçimde arttığı ve fakat solucan uygulamalarının etkili olmadığı gibi ilginç bir sonuç ortaya çıkmıştır. Zira, toprak solucanları yaşamlarını devam ettirmek için belirli miktarda organik maddeye ihtiyaç duymaktadırlar (Sims ve Gerard, 1985). Mineral gübreleme ile solucanların bir arada bulunduğu uygulamada ise en yüksek yeşil aksam ağırlığı değerlerine ulaşılmıştır. Solucan salgılarının bitkiyi büyümeye teşvik ettiği bilinmektedir. Ancak, bitkilerin büyümeleri için gerekli mineral elementlerin yeterli düzeyde toprakta bulunması zorunludur. Bu pencereden bakıldığında, organik gübrelerin mineralizasyonu için yeterli süre bulunmadığından toprakta yeterli besin elementi bulunmadığı için organik gübrelemede yeşil aksam yeterince gelişmemiş olabilir. Mineral gübreli uygulamada ise

bir yandan solucanların salgıladıkları büyüme düzenleyici organik bileşiklerin ortamdaki varlığı diğer yandan bitkinin beslenme ihtiyacını karşılaması, elde edilen en yüksek yeşil aksam ağırlığı değerini açıklar niteliktedir.

Çizelge 6. Solucan aşılmasının mısır bitkisi yeşil aksam ağırlığına (g) etkisi (Ateş ve Coşkan, 2016)

	- gübre	Org. Güb.	Min. Güb.	Ortalama
- solucan	1,09 d	18,24 C	25,17 b	14,83 B
3 solucan	0,99 d	17,55 C	23,41 b	13,99 B
6 solucan	1,15 d	18,18 C	31,51 a	16,95 A
Ortalama	1,08 C	17,99 B	26,70 A	

Amino asitler

Aminoasitlerin bitkilere veya damla sulama sistemleri ile toprağa uygulanmasının bitkide olumlu etkileri olduğunu gösteren çok sayıda çalışma yürütülmüştür. Amino asitlerin farklı büyüme aşamalarında, özellikle kardeşlenme ve çiçeklenme dönemlerinde yaprakdan uygulanması sonucu bitkinin stres koşullarına dayanımı artmakta, daha kaliteli ve daha fazla ürün alınabilmektedir. Aminoasitlerin fizyolojik ve biyokimyasal süreçleri uyardıkları, protein ve karbonhidrat sentezinde görev aldıkları, hücre bölünmesinden, IAA ve GA3 gibi bazı doğal büyüme hormonlarının üretilmesinden sorumlu olduğu ve böylece verim ve kaliteyi artırdığı düşünülmektedir (Baqir vd., 2019). Baqir vd. (2019) tarafından derlenen aminoasitlerin bitkideki rolleri Çizelge 7’de sunulmuştur. Çizelge 7’de görüldüğü üzere aminoasitlerin bitkide hayati görevleri bulunmaktadır. Çizelge 7’de gösterilmemiş olan, aminoasitlerin bir diğer görevi de azot metabolizması süreçlerinde görev almalarıdır (Atilio ve Causin, 1996). Buğday bitkisine iki farklı aminoasitin 100 ve 125 ml da⁻¹ gibi oldukça düşük dozlarda uygulandığı denemede verimde %5.4 ve %11 oranında artış kaydedilmiştir. Verim dışında, tanede belirlenen kalite parametrelerinde ve bazı besin elementi içeriğinde de gelişme kaydedilmiştir (Popko vd., 2018). Gıda güvenliğinin ön plana çıktığı günümüzde, buğday gibi stratejik bir üründe %11 verimin beraberinde kalite artışı oldukça büyük bir önem taşımaktadır. Küresel ısınma sonucu meydana gelen su kısıtının neden olduğu stres koşulları tarımsal üretimi olumsuz yönde etkilemektedir. Aminoasitler, stres koşullarının olumsuz etkilerinin hafifletilmesi için de kullanılabilir önemli ajanlar arasında yer alırlar (Teixeira vd., 2020). Aminoasitler farklı bitkisel ve hayvansal kaynaklardan çeşitli yöntemlerle elde edilebileceği gibi (Kulahtaş ve Çokuysal, 2016), bitki gelişimini teşvik eden mikroorganizmalarca da salgılanabilmektedir (Güneş, 2013).

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

Çizelge 7. Aminoasitlerin rolleri (Baqir vd., 2019)

Amino asidin adı	Sembolü	Bitkideki rolü
Glycine	Gly	Klorofil oluşumunu artırır, vejetatif büyümeyi teşvik eder, fotosentezi aktive eder, verimliliğini artırır, tozlaşmada rol oynar.
Alanine	Ala	Bitki büyüme hızını etkiler ve klorofil oluşumunu teşvik eder
Valine	Val	Büyüme hızı, kök oluşumu ve tohum üretimi üzerine etkilidir.
Methionine	Met	Etilen oluşum döngüsüne girdiği için meyve olgunlaşmasını hızlandırır ve kök aktivasyonunda rol alır.
Isoleucine	Lle	Sürgün büyümesinde ve erkencilikte etkilidir.
Thereonine	The	Bitkinin hastalıklara toleransını artırır.
Cysteine	Cys	Bitkilerdeki yaşamsal süreçlerin düzenlenmesi ile hastalıklara karşı direncin artırılmasında rol alır.
Phenylalanine	Phe	Bitki hücreleri ile embriyo oluşumunu geliştirir.
Serine	Ser	Bitkinin hastalıklara karşı toleransını artırır, klorofili aktive eder ve bitki içindeki hormon dengesinde rol oynar.
Tyrosine	Tyr	Bitkinin hastalıklara toleransını artırır.
Lysine	Lys	Sürgün büyümesinde ve erkencilikte etkilidir.
Glutamic Acid	Glu	Sürgün büyümesinde ve erkencilikte etkilidir.
Aspartic Acid	Asp	Bitkinin hastalıklara direncini geliştirir.
Arginine	Arg	Bitkinin sıcaklık, don, kuraklık ve tuzluluk gibi zor koşullara karşı toleransı artırır. Klorofil oluşumunda ve kök oluşumunu artırmanın yanı sıra hücre bölünmesi ve poliamid oluşumunda da rolü vardır (Hozayn ve Abd El-Monem, 2010).
Hydroxy Proline	Hyp	Bitkinin sıcaklık, don, kuraklık ve tuzluluk gibi zor koşullara karşı toleransı artırır.
Proline	Pro	Bitkinin zor koşullara karşı toleransın artırılması, polen çimlenmesinin etkinleştirilmesi, ozmoz potansiyelinin düzenlenmesi, hücre protoplazmasının kolloidal özelliklerinin korunması ve serbest radikallerin olumsuz etkisinin giderilmesi olaylarında rol alır.
Hydroxy Lysine	Hyl	Bitki gelişimi ve erkencilikte etkilidir.
Histidine		Bitki gelişimi, erkencilik, ve bitkideki fosfor etkisinde rol oynar.
Tryptophan	Try	Bitki büyümesi için gerekli olan oksin IAA oluşumuna yardımcı olur ve erkencilikte rol oynar.

Bölüm özeti

- Biyostimulantlar, girdilerin kullanım etkinliğini artırarak kayıpları azaltan ve verimde artış sağlayan ajanlardır.

- Organik madde ilavesi ve koruyucu toprak işleme teknikleriyle toprak canlılarının sayısı ve faaliyeti artırılarak doğal biyostimulant salgılanması sağlanabilir.
- Bu grupta önemli yere sahip amino asitlerin her biri farklı bir kategoride yarar sağlar. Uygulanacak aminoasitin içeriği bilinmelidir.
- Yüksek doz humik-fulvik asit uygulaması olumsuz etkide bulunmaktadır, doz ayarlamasına önem verilmelidir.

Biyokömür

Biyokömür (İngilizce biochar) organik materyallerin oksijensiz ortamda yüksek sıcaklıklarda pirolizi ya da az miktarda oksijen varlığında gazlaştırma uygulaması sonucunda elde edilen, yüksek oranda karbon ve mineral içeren bir üründür. Toprak düzenleyici olarak kullanımının tarihi 1878'lere kadar uzanan biyokömür (Chan vd., 2010), son zamanlarda atmosferdeki CO₂'nin ve buna bağlı olarak küresel ısınmanın etkilerinin azaltılmasına yönelik (Sohi vd., 2010; Prendergast-Miller vd., 2011; Zavollini vd., 2011) olarak kullanım potansiyeli nedeniyle yeniden popüler olmuştur. Biyokömürün tarım alanlarında kullanılması ile birçok toprak özelliğinde değişimler gözlemlenmiştir. Laird vd. (2010) biyokömür uygulamasının tropikal bölge topraklarında besin elementi yıkanmasını azalttığını, bu etkinin karmaşık kimyasal, fiziksel ve biyolojik özellikleri ile ilgili olduğunu, ancak ılıman bölge topraklarında etkisi ile ilgili bilgilerin sınırlı olduğunu bildirmiştir. Luo vd. (2011) ise biyokömür uygulaması ile toprak biyolojik aktivitesinin ve buna bağlı olarak CO₂ üretiminin, dolayısıyla biyokömürün mineralizasyonun arttığını rapor etmişlerdir. Biyokömürün atmosferdeki karbondioksit miktarını azaltmak amacıyla kullanılması göz önüne alındığında, biyokömür uygulamasının CO₂ üretimini artırması olumsuz bir sonuç gibi görülse de, toprağa kazandırılan karbon ile topraktan CO₂ oluşumu yoluyla eksilen karbon karşılaştırıldığında, biyokömür uygulamasının atmosfer CO₂ konsantrasyonunu azaltmada etkili olduğu da bildirilmektedir (Luo vd., 2011). Zavollini vd. (2011) buğday anızı ile birlikte uygulanan biyokömürün sadece %2.8'inin, buğday anızının ise %56'sının CO₂ olarak yeniden atmosfere döndüğünü bildirmişlerdir. Bu konuda çok fazla çalışma yapılmamış olmasına rağmen, yürütülen denemelerde biyokömür uygulamasının nitrat yıkanmasını (Ding vd., 2010) ve N₂O oluşumunu (Yanai vd. 2007) azalttığı vurgulanmaktadır. Denitrifikasyon ürünü bir gaz olan N₂O'nun ozon tabakasına olumsuz etkisinin CO₂'den yaklaşık 250 kat (bu katsayı daha sonra 310 olarak revize edilmiştir) daha fazla olması (Boyle ve Ardill, 1989), küresel ısınma açısından biyokömür uygulamasının önemini bir kez daha ortaya koymaktadır. Ancak, Castaldi vd. (2011) yürüttükleri çalışmalarında N₂O oluşumunun biyokömür uygulaması ile kısa vadede (3 ay) arttığını, ancak uzun vadede (14 ay) kontrole oranla uygulamalar arasında farklılık olmadığını bildirmiştir. Diğer yandan Prendergast-Miller vd. (2011) biyokömür uygulaması ile kök bölgesinde nitratın lokalize olduğunu, her ne kadar kendileri belirlememişlerse de bu birikimin özellikle bitkinin nitrat alımının az olduğu dönemlerde yıkanmayı artırabileceğinden de söz etmekte olup bu konunun halen net olmadığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca, bu lokalizasyon etkisinin sadece nitratta değil, diğer bitki besin elementlerinde de olduğunu, bu sayede bitkilerin daha iyi besin elementi alabileceği

bilgisini de paylaşmışlardır. Belirli koşullarda besin elementi alımında olumlu etkileri tartışmasız olan mikorizanın biyokömür ile birlikte kullanıldığı bir çalışmada (LeCroy vd., 2013), düşük dozda azot uygulamasının yüksek dozda azot uygulamasına göre mikoriza kolonizasyonunu azalttığını bildirilmiştir. Bu bilgi ışığında biyokömürün bazı etkilerinin tek başına olmayabileceği, kimi zaman da bu etkinin başka diğer uygulamalarla interaksiyon sonucu ortaya çıkabileceğini de akla getirmektedir. Nitekim biyokömürün buğday anızı ile birlikte uygulandığı denemeden (Zavollini vd., 2011) elde edilen sonuçlar incelendiğinde, tek başına biyokömür uygulamasının toprağın CO₂ üretimini kontrole oranla istatistiksel olarak artırmadığı, buğday anızının tek başına ve biyokömür ile birlikte uygulandığında ise CO₂ üretiminin kontrole göre belirgin olarak arttığı, en yüksek değer için ise buğday anızı ile biyokömürün birlikte uygulandığı varyanttan elde edildiği görülmüştür. Biyokömürün farklı bir özelliğinin çalışıldığı bir araştırmada (Denyes vd., 2012), PCB (polychlorinated biphenyls) ile kontamine olmuş topraklara biyokömür uygulamasının bitkilerin kök ve yeşil aksamalarında biriken PCB miktarını belirgin biçimde azalttığı bulunmuştur. Araştırmada ayrıca, bu topraklarda yetiştirilen –kompost solucanı olarak da bilinen- *Eisenia fetida* cinsi solucanların hayatta kalma oranlarının arttığı da belirlenmiştir. Bu yönüyle biyokömürün çeşitli organik kirleticilerle kontamine topraklarda da kullanılabilmesi düşünülmektedir. Biyokömürün özellikleri büyük oranda kullanılan materyal ile proliz koşulları ve biyokömürün yaşı ile ilgilidir (Laird vd., 2010). Piroliz sıcaklığı arttıkça elde edilen biyokömürün topraklara uygulanması sonucu oluşan CO₂ üretiminde meydana gelen artışlar azalmaktadır (Luo vd., 2011). Buradan yüksek sıcaklıklarda üretilen biyokömürün toprak biyolojik aktivitesine olan etkilerinin sınırlı olduğu söylenebilir. Song ve Guo (2012) tavuk kümesi atlığından biyokömür eldesinde piroliz sıcaklığının 300'den 600 °C'ye kadar kademeli artırılması sonucu elde edilen biyokömür miktarının, biyokömürün toplam azot, organik karbon kapsamı ve katyon değişim kapasitesinin azaldığını, pH, kül içeriği ve organik karbon stabilitesinin arttığını bulmuşlardır. Araştırmacılar elde ettikleri sonuçlara dayanarak daha düşük piroliz sıcaklığını önermektedirler.

Biyokömürün yüksek iyon değiştirme kapasitesi nedeniyle besin elementlerinin topraktan uzaklaşmasını azaltma veya istenmeyen bir elementin bitkiye olumsuz etki yapmasını önleme özelliği vardır. Örneğin kadmiyumun artan dozlarına bağlı olarak bitkinin kuru madde ağırlığında belirlenen düzenli azalma, biyokömür uygulaması ile önlenilmekte, biyokömür uygulaması ile 4 mg kg⁻¹ Cd varlığında kontrol ile aynı miktarda biyokütle oluşumu sağlanabilmektedir (Demirbaş ve Coşkan, 2019). Biyokömürün bu özelliği, ağır metaller ile kontamine olmuş veya ana materyalinde ağır metal içeren topraklarda güvenli tarım yapılması için kullanılabilmesine işaret etmektedir. Ancak, bu etkinin hammadde ve üretim sıcaklığı ile ilintili olduğunu bir kez daha vurgulamakta yarar vardır (Tunçay, 2009; Tunçay, 2009; Meriç, 2022).

Literatürde yer alan ve sonuçları kısaca burada tartışılan bulgulara ek olarak, Lehmann vd. (2010) tarafından yayınlanan kapsamlı bir derleme çalışmada özet olarak biyokömür uygulaması ile mikrobiyal biyomasa artışlarının gerçekleştiği, mikrobiyal kompozisyonda ve enzim aktivitelerinde önemli değişikliklerin olduğu bildirilmektedir. Bu etkilerin mekanizması hakkında ise çok az bilgi sahibi olduğu, toprak faunası üzerine

etkilerin ise çok daha az anlaşılır olduğu vurgulanmaktadır. Bitki köklerine biyokömürün doğrudan negatif etkide bulunduğu dair bir kanıtın bulunmadığı yine bu çalışmada bildirilmektedir.

Yukarıda yararlanılan literatürlerin birçoğunda biyokömürün çeşitli olumlu etkilerinden söz edilse de, yine bu literatürlerde bu etkinin henüz net olmadığı, farklı materyallerin ve -başta sıcaklık olmak üzere (Song ve Guo, 2012)- biyokömür üretim koşullarının henüz tam anlamıyla anlaşılmadığı da vurgulanmaktadır. LeCroy vd. (2013) bu vurguyu bir adım öteye götürerek biyokömür uygulamasının bitki gelişimine etkili olmayabileceğini, hatta bitki gelişimini olumsuz yönde etkileyebileceğini bildirmiştir. Ayrıca, biyokömür uygulamasının toprakların pH'sını artırdığı da bu literatürlerde bildirilmekte olup nötr ve hafif alkali pH'ya sahip olan ülkemiz topraklarında farklı kaynaklardan elde edilmiş biyokömür uygulamasının nasıl etki edeceğinin net olmadığı açık olmakla beraber Castaldi vd. (2011) pH'daki bu artışın kısa vadeli olduğunu bildirmiştir.

Farklı piroliz sıcaklıklarında üretilen biyokömürün bitki gelişimine etkisini belirlemek için yürütülen bir çalışmada (Çizelge 8; Tunçay, 2019), piroliz sıcaklıklarının çilek verimi üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada 420 ve 460 °C sıcaklıklarda üretilen biyokömürün verimi istatistiki olarak artırdığı, denemede seçilen en yüksek sıcaklık olan 500 °C sıcaklıkta ise verimin yeniden azalmaya başladığı görülmüştür. Bu durum büyük olasılıkla artan sıcaklıklarda meydana gelen dioksinler gibi toksik bileşiklerin (Mukherjee ve Lal, 2014) olumsuz etkilerinden kaynaklanmaktadır. Ortalama değerler itibariyle dozlar arasında farklar bulunmazken, 420 ve 460 °C sıcaklıklarda doz 400 kg da⁻¹'dan 800 kg da⁻¹'a çıktığında verimde belirgin azalma meydana gelmiştir. Oysa doz artışı, 340, 380 ve 500 °C sıcaklıklarda verimde artış sağlamıştır. Bu çalışma istatistiki olarak belirgin olmamak üzere piroliz sıcaklığı ve dozun bir arada etkili olduğunu göstermektedir.

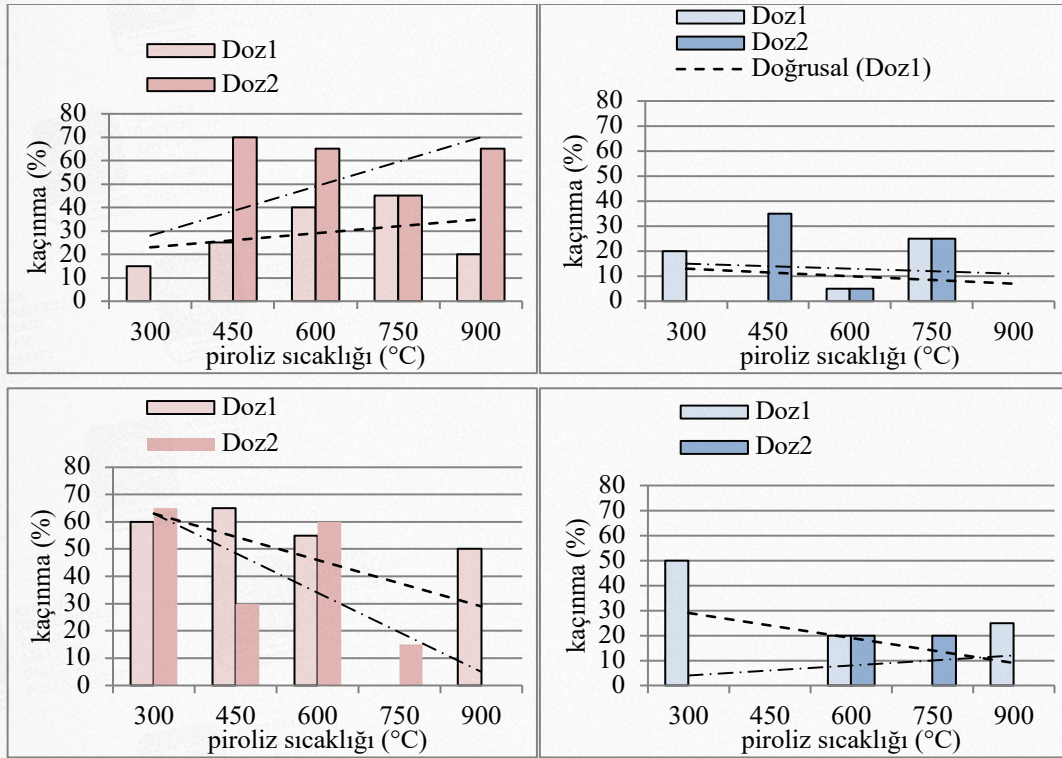
Çizelge 8. Farklı sıcaklıklarda gül posasından elde edilen biyokömürün çilek verimine etkisi (g bitki⁻¹; Tunçay, 2019)

Biyokömür üretim sıcaklığı	Dozlar (kg da ⁻¹)			Ortalama
	0	400	800	
340	4.89	3.73	4.76	4.46 B
380	4.89	5.92	9.54	6.78 AB
420	4.89	12.51	9.38	8.93 A
460	4.89	10.21	9.15	8.08 A
500	4.89	7.94	8.00	6.94 AB
Ortalama	4.89 B	8.06 A	8.17 A	

Sıcaklık arttıkça daha fazla miktarda toksik bileşik oluşma riski oluşabileceği uyarısı (Mukherjee ve Lal, 2014) dikkate alınarak, farklı sıcaklıklarda elde edilen biyokömürler, bir ekotoksikolojik test olan solucan kaçınma testine tabi tutulmuştur (Şekil 6; Meriç, 2022). Artan sıcaklıkların solucan kaçınmasına etkisi kullanılan hammaddeye bağlı olarak büyük değişkenlik göstermektedir. Gül budama artığında piroliz sıcaklığı arttıkça, her iki dozda da solucan kaçınması artarken, elma budama artığında durum tam ters yönde gerçekleşmiş, sıcaklık arttıkça solucan kaçınması azalmıştır. Sözü edilen toksik

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

bileşiklerin toprakta bir süre sonra kaybolabileceği görüşünden hareketle 6 ay süre ile inkübasyona bırakılan örneklerde solucan kaçınma testi tekrarlanmıştır. İnkübasyon sonrası yapılan testlerde ise elma budama artığının birinci dozu hariç olmak üzere artan sıcaklıklar solucan kaçınmasını azaltmıştır. Bu bulgular, bir tarım alanında biyokömür kullanılabilmesi için mutlak surette en uygun hammadde, uygulama dozu ve üretim sıcaklığı değerlerinin bilinmesi gerektiğini göstermektedir. Böyle bir bilgi olmadan yapılacak biyokömür uygulamaları bitkisel üretimde azalmalara neden olabileceği potansiyelindedir. İnkübasyon sonrası solucan kaçınmasında gözlenen azalma, yüksek sıcaklıkta üretilmiş biyokömür kullanımında, toprağa uygulama yapıldıktan sonra bir süre beklenilmesi gerektiğine işaret etmektedir. Diğer yandan biyokömür uygulamasından sonra yapılan inkübasyon nohut bitkisinin N, P, K, Zn, Mn ve Cu içeriğinde, inkübasyon yapılmayan uygulamaya göre artış sağladığı ortaya konmuştur (Demirbaş, vd., 2017).



Şekil 6. Gül (üstte) ve elma (altta) budama artığından elde edilen biyokömürünün inkübasyon öncesi (solda) ve sonrasında (sağda) piroliz sıcaklığına bağlı olarak solucan kaçınmasına etkisi (Meriç, 2022)

Yürütülen bir diğer çalışmada, bu kez sabit sıcaklıkta farklı hammaddeler kullanılarak, biyokömürün hammaddeden kaynaklanan özellik değişimini tespit edilmeye çalışılmıştır (Çizelge 9; Tunçay, 2019). Elde edilen sonuçlar, istatistiki olarak anlamlı düzeyde olmasa da, hem maddelerin hem de dozların, biyokömürün çilek verimi üzerine etkisini değiştirdiğini göstermiştir. Kereste işleme atığı olan ve büyük bölümü çam ağacından çıkmış olan talaş, kullanılan hammaddeler arasında en düşük sonucu vermiş, verimi kontrole kıyasla 3 kattan daha fazla düşürmüştür. Artan talaş dozu verim artışı

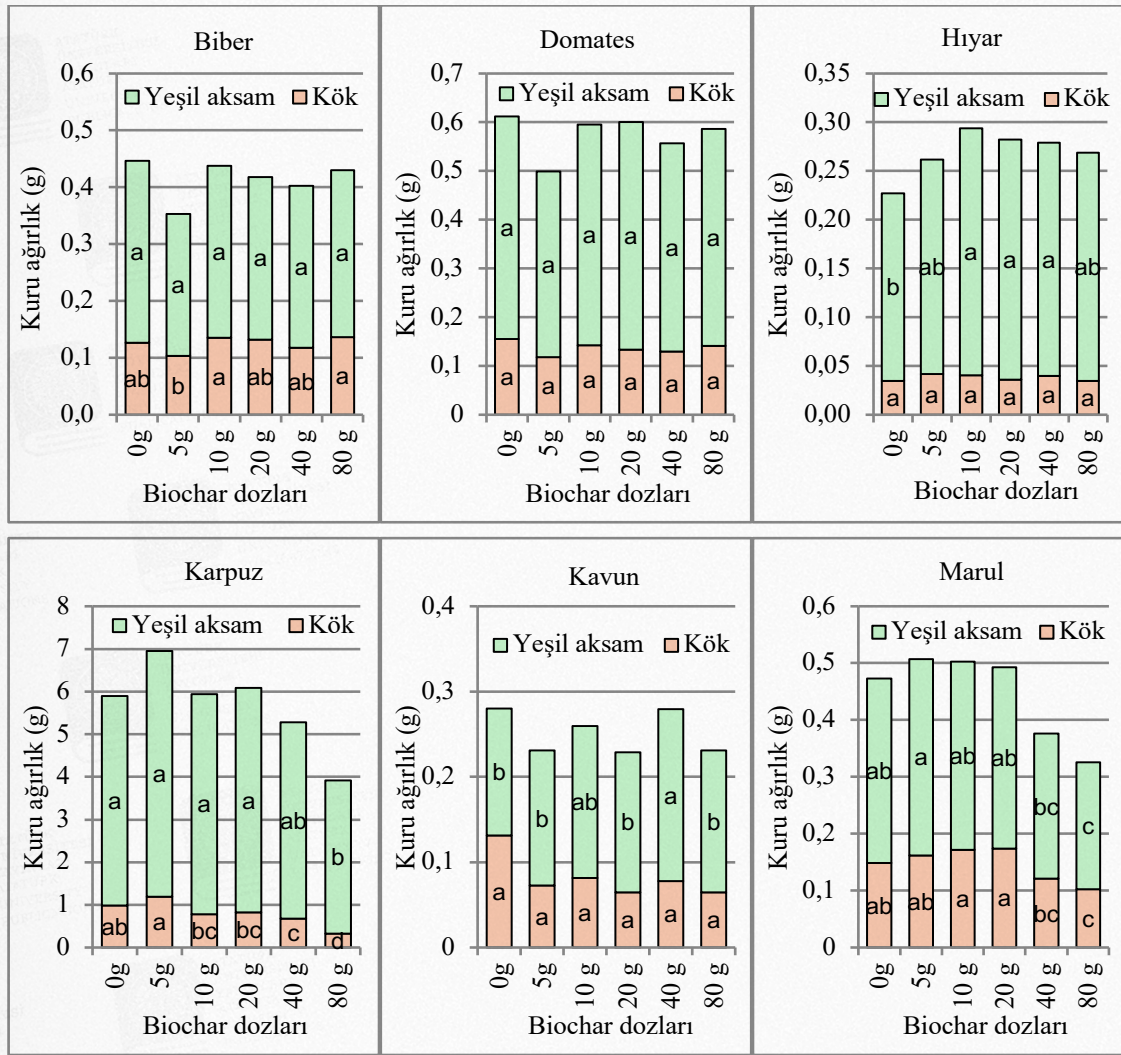
sağlamış ise de bu artış halen kontrol uygulamasının yaklaşık %40 altında kalmıştır. Araştırma grubunca daha önce yapılan birçok çalışmada talaşın hammadde olarak kullanılması halinde olumlu etkide bulunmak bir yana, verimde ve besin elementi alımında belirgin azalmalara neden olduğu görülmüştür. Denenen hammaddeler arasında en yüksek etki her iki dozda da elma posasından elde edilmiştir. Bu çalışmada hammaddeler arasındaki farklar ortaya konmak istenmişse de, bazı hammaddelerin pratikte kullanımı önünde engeller vardır. Örneğin elma posasından katma değeri yüksek başka ürünler elde edilebilmektedir. Orman altı örtüsü ise ormancılık açısından önemli görülmekte, bazı durumlar dışında ortamdaki uzaklaştırılmasına izin verilmemektedir. Denenen hammaddeler arasında en bol ve en ekonomik bulunabilecek hammadde kaynağı talaş iken, bundan elde edilen biyokömürün tarımda kullanımı mümkün görülmemektedir.

Çizelge 9. Farklı hammaddelerden 400 °C sıcaklıkta elde edilen biyokömürün çilek verimine etkisi (g bitki⁻¹; Tunçay, 2019)

Biyokömür hammaddeleri	Dozlar (kg da ⁻¹)			Ortalama
	0	300	600	
Gül posası	0.772	0.751	0.914	0.812
Elma posası	0.772	1.280	1.407	1.153
Orman altı	0.772	0.717	0.774	0.754
Ceviz kabuğu	0.772	0.639	1.263	0.891
Talaş	0.772	0.244	0.457	0.491
Ortalama	0.772	0.726	0.963	

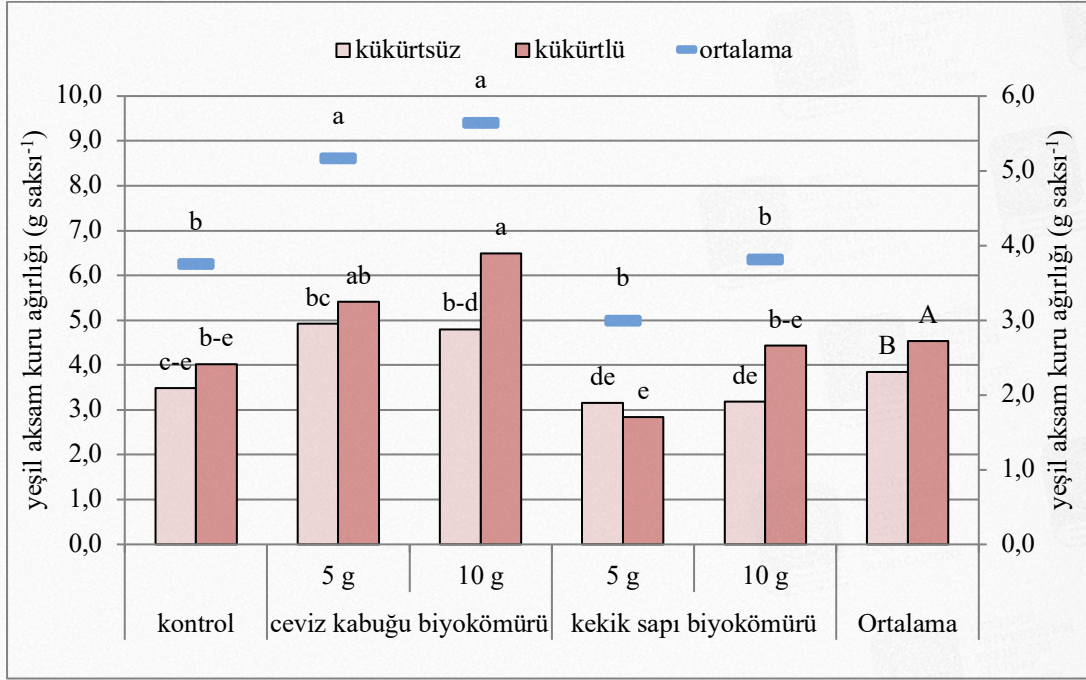
Fide yetiştiriciliğinde firmalar kendi özel karışımlarını hazırlamakta ve bu karışımlara ağırlıklı olarak torf ilave etmektedirler. Torf sınırlı bir kaynak olup kullanımı sürdürülebilir değildir. Hazırlanan yetiştirme ortamının litresine farklı ağırlıklarda biyokömür karıştırılarak, kullanılan torf miktarının azaltılması ve fidecilik sektörü üzerinden atmosferden CO₂ tutulması amacıyla yürütülen bir çalışmada (Şekil 7; Yılmaz, 2018) farklı bitkilerin biyokömür uygulamasına farklı tepkiler verdiği görülmüştür. Biber ve domates fideleri biyokömür uygulamasından çok fazla etkilenmezken, karpuz ve marul bitkilerinde artan biyokömür dozları fide gelişimini dramatik biçimde düşürmüşlerdir. Hıyar fidelerinde ise uygulama bitki gelişimini artırmış, denenen tüm dozlarda kontrole göre yeşil aksam ağırlığında artış gözlenmiştir. Bu artış ve azalışlar piroliz esnasında oluşan toksik bileşiklere bitkinin toleransı ile ilişkili olabileceği gibi, yine piroliz sonucu oluşan ürünün tuzluluk ve pH gibi özellikleri de tepkinin bitkiden bitkiye değişmesine neden olabilir. Biyokömür hammaddesi ve üretim sıcaklığı sabit olduğu halde farklı bitkilerde farklı sonuçlar alınması, biyokömür uygulamalarında bitki çeşidinin de dikkate alınması gerektiği sonucunu açıkça göstermektedir.

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)



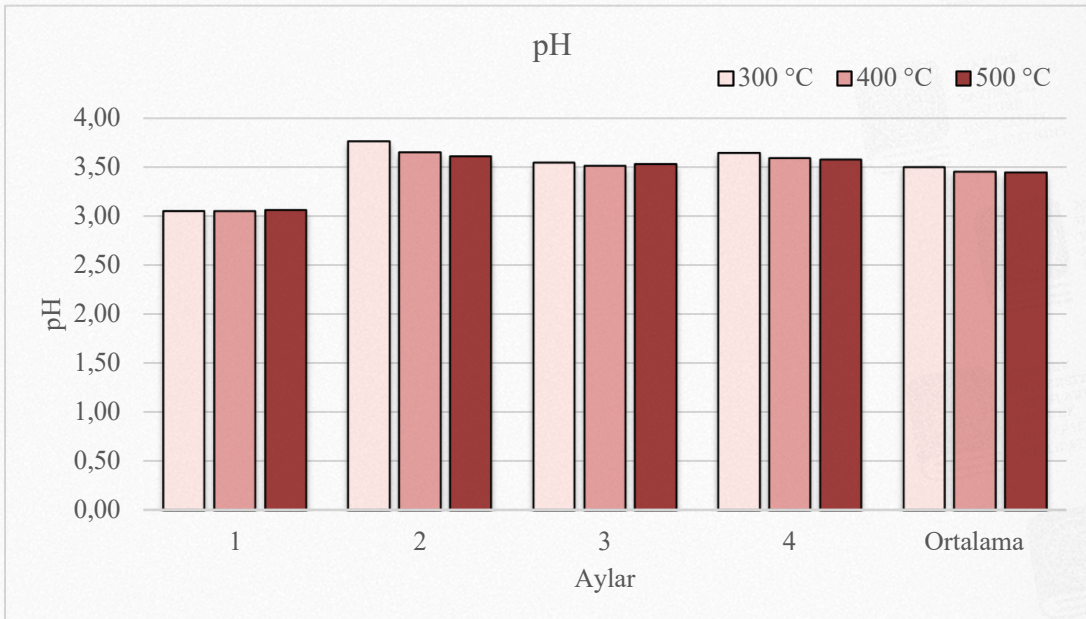
Şekil 7. Yetiştirme ortamlarına ilave edilen biyokömürün yetiştirilen fidelerin yeşil aksam ve kök ağırlıklarına etkisi (Yılmaz, 2018)

Biyokömürün pH'sının yüksek olması nedeniyle, uygulandığı toprakların pH'sını yükseltebileceği bilgisinden (Küçükyumuk vd., 2017) hareketle, biyokömürün bitki gelişimini olumsuz etkilemesini önlemek için kükürtle birlikte uygulanmasını konu eden bir çalışma yürütülmüştür (Kemer ve Coşkan, 2017). Çalışmadan elde edilen sonuçlar kükürt uygulamasının tek başına olumlu etkisinin olduğu, ancak bu etkinin uygulamanın 10 g biyokömür ile birlikte yapıldığında çok daha belirgin ortaya çıktığını göstermiştir. Denemeye konu edilen biyokömür kaynaklarından ceviz kabuğu ve kekik sapı arasında yeşil aksam ağırlığı yönünden farklar olduğu, kekik sapı biyokömürünün kontrolden daha düşük biyokütle eldesine neden olduğu, ceviz kabuğunun ise yeşil aksamda belirgin artış olduğu kaydedilmiştir. Araştırmadan elde edilen sonuçlar, kullanılacak biyokömür hammaddesine bağlı olarak belirlenecek dozlarda kükürt uygulaması yapılmasının olumsuz etkiyi önlemede veya beklenen olumlu etkiyi geliştirmede yarar sağlayacağını göstermektedir.



Şekil 8. Ceviz kabuğu ve kekik sapı biyokömürü ile kükürt uygulamalarının yeşil aksam ağırlığına etkisi (Kemer ve Coşkan, 2017)

Biyokömürün pH artırma etkisi, yüksek pH'ya sahip topraklarda bitki besin elementi yararlanılabilirliğini azaltmakta ve bitki gelişimini geriletmektedir. Bu etkinin düşük pH'ya sahip topraklarda yararlı dönebileceği görüşünden hareketle, Karadeniz bölgesi topraklarına, çay budama artıklarından elde edilen biyokömür uygulamasının pH üzerine etkilerini belirlemek üzere bir inkübasyon çalışması yürütülmüştür (Arın ve Coşkan, 2021).



Şekil 9. Çay budama artığı biyokömürü uygulamasının zamana bağlı olarak toprak pH'sına etkisi (Arın ve Coşkan, 2021)

Çalışmadan elde edilen sonuçlar, başlangıçta 3.05 olan toprak pH'sının 300 °C sıcaklıkta üretilen biyokömürün uygulanmasıyla, uygulamalar arasında en yüksek değer olan 3.76'ya çıktığını göstermiştir. Takip eden dönemlerde toprakların tamponlama kapasitesi nedeniyle pH'da düşük miktarda da olsa bir azalma meydana gelmeye başlamış, ancak denemenin yürütüldüğü 4 ay süreyle pH, hep başlangıç değerinin üstünde olmuş, örnekleme dönemleri boyunca belirlenen pH değerleri 3.5'in altına düşmemiştir. Bu denemeden elde edilen sonuçlar, kalsifüj bir bitki olması nedeniyle kireç uygulanamayan topraklarda biyokömürün kullanılabileceğini göstermektedir. Her ne kadar biyokömür Ca içeriyorsa da, biyokömürün %96 – 98'inin karbon olması nedeniyle miktarı oldukça azdır. Çay alanlarına biyokömür uygulanmasının yaygınlaştırılması halinde, yakılarak imha edilen ve bu şekilde doğaya zarar veren çay budama artıkları tarımsal üretimde verimliliği artırmada yarar sağlayabilir. Çaylıklarda toprak yüzeyinin bitki örtüsü ile kaplı olması nedeniyle biyokömürün toprağa karıştırılmasının güçlüğüne rotadan kaldırılacak uygulamaların geliştirilmesine yönelik yeni çalışmaların yürütülmesi gerekmektedir.

Bölüm özeti

- Biyokömür toprak düzenleyici olarak tanımlanabilir. Organik madde tanımına uymadığı için organik madde olma durumu tartışmalıdır.
- Üretimi oldukça pratiktir ancak kontrollü koşulların sağlanmasında yüksek enerji ihtiyacı vardır, yenilenebilir enerjiler kullanılarak sürdürülebilir olmasına dikkat edilmelidir.
- Üretimde zaman kritik faktör değildir, egzozdan yanıcı gazlar gelmemeye başlayınca kadar sıcaklık uygulamasına devam edilmelidir.
- Üretimde kullanılan hammadde ve üretim sıcaklığı en önemli faktörlerdir.
- Uygulama dozu ve kullanıldığı bitki, biyokömürün etkisinin önemli derecede yönlendirir.
- Farklı bitkilerin farklı tepkileri olmaktadır. Her bitki için uygun olmayabilir.
- pH üzerindeki etkisine dikkat edilmeli, pH yükselmesini önlemek için kükürt kullanımı bir alternatif olarak değerlendirilmelidir.
- Her biyokömür için hammadde, üretim sıcaklığı ve kullanılabileceği bitkiler denemeler ile tanımlanmalıdır. Bu tanımlamalar elde yoksa düşük dozda uygulamalar yapılarak olası verim kayıpları önenebilir.

Solucan gübresi

Genel tanımlamayla solucan gübresi, herhangi bir materyalin solucan sindiriminden geçmesi ile elde edilen organik gübredir. Solucanların sindirim sistemi, kuvvetli asit pH'ya sahip bir mideye veya ruminantlarda olduğu gibi birden fazla özelliğini ayarlayabildiği bir işkembeye sahip değildir. Bu nedenle solucanlar, tükettikleri besinlerin içerisindeki ihtiyacı olan maddeleri alabilmek için organik bileşikler salgılamaktadırlar. Bu bileşiklerden bazıları aynı zamanda bitkilerin büyümesini, çiçeklenmesini ve hatta stres faktörlerine karşı direncini olumlu yönde geliştirmektedir. Organik maddelerin solucan bünyesinden geçmesi sırasında bazı besin elementlerinin yararlılığı artsa da toplam besin

elementi içeriğinde bir artış söz konusu değildir. Bu açıdan bakınca besin elementi içeriği yönünden başlangıçta genellikle kullanılan hayvan gübresi ile bu hayvan gübresinin solucanların bünyesinden geçmesi sonucu elde olunan solucan gübresinin toplam besin elementi içeriği yönünden farkı yoktur. Fark, yukarıda açıklanmaya çalışıldığı üzere besin elementi içeriğinden değil, solucan gübresinin çeşitli enzimler, vitaminler, kısa zincirli organik bileşikler ve mikroorganizmaları teşvik eden diğer organik bileşikler içermesinden kaynaklanmaktadır. Diğer yandan solucan gübresinin toplam azot içeriğinin %2 olduğu (Akay, 2019) düşünülürse, dekara 100 ila 300 kg dozlarına karşılık gelen miktarlar 2 ila 6 kg olmaktadır. Organik formda verilen bu gübrenin yaklaşık yarısının vejetasyon süresince mineralizasyona uğrayacağı kabul edilirse, bitkiler tarafından alınabilir azotun dekara miktarı 1 ila 3 kg olabilir. Bu miktarların bitkiler için yeterli olmayacağı bilgisine sahip araştırmacılar, vermikompost uygulamasını temel gübreleme ile birlikte yapmaktadırlar (Akay, 2019).

Çok farklı bir organizma gibi anlatılmaya çalışılan kompost solucanı, temelde toprak solucanıdır. Kompost yapımında kullanılan solucanlar, sınıflama birimleri bir kenara bırakılırsa, herhangi bir toprak solucanından sadece hareketlilikleri, yüksek organik madde işleme alışkanlıkları ve hızlı üreme özellikleri ile ayrılırlar. Mısırlıoğlu (2011) toprak solucanları ile ilgili ülkemizdeki tek kaynağı hazırlamış olup, toprak solucanlarının ekolojileri ve ülkemizdeki yayılışları hakkında bilgi sahibi olmak isteyen okuyucular için iyi bir referanstır. Solucan gübresi üretiminde en fazla kullanılan solucan tipi kırmızı Kaliforniya solucanı olarak piyasada iyi bilinen *Eisenia fetida*'dır ve bunu *Eisenia andrei* takip eder. Teorik olarak toprak solucanlarından herhangi biri solucan gübresi üretiminde kullanılabilirse de solucan gübresi üretiminde yukarıda anılan 2 türden birisini tercih edilmesi uzun süren deneme-yanılma safhasına maruz kalınmaması açısından önemlidir. Yakın zamanda mavi solucan veya Afrika solucanı gibi varyasyonlardan söz edilmekte, bu türleri kullananların daha kaliteli gübre elde ettikleri iddia edilmektedir. Bu tür bilgiler tamamen soyut olup herhangi bir bilimsel araştırmaya konu edilmemiştir. Bu tür farklılık arayışları piyasada solucan gübresi üreticilerinin artması, dolayısıyla pazarda rekabet şartlarının çetinleşmesi kaygılarından ileri gelmektedir. Bazı üreticiler de uluslararası geçerliliği olan cins-tür adını tanımamakta, kendilerince türettikleri isimleri solucanlarına verip farklılık yaratmaya çabalamaktadır. Tüm bunlar pazarlama stratejisidir ve bilimsel literatürle bağdaşmamaktadır.

Solucan gübresinin organik madde kapsamı yüksek olsa da bu gübrenin organik madde kaynağı olarak kullanılması öncelikli kullanım nedeni olmamalıdır. Zira geleneksel kompost, çok daha pratik ve ekonomik olarak elde edilebilecek bir kaynaktır. Solucanların, besin olarak kendilerine verilen materyalin organik maddesini artırmak gibi yetenekleri olmadığı akıllardan çıkarılmamalıdır. Solucan gübresinin öncelikli kullanım nedeni, solucan sindiriminden kaynaklanan çeşitli organik bileşikler ile bu bileşiklerin neden olduğu mikrobiyal popülasyondaki artıştır. Solucan gübresi sadece organik madde kaynağı olarak düşünülme için fazla değerlidir. Diğer yandan kullanım dozunun düşük olması nedeniyle toprakların organik madde kapsamını artırma potansiyeli görece düşüktür. Kaba bir hesaplama, 100 kg solucan gübresinin 1 dekar alandaki ilk 20 cm katmana karıştırılması durumunda elde edilecek organik madde artışı sadece %0,04 kadir olmaktadır. Teorik

olarak hesaplanan bu artışın topraktaki kalıcı humusa olan etkisinin bunun çok daha altında olacağı da dikkate alınmalıdır.

Solucan kompostu üretiminde tartışılması gereken diğer bir konu, solucan gübresinin üretimi için gereken süredir. Üreticilerin “mama” olarak tabir ettiği başlangıç materyaline solucanlar aşılıdıktan ne kadar süre sonra gübrenin elde edileceğini kesin biçimde söylemek güçtür. Ortamdaki materyalin hemen hepsinin solucan bünyesinden geçmesi esas ölçüt olup, bunun gerçekleşmesi için gereken süre ortam sıcaklığı, nemi ve materyalin özellikleri başta olmak üzere birçok faktöre bağlıdır. Gübrenin hazır olduğunu görsel olarak belirlemek için, yaklaşık 1 mm çapında ve 2-4 mm uzunluğundaki oluşumlar izlenmelidir (Şekil 10). Bu oluşumlar yığının tamamında görülmeye başlandığında solucan gübresinin hazır olduğu düşünülebilir. Bu durumda elde edilmiş solucan gübresi sanitasyon yoluyla patojenlerden arınmış durumdadır. Güvenli tarafta olmak amacıyla Bakanlık tarafından yapılması zorunlu tutulan 1 saat 70 °C sıcaklık uygulaması bu şekilde elde edilmiş gübre için gerekli olmadığı gibi, sıcaklık uygulanması halinde, solucan gübresinin içindeki büyüme düzenleyiciler ve bazı organik bileşiklerin denatüre olarak yararlı özellikleri kaybolabilmektedir. Bu nedenle, solucan gübresi üreticilerinin satış öncesi sıcaklık uygulama zorunluluğu oldukça tartışmalı bir konudur.

Solucan gübresi üretimi karmaşık sistemler gerektirmez ve kısa bir tecrübe süresi sonrası başarıyla üretilebilir. Bu yönüyle özellikle örtü altı üretimi yapan çiftçiler, işletmelerinin yanında solucan gübresi de üretebilirler ki bu durumda gübrenin tazeliğine ilişkin endişeler ortadan kalkarak en etkin solucan gübresine ulaşabilirler. Bunun için temin edecekleri bin adet kompost solucanını, yemek artıkları, yağlar, soğan ve narenciye kabuğu gibi materyaller hariç olmak üzere evdeki tüm organik artık/atıklardan ve kısmen ayrılmış büyükbaş ve küçükbaş hayvan gübrelerinden oluşturdukları yığına aşılıp Şekil 10’da görülen durumun oluşmasını bekleyebilirler. Kompost solucanları ekolojik tip olarak epigeik, yani toprağın yüzeye yakın katmanında yaşayan solucanlardır. Bu nedenle besleme daima yukarıdan yapılmalı, oluşturulan katman yığının oksijensiz kalmasına neden olmayacak yükseklikte olmalıdır. Bu deneme yanılma safhasından sonra başarılı olunmuşsa, yığın büyütülerek üretim artırılmalıdır. *Eisenia fedida* kompost solucanının jenerasyon süresi 2 aydan daha kısa olup (Mısırlıoğlu, 2011), sevdikleri bir ortam sağlanıp, hatalı bir uygulama yapılmazsa birkaç yıl içerisinde sayıları milyonlarca adete kadar ulaşabilir. Dolayısıyla, basit bir başlangıcın büyük bir tesise dönmesi olasıdır.



Şekil 10. Süreci tamamlanmış solucan gübresinden bir görüntü

Solucan gübresinin bitki gelişimi ve besin elementi alımı üzerine etkileri bilinmektedir (Akay, 2019). Ancak, bu etki sadece verim ögesi üzerinde değil, kalite parametreleri üzerinde de olmaktadır (Çizelge 10; Teke vd., 2019). Yürütülen bir çalışmada domates bitkisinin kök bölgesine farklı miktarlarda solucan gübresi uygulanmış, 160 g bitki⁻¹ dozunda en yüksek verim değeri elde edilmiştir. Suda çözülebilir kuru madde ve titre edilebilir asitlik değerleri ise 120 g bitki⁻¹ uygulamasında en yüksek bulunmuştur. Bunun dışında pazarlamada önemli kriterlerden biri olan renk gelişimi de solucan gübresi uygulamasından olumlu yönde etkilenmiştir. Genel olarak bu denemeden elde edilen sonuçlar, vermikompostun seçilen tüm dozlarda incelenen tüm parametreler üzerinde olumlu etkide bulunduğunu açıkça göstermiştir.

Çizelge 10. Vermikompostun domateste verim ve kalite parametreleri üzerine etkileri (Teke vd., 2019)

Vermikompost Dozları (g bitki ⁻¹)	Meyve Sertliği (N)	Meyve					Toplam Verim (kg bitki ⁻¹)
		SÇKM (%)	Renk <i>h</i> ^o	TEA (%)	pH	Ort.Ağırlığı (g)	
0	20.04	5.38	47.7	0.721	4.06	100 c	6.14 c
40	28.97	5.56	49.7	0.745	4.08	114 bc	6.86 bc
80	23.67	5.46	49.6	0.731	4.14	116 bc	6.94 bc
120	26.32	5.64	48.6	0.819	4.07	123 ab	7.39 ab
160	27.36	5.46	51.0	0.770	4.10	137 a	8.22 a

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

Solucan gübresinin her bitki, her iklim, her toprak için önerilebilecek kesin bir doz bilgisi bulunmamaktadır. Genel olarak, 100 ila 300 kg da⁻¹ dozlar önerilmekte olup, yüksek dozda kullanılmasının önündeki engeller gübrenin görece pahalı olması ve yüksek dozların olumsuz etkileridir. Yağ gülü tarımında solucan gübresi uygulamasının 100 ve 200 kg da⁻¹ dozlarında düzenli verim artışı görülürken, 300 kg da⁻¹ dozda verimde azalma başlamıştır (Çizelge 11). Bu azalma üretim ekonomisini de olumsuz etkilemektedir. Gül çiçeği taban fiyatının 22 TL kg⁻¹ ve solucan gübresinin ortalama satış bedelinin 4.5 TL kg⁻¹ olduğu dönemde yapılan ekonomik analiz, 200 kg da⁻¹ dozunda 1 dekardan 552 TL marjinal gelir elde edildiğini gösterirken, 300 kg da⁻¹ dozda marjinal gelirin tamamen kaybolduğunu, hatta 52 TL zarar meydana geldiğini ortaya koymuştur (Çizelge 11; Kural ve Coşkan, 2023).

Çizelge 11. Solucan gübresi uygulamasının yağ gülünün verimine ve ekonomisine etkisi (Kural ve Coşkan, 2023)

Solucan gübresi dozu (kg da ⁻¹)	Verim (kg da ⁻¹)	Verim artışı (kg da ⁻¹)	Marjinal gelir (TL)	Solucan gübresi maliyeti (TL)	Net marjinal gelir (TL)
0	519	-			
100	559	40	880	450	430
200	585	66	1452	900	552
300	578	59	1298	1350	-52

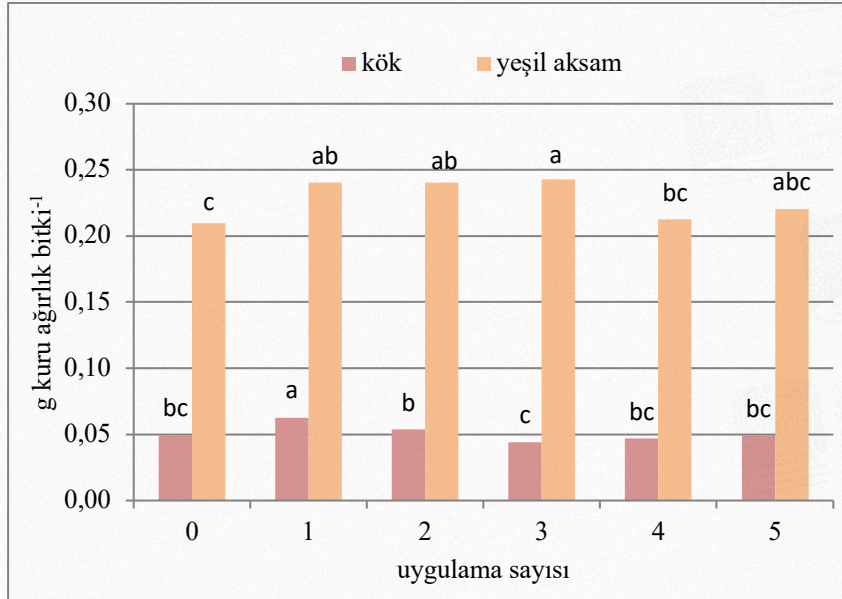
Solucan gübresinin su kullanım etkinliğini artırdığına dair bulgular vardır. Fesleğen bitkisine 100 ile 200 kg da⁻¹ solucan gübresi uygulamalarının araştırıldığı, su kısıtı koşullarında fesleğen yetiştirilen denemede, olumlu etkiye 100 kg da⁻¹ dozunda ulaşılmış, 200 kg da⁻¹ dozunda ise olumsuz etki görülmüştür. Aynı denemede 100 kg da⁻¹ solucan gübresi dozunda bitkinin su tüketiminin azaldığı da bildirilmiştir (Şenyiğit vd., 2021).

Toprakların biyoçeşitliliği ve biyolojik verimi, sürdürülebilir gelecek için önemli bir konudur. Ancak, küresel ısınmanın sonuçlarından olan su bütçesindeki azalmanın toprak ekosistemini olumsuz etkileyeceği ortadadır. Su kısıtının toprak mikroorganizmaları üzerindeki olumsuz etkilerinin solucan gübresi ve vermikompost gibi uygulamalarla azaltılabileceğine dair bulgular vardır (Matin ve Kayıkçıoğlu, 2022).

Başarılı bir üretim yöntemi ile elde edilmiş solucan gübresinin yüksek dozları, bitkinin yapraklarında yanmalara ve verimde azalmalara neden olabilmektedir. Diğer yandan literatürle tonlarla ifade edilen miktarlarda solucan gübresi kullanılan ve deneme sonunda olumlu etkiler raporlanan araştırma sonuçlarına da rastlanılmaktadır. Bu derece yüksek dozların bitkide kurumaya yol açmaması yüksek olasılıkla elde edilen solucan gübresinin kurutulmuş uzun süre depolanması sonucu etkinliğinin azalması ile ilintilidir. Solucan gübresinin taze olması ile uzun süre depolanması halinde etkinliğinde meydana gelecek değişimler yeterince irdelenmemiş olup, vermikompostun taze olup olmadığı veya tazeliğini ne kadar süreyle muhafaza ettiği tam olarak bilinmemektedir. Üreticiler düşük

dozda uygulamalar sonucunda etkinin belirsiz olacağı düşüncesiyle yüksek doz kullanma eğilimindedirler. Ancak, seçilen en düşük etkili dozlardan biri olan 15 kg da⁻¹ dozun buğday bitkisine uygulanması sonucunda buğday bitkisinde belirgin etkilerin olduğu bildirilmiştir (Doç. Dr. Ahmet Demirbaş ile kişisel görüşme, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi).

Kullanım kolaylığı nedeniyle üreticiler katı solucan gübresi yerine sıvı formları tercih edebilmektedirler. Özellikle damla sulama sistemi tesis edilmiş seralarda katı gübrenin kullanımı oldukça güçtür. Sıvı solucan gübresi eldesinde, yığınlardan sızan suyun biriktirilmesi veya katı solucan gübresinin su ile ekstraktının alınması tekniklerinden birisi kullanılmaktadır. Katı gübreden solucan suyu eldesi için 300 g katı gübre son hacim 1 litre olacak şekilde musluk suyuyla karıştırılmakta, iyice karıştırıldıktan sonra çökmesi için 2 saat beklenilmekte ve üstte kalan kısım alınmaktadır (Coşkan ve Yılmaz, 2015). Elde edilen sıvı organik gübrenin yüksek dozlarının tıpkı katı gübrede olduğu gibi olumsuz etkilerinin olduğuna dikkat edilmelidir. Suyla alınan ekstraktın düzenli uygulamalarının domates fidesi yetiştiriciliğinde kullanım olanaklarının araştırıldığı denemede uygulama sayısının artması ile elde olunan yararın azaldığı görülmüştür (Şekil 11; Coşkan ve Yılmaz, 2015).



Şekil 11. Vermikompost ekstraktı uygulamalarının domates fidesinin biyomas verimine etkisi (Coşkan ve Yılmaz, 2015)

Yukarıda açıklanan sıvı solucan gübresi üretimi yaklaşımlarına ek olarak, katı solucan gübresinden yüksek etkili ekstraktların alınması amacıyla, asit ve alkali tampon çözücülerle ekstraktlar alınmış ve bu ekstraktlar yapraktan, topraktan ve yaprak + topraktan biber bitkisine uygulanmıştır. Deneme sonuçları tampon çözücülerin daha etkili bir ekstrakt almada yararlı olmadığını göstermiş, çözücüler arasında en etkili olan yine musluk suyu olmuştur. Asit tampon çözücülerden ise en düşük değerler elde edilmiş, musluk suyundan daha etkili olmasa da alkali çözücülerden asit çözücüyeye göre daha yüksek değerler elde edilmiştir. Bu durum büyük olasılıkla alkali çözücülerin solucan gübresi içindeki humik -

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

fulvik asitleri çözmesi ile ilgilidir. Diğer yandan kullanılan tampon çözücüler oldukça derişik olup bunun solucan gübresinde var olan kimi organik bileşikleri tahrip etmiş olması da olasıdır. Sıvı solucan gübresinin uygulama şekilleri arasında ise anlamlı farklar belirlenmemiştir (Çizelge 12; Aydın, 2019).

Çizelge 12. Farklı tampon çözücüler ve uygulama şeklinin biberde verime (g bitki⁻¹) etkisi (Aydın, 2019)

Uygulama	Kontrol	Toprak	Yaprak	Toprak+Yaprak	Ortalama
Asit	187 cd*	197 bcd	177 d	191 bcd	188 B
Alkali	187 cd	241 ab	197 bcd	192 bcd	204 AB
Asit+Alkali	187 cd	193 bcd	210 a-d	224 a-d	203 AB
Çeşme suyu	187 cd	208 a-d	252 a	231 abc	219 A
Ortalama	187 B	210 A	209 A	210 A	

Bölüm özeti

- Amaç toprakların organik madde içeriğini artırmaksa, solucan gübresi yerine iyi olgunlaşmış çiftlik gübresi daha iyi bir alternatiftir.
- Uygulama dozu dikkate alındığında solucan gübresinin bitki besin elementi içeriği kültür bitkilerinin birçoğu için yeterli değildir.
- İçerisinde solucan bulunan her organik yığın solucan gübresi değildir. Ortamdaki substratın tamamına yakını solucan bünyesinden geçmelidir.
- Her bitki, her iklim, her toprak için önerilebilecek kesin bir doz bilgisi bulunmamaktadır. En düşük etkili doz 15 kg da⁻¹ ile Sivas ilinde, buğday yetiştiriciliğinde görülmüştür.
- Solucan gübresinin artan dozları, katı veya sıvı formda olması fark etmeksizin olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Düşük dozda yinelemeli uygulamalar önerilebilir.
- Solucan gübresinin gübre programına dahil edilmesinin, besin elementi alımı, ürün kalitesi, su kullanım etkinliği gibi birçok konuda etkili olduğu bilinmektedir.
- Toprakların solucan varlığını artırmak toprak kalitesini artırmak için çok değerli bir yaklaşımdır. Mümkünse toprakları işlemeyerek veya azaltılmış toprak işleme tekniklerini kullanarak solucanlar korunmalıdır.
- Tüm toprak canlılarının olduğu gibi toprak solucanlarının besin kaynağı organik maddedir. Anız yakılmamalı, topraklara düzenli olarak organik madde uygulanmalıdır.

KAYNAKLAR

- Afzal, A. & Bano, A. (2008). *Rhizobium* and phosphate solubilizing bacteria improve the yield and phosphorus uptake in wheat (*Triticum aestivum*). *Int J Agric Biol*, 10(1), 85-88.
- Ahemad, M. & Kibret, M. (2014). Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective. *Journal of King Saud University – Science*, Vol. 26(1), pp. 1–20.
- Akay, A. (2019). The effect of NPK fertilizer and vermicompost application on plant growth and the nutrient contents of radish (*Raphanus sativus* L.). *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7(12), 2259-2263.
- Akay, A., & Karaarslan, E. (2011). The study of the use of mycorrhizae, barley and common vetch in the remediation of Pb, Zn, Cd, As, Ni and Al contaminated soils on old mine sites. *Int J Sustain Water Environ Syst*, 3(1), 33-36.
- Akay, A., Yorgancilar, M., & Atalay, E. (2016). Effects of different types of mycorrhiza on the development and the elemental content of lupin (*Lupinus albus* L.). *Journal of Elementology*, 21(2).
- Arın, A., & Coşkan, A. (2021). Biyokömür uygulamalarının Karadeniz bölgesi toprağının pH'sına ve bazı biyolojik aktivite parametrelerine etkileri. *ISUBÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(2).
- Ateş N., Coşkan, A. (2016). Toprak Solucanı Organik ve Mineral Gübrelili Koşullarda Mısır Bitkisi Performansını Artırdı. *Çukurova Tarım Gıda Bilimleri Dergisi*, 31, 39-49.
- Atilio, B., Causin, H. F. (1996). The central role of amino acids on nitrogen utilization and plant growth. *Journal of Plant Physiology*, 149(3-4), 358-362.
- Aydın, H. R., Kural, F., Arın, A., Yaylacı, C., & Coşkan, A. (2018). Leonardit uygulamasının nitrifikasyon ve nitrat amonifikasyonu üzerindeki etkisi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 429-434.
- Aydın, H.R., 2019. Farklı Tampon Çözeltiler ile Alınan Vermikompost Ekstraktının Biber Gelişimine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta
- Baqir, H. A., Zeboon, N. H., & Al-Behadili, A. A. J. (2019). The role and importance of amino acids within plants: A review. *Plant Archives*, 19(2), 1402-1410.
- Bastas, K. K., Akay, A., & Maden, S. (2006). A new approach to fire blight control: Mycorrhiza. *HortScience*, 41(5), 1309-1312.
- Beltran-Medina, I., Romero-Perdomo, F., Molano-Chavez, L., Gutiérrez, A. Y., Silva, A. M., & Estrada-Bonilla, G. (2023). Inoculation of phosphate-solubilizing bacteria improves soil phosphorus mobilization and maize productivity. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 126(1), 21-34.
- Bhattacharyya, P.N., Jha, D.K. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, Vol. 28(4), pp. 1327-1350.

- Biren, S. (2002). Bakteri (*Bradyrhizobium japonicum*) Aşılmasının Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti (KKTC) Koşullarında Soya (*Glycine Max L.*) Bitkisinde Nodülasyon ve Dane Verimine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana
- Boyle, S., Ardill, J. (1989). The Greenhouse Effect: A Partical Guide to the World's Changing Climate, London:Hodder and Stoughton.
- Brown, P., & Saa, S. (2015). Biostimulants in agriculture. *Frontiers in plant science*, 6, 671.
- Castaldi, S., Riondino, M., Baronti, S., Esposito, F.R., Marzaioli, R., Rutigliano, F.A., Vaccari, F.P., Miglietta, F. (2011). Impact of biochar application to a Mediterranean wheat crop on soil microbial activity and greenhouse gas fluxes. *Chemosphere* 85:1464-1471.
- Chan, K. Y., Xu, Z. (2010). Biochar: Nutrient Properties and Their Enhancement. In: J. Lehmann & S. Joseph (Eds) *Biochar for environmental management: science and technology*. pp:67-84. London Earthscan. ISBN:184407658X/9781844076581.
- Coşkan A., Atılğan A. (2018). Ammonia Trap For Decreasing Ammonia Level in Broiler House – A Patented System Design. *Scientific Papers. Series D. Animal Science*. Vol. LXI, Number 2, 2018, 61, 145-149.
- Coşkan A., Doğan K., Demirbaş A., Erdal İ., Horzun İ., Ok E. Ç. (2017). Improvement of Ca and Mg uptake by application of dolomite and dolomite+leonardite. The International Conference of the University of Agronomic Sciences and Veterinary Medicine of Bucharest "Agriculture for Life, Life for Agriculture", Haziran 8-10, 25-25.
- Coşkan, A., İşler, E. (2009). Farklı Bakteri *Bradyrhizobium japonicum* Asılama Yöntemlerinin Soyada Azot Fiksasyonu ve Tane Verimine Etkisi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 15, 324-331.
- Coşkan, A., İşler., E., Küçükyumuk, Z., Erdal, İ. (2009). Isparta Koşullarında Soyada Bakteri Aşılmasının Nodülasyona ve Dane Verimine Etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 4, 17-27.
- Coşkan, A., Yılmaz, K. (2015) Effects of vermicompost extract tea on tomato seedling production. *Soil Science in International Year of Soils 2015*, Ekim 19-23, Sochi, 80-83.
- Demirbaş A., Coşkan A., Jawad A. A. (2020). Seçilmiş Bakteri İzolatlarının Kadmiyum ile Zenginleştirilmiş Topraklarda Şeker Pancarının Gelişimi ve Besin Elementi Alımı Üzerine Etkisi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 95-102.
- Demirbaş, A., & Coşkan, A. (2019). The effects of biochar and cadmium applications on yield and nutrient uptake of maize plant. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, Vol. 7, No. Special Issue 2, 109-114.
- Demirbas, A., Karakoy, T., Durukan, H., & Erdem, H. (2017). The impacts of the biochar addition in different doses on yield and nutrient uptake of the chickpea plant (*Cicer arietinum L.*) under the conditions with and without incubation. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(12), 8328-8336.

- Demircan V., Yılmaz H. (2005). Isparta İli Elma Üretiminde Tarımsal İlaç Kullanımının Çevresel Duyarlılık ve Ekonomik Açıdan Analizi. *Ekoloji*, 15, 15-25.
- Denyes, M.J., Langlois, V.S., Rutter, A., Zeeb, B.A. (2012). The use of biochar to reduce soil PCB bioavailability to *Cucurbita pepo* and *Eisenia fetida*. *Science of the Total Environment*. 437:76-82.
- Ding, Y., Liu, Y.X., Wu, W.X., Shi, D.Z., Yang, M., Zhong, Z.K. (2010). Evaluation of biochar effects on nitrogen retention and leaching in multi-layered soil columns. *Water Air Soil Pollution*. 213:47-55.
- Doğan K., Sarıoğlu A., Coşkan A. (2016). Contribution of Green Manure, *Rhizobium* and Humic Fulvic Acidon Recovering Soil Biologic Activity of Olive Mill Wastewater Contaminated Soil. *The Scientific Papers. Series A. Agronomy*, 63-68.
- Elad, Y., Chet, I., & Katan, J. (1980). *Trichoderma harzianum*: A biocontrol agent effective against *Sclerotium rolfsii* and *Rhizoctonia solani*. *Phytopathology*, 70(2), 119-121.
- Erol H., Coşkan A. (2016). Effect of Humic Fulvic Acid Application at Different Doses on Biological Activity of Different Region Soils. *The International Conference of the University of Agronomic Sciences and Veterinary Medicine of Bucharest "Agriculture for Life, Life for Agriculture"*, Haziran 9-11.
- Erol, H., Coşkan, A., Doğan, K., Gök, M. (2010). Isparta da Yağ Gülü *Rosa damascena* Üretiminde Organik ve Konvansiyonel Üretim Toprakların Mineral Azot İçeriğine ve Biyolojik Aktivitesine Etkisi. 5. Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Kongresi, Eylül 15-17, İZMİR, 593-598.
- Furkan, E. & Türkmen, C. (2023). Humik Asit ve Mikrobiyal Gübre Uygulamalarının Toprak Biyokimyasal Özellikleri ve Agregat Stabilitesine Etkisi. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11(2), 286-299.
- Gök M., Onaç I., Coşkan A., Sağlamtimur T., İnal İ., Ottow J. C. G., Benckiser G. (1999). Influence of organic fertilization on N mineralization denitrification and biological activity in soil under maize plantings. *Turkish-German Agricultural Research-6th Symposium Justus-Liebig Universtät-Giessen*, Eylül 27-2, GIESSEN, 85-90.
- Gök, M., Onaç, I., Karip, B., Coşkan, A., Sağlamtimur, T., Tansı, V., İnal, İ. (1998). Farklı Yeşil Gübre Bitkilerinin Mısır Ekili Alanda Toprakta Azot Mineralizasyonu İmmobilizasyonu ve Toprağın Bazı Biyolojik Özelliklerine Etkisi. *M. Şefik Yeşilsoy International Symposium on Arid Region Soil. "YISARS"*, Eylül 21-24, İZMİR, 544-550.
- Güneş, A. (2013). Bitki gelişimini teşvik eden bakteriler tarafından salgılanan amino asit, organik asit ve hormonların, kireç içeriği yüksek topraklarda fosfor yarıyışlılığı üzerine etkisi. *Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum*
- Haktanır, K., & Arcak, S. (1997). *Toprak Biyolojisi (Toprak Ekosistemine Giriş)*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 126(2).
- Hozayn, M., & Abd El-Monem, A. A. (2010). Alleviation of the potential impact of climate change on wheat productivity using arginine under irrigated Egyptian agriculture. *Opions Méditerranéennes*, 95, 95-100.

- Jawad, A. A., & Coşkan, A. (2019). Influence of Bacteria Isolated from Different Ecological Zone of Turkey on Maize Growth and Nutrient Uptake. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7, 115-120.
- Kacar, B., & Katkat, A. V. (2015). Bitki besleme. Nobel Akademik Yayıncılık, S, 678.
- Kashyap, B. K., Solanki, M. K., Pandey, A. K., Prabha, S., Kumar, P., & Kumari, B. (2019). Bacillus as plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): a promising green agriculture technology. In *Plant health under biotic stress* (pp. 219-236). Springer, Singapore.
- Kemer, Y., & Coskan, A. (2017). The effects of walnut shell and thyme stalk biochar on pepper: plant parameters. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*. Nr II/2/2017, Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie, s. 737–746 DOI: <http://dx.medra.org/10.14597/infraeco.2017.2.2.056>
- Kirac, G., & Coskan, A. (2017). Adverse effects of different humic+ fulvic acid levels on biological nitrogen fixation on groundnut. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*. Nr III/2/2017, Polish Academy of Sciences, Cracow Branch, pp. 1145–1155
- Kızılkaya, R. (2008). Dehydrogenase activity in *Lumbricus terrestris* casts and surrounding soil affected by addition of different organic wastes and Zn. *Bioresource Technology*, 99(5), 946-953.
- Kızılkaya, R., & Hepşen, Ş. (2007). Microbiological properties in earthworm cast and surrounding soil amended with various organic wastes. *Communications in soil science and plant analysis*, 38(19-20), 2861-2876.
- Kleifeld, O., & Chet, I. (1992). *Trichoderma harzianum*—interaction with plants and effect on growth response. *Plant and soil*, 144(2), 267-272.
- Klopper, J.W. (1994). Plant growth-promoting rhizobacteria (other systems). Y. Okon (Ed.), *Azospirillum/Plant Associations*, CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp. 111–118.
- Küçükyumuk, Z., Erdal, İ., Coskan, A., Gökteş, M., & Sırça, E. (2017). Influence of biochar on growth and mineral concentrations of pepper. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*. Nr II/2, Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie, s. 793–802. DOI: <http://dx.medra.org/10.14597/infraeco.2017.2.2.061>
- Külahtaş, B., & Çokuysal, B. (2016). Biyostimulantların sınıflandırılması ve Türkiye'deki durumu. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 31(3), 185-200.
- Kural, F., Coşkan, A. (2023) The Effect of Vermicompost Application on Yield and Nutrient Concentration of Oily Rose. *Turkish Science and Technology Publishing (TURSTEP)*, 11. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v11i8.1310-1316.5902>
- Laird, D., Fleming, P., Wang, B., Horton, R., Karlen, D. (2010). Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma*. 158:436-442.
- LeCroy, C., Masiello, C.A., Rudgers, J.A., Hockaday, W.C., Silberg, J. (2013). Nitrogen, Biochar, and mycorrhizae: Alteration of the symbiosis and oxidation of the char surface. *Soil Biology & Biochemistry*. 58:248-254.

- Lehmann, J., Rillig, M.C., Thies, J., Masiello, A.C., Hockaday, W. C., Crowley, D. (2010). Biochar effects on soil biota-A review. *Soil Biology & Biochemistry* 43:1812-1836.
- Lim, J. H., & Kim, S. D. (2009). Synergistic plant growth promotion by the indigenous auxins-producing PGPR *Bacillus subtilis* AH18 and *Bacillus licheniformis* K11. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 52(5), 531-538.
- Luo, Y., Durenkamp, M., DeNobili, M., Lin, Q., Brookes, P.C. (2011). Short term soil priming effects and mineralisation of Biochar following its incorporation to soils of different pH. *Soil Biology & Biochemistry*. 43:2304-2314.
- Matin, G., & Kayıkçoğlu, H. H. (2022). Effect of vermicompost and biochar application on microbial activity of soil under deficit irrigation. *Journal of Global Climate Change*, 1(2), 51-61.
- Mena-Violante, H. G., & Olalde-Portugal, V. (2007). Alteration of tomato fruit quality by root inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): *Bacillus subtilis* BEB-13bs. *Scientia Horticulturae*, 113(1), 103-106.
- Meriç, F., 2022. Elma ve gül budama atıklarından farklı sıcaklıklarda üretilen biyokömürün toprak kalitesine etkisinin solucan kaçınma testi ile belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta
- Mısırlıoğlu, M. (2011). Toprak Solucanları, Biyolojileri, Ekolojileri ve Türkiye Türleri. Nobel Yayınları, (1636), 92.
- Mukherjee, A., & Lal, R. (2014). The biochar dilemma. *Soil research*, 52(3), 217-230.
- Mutlu H., Coşkan A. (2018). The Restriction of Individual Performance of PGPR Maize Nutrient Uptake by Antagonistic Relations. The International Conference of the University of Agronomic Sciences and Veterinary Medicine of Bucharest 'Agriculture for Life, Life for Agriculture', Haziran 7-9.
- Olivares, F.L., Aguiar, N.O., Rosa, R.C.C., Canellas, L.P. (2015). Substrate biofortification in combination with foliar sprays of plant growth promoting bacteria and humic substances boosts production of organic tomatoes. *Scientia Horticulturae*, Vol. 183, pp. 100–108.
- Ortas, I. (2003). Effect of selected mycorrhizal inoculation on phosphorus sustainability in sterile and non-sterile soils in the Harran Plain in South Anatolia. *Journal of plant nutrition*, 26(1), 1-17.
- Ortas, I. (2010). Effect of mycorrhiza application on plant growth and nutrient uptake in cucumber production under field conditions. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8, 116-122.
- Ortaş, İ., Lal, R., & Kapur, S. (2017). Carbon sequestration and mycorrhizae in Turkish soils. *Carbon Management, Technologies, and Trends in Mediterranean Ecosystems*, 139-149.
- Ortas, I., Sari, N., Akpınar, Ç., & Yetisir, H. (2011). Screening mycorrhiza species for plant growth, P and Zn uptake in pepper seedling grown under greenhouse conditions. *Scientia Horticulturae*, 128(2), 92-98.

- Popko, M., Michalak, I., Wilk, R., Gramza, M., Chojnacka, K., & Górecki, H. (2018). Effect of the new plant growth biostimulants based on amino acids on yield and grain quality of winter wheat. *Molecules*, 23(2), 470.
- Prendergast-Miller, M.T., Duvall, M., Sohi, S.P. (2011). Localization of nitrate in the rhizosphere of Biochar-amended soil. *Soil Biology & Biochemistry*. 43:2243-2246.
- Ruzzi, M., Aroca, R. (2015). Plant growth-promoting rhizobacteria act as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*. Vol. 196, pp. 124–134.
- Şenyiğit, U., Toprak, M., Coşkan A. (2021) Farklı Sulama Suyu Düzeyleri ve Vermikompost Dozlarının Cam Sera Koşullarında Yetiştirilen Fesleğen (*Ocimum basilicum* L.) Bitkisinin Su Tüketimi ve Verimine Etkileri. *Türk Bilim ve Mühendislik Dergisi*, 3, 37-43.
- Sims, R. W., & Gerard, B. M. (1985). *Earthworms: keys and notes for the identification and study of the species* (Vol. 31). Brill Archive.
- Sivasakthi, S., Usharani, G., & Saranraj, P. (2014). Biocontrol potentiality of plant growth promoting bacteria (PGPR)-*Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis*: A review. *African journal of agricultural research*, 9(16), 1265-1277.
- Sohi, S., Krull, E., Lopez-Capel, E., Bol, R. (2010). A review of biochar and its use and function in soil. *Advances in Agronomy*. 105:47-82.
- Song W. & Guo, M. (2012). Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 94:138-145.
- Sridevi, M., & Mallaiah, K. V. (2009). Phosphate solubilization by *Rhizobium* strains. *Indian journal of microbiology*, 49, 98-102.
- Teixeira, W. F., Soares, L. H., Fagan, E. B., da Costa Mello, S., Reichardt, K., & Dourado-Neto, D. (2020). Amino acids as stress reducers in soybean plant growth under different water-deficit conditions. *Journal of plant growth regulation*, 39(2), 905-919.
- Teke, Ş., Coşkan, A., Aktaş, H. (2019) Vermikompostun Domateste Verim ve Kalite Parametreleri Üzerine Etkileri. *Türk Bilim ve Mühendislik Dergisi*, 1, 23-27.
- Tunçay, D. A. (2019). Aynı sıcaklıkta farklı materyaller kullanılarak üretilmiş biyokömürün çilek bitkisi gelişimi ve mineral beslenmesine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta
- Tunçay, T. Y. (2019). Farklı sıcaklıklarda gül posası kullanılarak üretilmiş biyokömürün çilek bitkisi gelişimi ve mineral beslenmesine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta
- Upadhyay, S. K., Singh, J. S., Saxena, A. K., & Singh, D. P. (2012). Impact of PGPR inoculation on growth and antioxidant status of wheat under saline conditions. *Plant Biology*, 14(4), 605-611.
- Vinci, G., Cozzolino, V., Mazzei, P., Monda, H., Spaccini, R., & Piccolo, A. (2018). An alternative to mineral phosphorus fertilizers: The combined effects of *Trichoderma harzianum* and compost on *Zea mays*, as revealed by 1H NMR and GC-MS metabolomics. *PloS one*, 13(12), e0209664.

- Yanai, Y., Toyota, K., Okazaki, M. (2007). Effects of charcoal addition on N₂O emissions from soil resulting from rewetting air-dried soil in short-term laboratory experiments. *Soil Science & Plant Nutrition*. 53:181-188.
- Yang, S., Imran, & Ortas, I. (2023). Impact of mycorrhiza on plant nutrition and food security. *Journal of Plant Nutrition*, 46(13), 3247-3272.
- Yedidia, I., Srivastva, A. K., Kapulnik, Y., & Chet, I. (2001). Effect of *Trichoderma harzianum* on microelement concentrations and increased growth of cucumber plants. *Plant and soil*, 235(2), 235-242.
- Yılmaz, S. (2018). Elma posasından elde edilen biyokömürün fide yetiştiriciliğinde kullanımı Yüksek Lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta
- Yogendra, S. G., & U, S. S. (2014). Enhance activity of stress related enzymes in rice (*Oryza sativa* L.) induced by plant growth promoting fungi under drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 9(19), 1430-1434.
- Zaidi, A., Ahmad, E., Khan, M.S., Saif, S., Rizvi, A. (2015). Role of plant growth promoting rhizobacteria in sustainable production of vegetables: Current perspective. *Scientia Horticulturae*. Vol. 193, pp. 231–239.
- Zavollini, C., Alberti, G., Biasiol, S., Vedove, G.D., Fornasier, F., Liu, J., Peressotti, A. (2011). Microbial mineralization of biochar and wheat straw mixture in soil: A short term study. *Applied Soil Ecology*. 50:45-51.

**TOPRAK MİKROORGANİZMALARI VE YEŞİL GÜBRELERİN TARIMSAL ÜRETİM
BAĞLAMINDA ETKİLEŞİM VE ETKİLERİNİN ANALİZİ**

Cengiz KAYA, Ferhat UĞURLAR

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa 63200, Türkiye
c_kaya70@yahoo.com

Özet

Toprak mikroorganizmaları, bakteri ve mantarları içeren, toprak mikroboyumun ayrılmaz birer parçası olarak besin döngüsü, bitki sağlığı ve toprak kalitesinde önemli roller oynarlar. Yeşil gübreler, hayvan gübresi, bitki artıkları, kompost, biyokömür ve yeşil gübre gibi çeşitli kaynaklardan elde edilen organik materyaller, fosil yakıtlara bağımlılık olmaksızın toprak verimliliğini artırma ve tarım üretkenliğini geliştirme potansiyeline sahiptir. Bu makalede, tarımsal üretim bağlamında toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübreler arasındaki etkileşimleri ve etkileri analiz etmek amaçlanmaktadır. Bu makale kapsamında, toprak mikroorganizmalarının organik maddenin ayrışması ve besin maddelerinin toprakta çözülmesi, mineralleşmesi ve bağlanmasına olan etkilerini analiz edilmektedir. Ayrıca, yeşil gübrelerin toprak mikroorganizma topluluklarının çeşitliliği, bileşimi ve işlevselliği üzerindeki etkileri incelenmektedir. Toprak mikroorganizmalarıyla yeşil gübrelerin iş birliği, su tutma, agregasyon, organik madde içeriği, pH düzeyleri, katyon değişim kapasitesi, mikrobiyal biyomasa ve enzim aktivitesi gibi temel toprak özelliklerini artırması üzerine önemli bir etki gösterir. Ayrıca, toprak mikroorganizmaları, bitki biyokütlesi, verim, kalite ve zararlılara karşı direncin artırılmasına olumlu bir etki yapar, aynı zamanda sentetik gübrelere olan ihtiyacı azaltabilir ve besin kayıplarını önler. Bu mikroorganizmalar, tarımla ilişkilendirilen sera gazı emisyonlarını azaltarak karbonu toprakta tutabilir ve fosil yakıt kullanımını azaltabilir. Yeşil gübre kullanımını etkileyen konularda dikkate alınması gereken engeller; yeşil gübre kaynaklarının bulunabilirliği ve erişilebilirliği, üretim maliyeti, çiftçi ve tüketici bilincinin artırılması, uygun politika ve düzenlemelerin benimsenmesi, toprak mikroorganizmalarının ve yeşil gübrelerin sürdürülebilir tarım yöntemleriyle entegrasyonu gibi teknik, sosyal ve kurumsal konuları içerir. Sonuç olarak, toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübreler, sürdürülebilir tarım ve gıda güvenliğine önemli katkılarda bulunabilir. Ancak, bu uygulamaların yol açtığı sorunlar ve belirsizlikleri dikkatlice yönetmek önemlidir. Makale, bu uygulamaların geliştirilmesini ve yaygınlaştırılmasını artırmak için gelecek araştırma önermelerini önermektedir.

**AN ANALYSIS OF THE INTERACTIONS AND IMPACTS OF SOIL MICROORGANISMS
AND GREEN FERTILIZERS IN THE CONTEXT OF AGRICULTURAL PRODUCTION**

Abstract

Soil microorganisms, including bacteria and fungi, play pivotal roles in nutrient cycling, plant health, and soil quality as integral components of the soil microbiome. Green fertilizers, organic materials sourced from various origins such as animal manure, crop

residues, compost, biochar, and green manure, hold the potential to enhance soil fertility and crop productivity without reliance on fossil fuels. This paper seeks to analyze the interactions and impacts of soil microorganisms and green fertilizers in the context of agricultural production.

The paper reviews existing literature regarding the influence of soil microorganisms on the decomposition, mineralization, and immobilization of organic matter and nutrients in soil. Additionally, it explores how green fertilizers affect the diversity, composition, and functionality of soil microorganism communities. The study demonstrates that soil microorganisms can collaborate with green fertilizers to enhance key soil attributes, including water retention, aggregation, organic matter content, pH levels, cation exchange capacity, microbial biomass, and enzyme activity. Furthermore, soil microorganisms can positively affect plant biomass, yield, quality, and resistance to pests and diseases, while also contributing to improved nutrient cycling and availability, reducing the necessity for synthetic fertilizers and curbing nutrient losses and leaching. These microorganisms can even mitigate greenhouse gas emissions associated with agriculture by sequestering carbon in the soil and reducing fossil fuel use. However, the paper also addresses the challenges and opportunities in optimizing the interactions and impacts of soil microorganisms and green fertilizers across various regions and agricultural systems. It identifies technical, social, and institutional barriers that require attention, such as the availability and accessibility of green fertilizer sources, the cost-effectiveness and profitability of green fertilizer production and application, farmer and consumer awareness regarding the benefits and risks of soil microorganisms and green fertilizers, relevant policies and regulations supporting or impeding the adoption of these practices, and the integration of soil microorganisms and green fertilizers with other sustainable agricultural approaches. In conclusion, soil microorganisms and green fertilizers have the potential to significantly contribute to sustainable agriculture and food security. However, it is essential to carefully evaluate and manage the associated trade-offs and uncertainties. The paper provides recommendations for future research directions to enhance the development and dissemination of these practices.

GİRİŞ

Toprak, Dünya'da yaşamı destekleyen karmaşık ve dinamik bir sistemdir. Toprak, gıda üretimi, su arıtma, iklim düzenleme ve biyoçeşitliliği koruma gibi temel ekosistem hizmetlerine yardımcı olur. Ancak, toprak aynı zamanda yoğun tarım, arazi kullanım değişiklikleri, orman kesimi, kentleşme ve kirlilik gibi insan faaliyetlerinin artan baskısı altındadır. Bu faaliyetler toprağın kalitesini ve verimliliğini bozabilir, toprak organik madde ve biyo çeşitliliğini azaltabilir, toprak besin döngüsünü ve uygunluğunu bozabilir ve toprak erozyonunu ile sera gazı emisyonlarını artırabilir (Smith ve ark., 2016; Sofo ve ark., 2022; Ekka ve ark., 2023). Bu nedenle, toprak sağlığını ve fonksiyonunu artırabilen, aynı zamanda gıda güvenliğini ve çevresel korumayı sağlayan sürdürülebilir toprak yönetim uygulamalarını benimsemek önemlidir.

Sürdürülebilir toprak yönetiminin temel unsurlarından biri, toprak mikroorganizmalarının ve yeşil gübrelerin kullanımudur. Bakteri ve mantarları içeren toprak mikroorganizmaları, topraktaki mikrobiyomun ayrılmaz bir parçasıdır; bu terim, topraktaki mikrobiyal toplulukları ve genetik bilgilerini ifade eder (Jansson ve Hofmockel, 2020). Toprak mikroorganizmaları, organik maddeyi parçalayarak, mineralleri çözerek ve immobil hale getirerek, atmosferik azotu bağlayarak, fosforu çözerek, bitki büyümeyi teşvik eden maddeler üreterek, sistemik direnç oluşturarak ve toprakta bulunan patojenleri ve zararlıları bastırarak, besin döngüsü, bitki sağlığı ve toprak kalitesinde önemli roller oynarlar (Sahu ve ark., 2018; Majeed ve ark., 2018; Hernández-Rosas ve ark., 2020; Mahmud ve ark., 2020; Liu ve ark., 2021; Yu ve ark., 2022; Silva ve ark., 2023). Toprak mikroorganizmaları, toprak fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerinde etkili olabilirler. Bu etkiler arasında su tutma kapasitesinde artış, daha güçlü agregasyon, organik madde içeriğinde artış, pH seviyelerinin düzenlenmesi, katyon değişim kapasitesinde iyileşme, mikrobiyal biyomassa artışı ve enzim aktivitesinin artması bulunmaktadır (Fierer ve ark., 2021; Manda ve ark., 2023; Pedrinho ve ark., 2024).

Yeşil gübreleme, tarlada çeşitli bitkilerin yetiştirilip henüz yeşil iken toprağa karıştırılması işlemidir. Bu süreçte, özellikle baklagil bitkilerinin kullanılması önemlidir (Bergstrand, 2022). Organik gübreler ise hayvan gübresi, tarım kalıntıları, kompost, biyokömür gibi çeşitli kaynaklardan elde edilen organik materyallerdir. Yeşil gübreler, fosil yakıtlara bağımlılık olmadan toprak verimliliğini ve tarım üretkenliğini artırma potansiyeline sahiptir (Hazra, 2016). Yeşil gübreler, toprağa organik madde ve besin sağlar (Ma ve ark., 2021), toprak yapısını ve gözenekliliğini iyileştirir (Fang ve ark., 2021), su tutma kapasitesini ve infiltrasyonu artırır (Müjdeci ve ark., 2020), toprak sıkışması ve kabuklanmayı azaltabilir (Kumar ve ark., 2020), toprak asitliğini ve alkaliğini düzenler (Singh ve ark., 2020) ve toprak biyolojik aktivitesini artırır (Lazcano ve ark., 2013). Yeşil gübreler, sentetik gübrelerin daha etkin kullanılmasına yardımcı olur (Shaji ve ark., 2021), bu da çevre üzerinde negatif etkilere yol açabilen besin kayıpları, sızma, ötrofikasyon, asitleşme, tuzlanma ve sera gazı emisyonları azaltır (Iрін ve Biswas, 2023; Zhao ve ark., 2015).

Toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübrelerin tarımsal üretim bağlamında etkileşimleri ve etkileri karmaşık ve değişken olup çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu faktörler arasında yeşil gübre türü, kalitesi ve miktarı, toprak mikroorganizma topluluklarının çeşitliliği, bileşimi ve işlevselliği, toprak tipi, tekstürü ve nem içeriği, yetiştirilen bitki türü, çeşidi ve rotasyonu, iklim ve hava koşulları gibi çeşitli etkenler bulunmaktadır (Mohammadi ve ark., 2011; Jin ve ark., 2019; Marshall ve Lynch, 2020; Xu ve ark., 2023; LeBlanc, 2023). Bu nedenle, bu etkileşimleri ve etkileri farklı bölgelerde ve tarımsal sistemlerde değerlendirmek ve optimize etmek, bu uygulamaları hayata geçirirken karşılaşılan zorluklarla başa çıkmak ve fırsatları değerlendirmek önemlidir. Bu kitap bölümüyle, tarımsal üretim bağlamında toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübrelerin etkileşimlerini ve etkilerini inceleyerek mevcut literatür çalışmalarını gözden geçirmeyi ve gelecekteki araştırma konuları için öneriler sunmayı amaçlamaktadır. Makale konuları şu şekilde düzenlenmiştir: Toprak mikroorganizmalarının organik madde ve besinlerin topraktaki ayrışması, mineralleşmesi ve immobilize olmasına olan etkisi ele alınmaktadır.

Ayrıca, yeşil gübrelerin toprak mikroorganizma topluluklarının çeşitliliği, bileşimi ve işlevselliği üzerindeki etkileri incelenmektedir. Toprak mikroorganizmalarının ve yeşil gübrelerin su tutma, agregasyon, organik madde içeriği, pH seviyeleri, katyon değişim kapasitesi, mikrobiyal biyomassa ve enzim aktivitesi gibi önemli toprak özelliklerini nasıl artırabileceği gösterilmektedir. Toprak mikroorganizmalarının ve yeşil gübrelerin bitki biyomasi, verim, kalite ve zararlılara karşı direnci üzerinde olumlu etkiler yapabileceği, aynı zamanda iyileştirilmiş besin döngüsü ve uygunluğuna katkıda bulunarak sentetik gübrelere duyulan ihtiyacı azaltabileceği ve besin kayıplarını sınırlayabileceği incelenmektedir. Toprak mikroorganizmalarının ve yeşil gübrelerin tarımla ilişkilendirilen sera gazı emisyonlarını azaltarak toprakta karbon biriktirme ve fosil yakıt kullanımını azaltma yeteneği değerlendirilmektedir. Toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübrelerin etkileşimlerini ve etkilerini farklı bölgelerde ve tarımsal sistemlerde optimize etme konusundaki zorluklar ve fırsatlar ele alınmakta, dikkate alınması gereken teknik, sosyal ve kurumsal engeller belirlenmektedir. Son olarak, gelecekteki araştırma konuları için öneriler sunulmaktadır.

Toprak Mikroorganizmalarının Topraktaki Organik Madde ve Besin Elementlerinin Parçalanması, Mineralizasyonu ve İmmobilizasyonu Üzerindeki Etkisi

Toprak mikroorganizmaları, topraktaki organik madde ve besin maddelerinin ayrıştırılması, mineralleştirilmesi ve immobilizasyonu gibi temel olaylarda yer alan önemli aktörlerdir (Raza ve ark., 2023). Bu süreçler, toprak verimliliğinin sürdürülmesi ve bitkilere besin sağlanması için önemlidir. Bu bölümde, toprak mikroorganizmalarının bu süreçleri nasıl etkilediğini ve yeşil gübrelerin uygulanmasıyla nasıl etkilendiklerini tartışacağız.

Ayrıştırma, organik maddenin karbon dioksit, su ve inorganik besin maddeleri gibi daha basit bileşenlere parçalanma sürecidir. Ayrıştırma, başta bakteri ve mantarlar olmak üzere toprak mikroorganizmaları tarafından gerçekleştirilir. Bu mikroorganizmalar, organik maddeyi enerji ve karbon kaynağı olarak kullanırlar (Khatoun ve ark., 2017). Ayrıştırmanın hızı ve derecesi, organik madde kalitesi ve miktarı, toprak mikroorganizmalarının çeşitliliği ve aktivitesi, toprak sıcaklığı ve nemi, toprak pH'sı ve oksijenin varlığı, inhibitörlerin veya uyarıcıların varlığı gibi çeşitli faktörlere bağlıdır (Sierra ve ark., 2015; Walz ve ark., 2017; Findlay, 2021).

Mineralizasyon, azot, fosfor ve kükürt gibi organik besin maddelerini bitkiler tarafından alınabilen amonyum, nitrat, fosfat ve sülfat gibi inorganik formlara dönüştürme sürecidir (Grzyb ve ark., 2020). Mineralleşme de ağırlıklı olarak toprak mikroorganizmaları tarafından gerçekleştirilir; bunlar, organik molekülleri hidrolize eden enzimleri salgılar ve inorganik besin maddelerini serbest bırakırlar (Jacoby ve ark., 2017). Mineralleşmenin hızı ve derecesi, ayrıştırmada olduğu gibi organik besin maddesi kalitesi ve miktarı, toprak mikroorganizmaları arasındaki rekabet ve iş birliği, bitkinin besin maddesine olan talebi ve alımı gibi faktörlere bağlıdır (Spohn, 2016; Bashri ve ark., 2017; Grzyb ve ark., 2020).

İmmobilizasyon, toprak mikroorganizmaları tarafından inorganik besin maddelerinin amino asitler, nükleik asitler ve proteinler gibi organik formlara dahil edilme sürecidir (Mahala ve ark., 2020). İmmobilizasyon, mineralizasyonun zıttıdır ve toprak

mikroorganizmalarının inorganik besinlere olan talebinin organik maddeden gelen arzı aştığı durumlarda gerçekleşir (Bashir ve ark., 2021). İmmobilizasyon, bitkiler için inorganik besinlerin kullanılabilirliğini azaltabilir ve aynı zamanda topraktaki organik madde ve besinlerin tutulma ve stabilizasyonunu artırabilir. İmmobilizasyonun hızı ve derecesi, mineralizasyonun yanı sıra organik maddenin karbon ile besin oranı, toprak mikroorganizmalarının büyümesi ve döngüsü, toprak mikroorganizmaları ile bitkiler arasındaki etkileşimlere bağlıdır (Cao ve ark., 2021; Marschner ve Rengel, 2023).

Yeşil gübrelerin uygulanması, topraktaki organik madde miktarını ve kalitesini artırarak, toprak mikroorganizmalarının çeşitliliği ve aktivitesini yükselterek ve toprak fizikokimyasal özelliklerini değiştirerek, organik madde ve besinlerin ayrıştırılması, mineralizasyonu ve immobilizasyonunu etkileyebilir (Hababi ve ark., 2013; Ding ve ark., 2021). Yeşil gübrelerin bu süreçler üzerindeki etkileri, yeşil gübre türü, kalitesi ve miktarı, toprak tipi, tekstürü ve nemi, yetiştirilen bitki türü, çeşidi ve rotasyonu, iklim ve hava koşulları, gibi faktörlere bağlı olarak olumlu veya olumsuz olur (Salahin ve ark., 2013; Carvalho ve ark., 2015; Das ve ark., 2020). Genel olarak, yeşil gübreler, organik madde ve besinlerin topraktaki ayrıştırılmasını ve mineralizasyonunu artırabilir, organik madde ve besin kaynağı sağlayarak toprak mikroorganizmalarının büyümesini ve aktivitesini teşvik eder ve toprak yapısını ve gözenekliliğini iyileştirir (Müjdeci ve ark., 2020; Iderawumi ve Kamal, 2022). Ancak, yeşil gübreler, toprak mikroorganizmalarının inorganik besinlere olan talebini artırarak ve inorganik besinlerle kompleksler oluşturarak bitkiler için bunların kullanılabilirliğini azaltarak topraktaki inorganik besinlerin immobilizasyonunu artırabilir (Ma ve ark., 2023). Ancak, bu etki genellikle geçici olup, yeşil gübre kalitesi ve miktarına, toprak tipine ve çevresel koşullara bağlıdır (Verma ve ark., 2020). Bu nedenle, yeşil gübre uygulamasını optimize etmek önemlidir; bu da yeşil gübre türü, kalitesi ve miktarı, uygulama zamanlaması ve sıklığı, yeşil gübrelerin karışımı ve yeşil gübrelerin diğer toprak düzenleyicileri ve gübrelerle uyumluluğu ve tamamlayıcılığı gibi faktörleri göz önüne almayı gerektirir.

Sonuç olarak, toprak mikroorganizmalarının organik madde ve besin elementleri üzerindeki etkilerini incelediğimiz **Tablo 1**, ayrıştırma, mineralleşme, immobiliye etkisi ve yeşil gübrelerin toprak süreçleri üzerindeki etkilerini ana hatlarıyla sunmaktadır. Bu tablo, toprak sağlığı ve bitki beslenmesinde kritik öneme sahip olan bu süreçlerin anlaşılmasına katkı sağlayarak, toprak mikroorganizmalarının bu süreçlerdeki önemli rolünü vurgulamaktadır.

Tablo 1. Toprak Mikroorganizmalarının Organik Madde ve Besin Elementleri Üzerindeki Etkileri

Süreç	Tanım	Etki Yapan Faktörler	Kaynaklar
Ayrıştırma	Organik maddenin parçalanması	Organik madde kalitesi ve miktarı, toprak mikroorganizmalarının çeşitliliği ve aktivitesi, toprak sıcaklığı ve nem, toprak pH ve oksijenin varlığı, inhibitörlerin veya uyarıcıların varlığı	[Sierra ve ark., 2015; Walz ve ark., 2017; Findlay, 2021]
Mineralleşme	Organik besin maddelerinin inorganik formlara dönüştürülmesi	Organik besin maddesi kalitesi ve miktarı, toprak mikroorganizmaları arasındaki rekabet ve işbirliği, bitkinin besin maddesine olan talebi ve alımı	[Spohn ve ark., 2016; Jacoby ve ark., 2017; Bashri ve ark., 2017; Grzyb ve ark., 2020]
İmmobilizasyon	İnorganik besin maddelerinin organik formlara dahil edilmesi	Organik maddenin karbon ile besin oranı, toprak mikroorganizmalarının büyümesi ve devri, toprak mikroorganizmaları ile bitkiler arasındaki etkileşimler	[Mahala ve ark., 2020; Bashir ve ark., 2021; Cao ve ark., 2021; Marschner ve Rengel, 2023]
Yeşil Gübre Etkisi	Organik madde ve besinlerin topraktaki ayrıştırılması, mineralizasyonu ve immobilizasyonu üzerindeki etkiler	Yeşil gübre türü, kalitesi ve miktarı, toprak tipi, tekstürü ve nemi, yetiştirilen bitki türü, çeşidi ve rotasyonu, iklim ve hava koşulları	[Hababi ve ark., 2013; Ding ve ark., 2021; Idham ve ark., 2021; Das ve ark., 2020; Salahin ve ark., 2013; Fageri, 2017; Iderawumi ve Kamal, 2022; Xu ve ark., 2021]

Yeşil Gübrelerin Toprak Mikroorganizma Topluluklarının Çeşitliliği, Kompozisyonu ve Fonksiyonelliği Üzerine Etkileri

Toprak mikroorganizmaları, toprak sağlığı ve verimliliğin korunması için hayati öneme sahiptir, çünkü organik madde parçalanması, besin döngüsü, hastalık bastırma ve bitki büyümesini teşvik etme gibi çeşitli fonksiyonları yerine getirirler (Kumar ve ark., 2020; Zhou ve ark., 2023). Toprak mikroorganizma topluluklarının çeşitliliği, bileşimi ve işlevselliği, toprak özellikleri, iklim, bitki türleri ve yönetim uygulamaları gibi çeşitli faktörlerden etkilenir (Xia ve ark., 2020; Renčo ve ark., 2020; Li ve ark., 2022; Shi ve ark., 2020). Bunlar arasında gübreleme, mahsul üretimini ve toprak kalitesini artırmak için kullanılan en önemli ve yaygın kullanılan uygulamalardan biridir (Fan ve ark., 2010). Gübreleme, kimyasal veya organik kaynaklar veya her ikisinin kombinasyonu kullanılarak yapılabilir. Yeşil gübreler, (green manure) olarak da bilinen, mahsulün yetiştirildiği toprağa

ekilen veya ekim sezonu sırasında toprağa karıştırılan bitkilerden oluşan organik gübre türüdür (Rothe ve ark., 2019). Yeşil gübreler, toprağın ve bitkilerin yararına birçok avantaj sağlayabilir, örneğin toprak organik madde miktarını artırma, toprak yapısını iyileştirme, su tutma kapasitesini artırma, toprak erozyonunu azaltma ve besin sağlama (Lei ve ark., 2022). Ancak, yeşil gübreler, yeşil gübrenin türü, kalitesi ve miktarı ile toprak ve çevresel koşullara bağlı olarak olumlu veya olumsuz etkilere neden olabilir (Tao ve ark., 2017).

Dincă ve ark., (2022) bir derlemesine göre, yeşil gübreler, özellikle organik madde parçalanması ve besin mineralizasyonunda rol alan bakteri ve fungus gibi toprak mikroorganizmalarının bolluğunu ve aktivitesini artırabilir. Bu, yeşil gübrelerin toprak mikroorganizmaları için bir karbon ve enerji kaynağı sağlaması, aynı zamanda büyüme ve üreme için bir alt taban oluşturması nedeniyledir. Ancak, yeşil gübrelerin toprak mikroorganizmalarının bolluğu ve aktivitesi genellikle geçicidir ve yeşil gübrenin kalitesi ve miktarı, toprak tipi ve çevresel koşullara bağlıdır. Örneğin, yüksek karbon-azot (C/N) oranına sahip yeşil gübreler, tahıl sapı gibi, toprak mikroorganizmalarının mevcut azotu karbon açısından zengin malzemeyi parçalamak için kullandığı için toprakta geçici bir azot bağlamasına neden olabilir. Bu, bitkiler için azotun kullanılabilirliğinde bir azalmaya ve sonraki mahsulün büyüme ve veriminde bir azalmaya yol açabilir. Öte yandan, düşük C/N oranına sahip yeşil gübreler, baklagiller gibi, toprak mikroorganizmalarının fazla azotu amonyak veya nitrat olarak salmasına neden olarak topraktaki azotun kullanılabilirliğini artırabilir. Bu, sonraki mahsulün büyüme ve veriminde bir artışa yol açabildiği gibi çevresel tehdit de oluşturabilir. Bu nedenle, yeşil gübrelerin kalitesi ve miktarı dikkatlice seçilmeli ve toprak ve mahsul ihtiyaçlarına göre ayarlanmalıdır.

Yeşil gübrelerin toprak mikroorganizma topluluklarının çeşitliliği ve bileşimi üzerindeki etkisi, bolluk ve aktivite üzerindeki etki kadar açık ve değişken değildir. Wang ve ark.'nın (2023) bir meta-analizine göre, organik gübreleme, yeşil gübreleri içerdiği için genellikle konvansiyonel veya gübresiz uygulamalara göre özellikle bakteriyel ve fungal zenginlik ve homojenlik açısından toprak mikrobiyal çeşitliliği artırır. Ancak, organik gübrelemenin toprak mikrobiyal çeşitliliği üzerindeki etkisi, organik gübrenin türü ve miktarı, uygulamanın süresi ve sıklığı, toprak bünyesi ve pH, iklim ve mevsim, bitki türleri ve rotasyonu gibi birçok faktöre bağlıdır. Ayrıca, organik gübrelemenin toprak mikrobiyal çeşitliliği üzerindeki etkisi her zaman toprak mikrobiyal işlevi üzerindeki etkiyle tutarlı olmayabilir. Örneğin, Luo ve ark., 2015 tarafından yapılan bir çalışma, yeşil gübre uygulamanın toprak solunum hızını ve mineralize edilen besin içeriğini önemli ölçüde artırdığını, ancak kimyasal gübre uygulamasına kıyasla toprak mikrobiyal biyokütlesi ve bakteri ve fungal topluluklarının çeşitliliğini azalttığını bulmuştur. Bu, yeşil ve kimyasal gübreler arasındaki seçimin tarım uygulamalarındaki gübre uygulamalarının belirli hedefleri ve ekolojik etkilerini düşünmenin önemini vurgular. Bu nedenle, yeşil gübrelerin toprak mikroorganizma topluluklarının çeşitliliği ve bileşimi üzerindeki etkisi, işlevsellik ve genel toprak kalitesi üzerindeki etki ile ilişkilendirilerek değerlendirilmelidir.

Yeşil gübrelerin uygulanması, toprak mikroorganizma topluluklarının çeşitliliğini etkileyebilir, ki bu, belirli bir toprak örneğindeki mikroorganizmaların sayısı ve çeşitliliğinin bir ölçüsüdür (Liang ve ark., 2024; Xu ve ark., 2023). Toprak mikroorganizma topluluklarının çeşitliliği, Shannon indeksi, Simpson indeksi, Margalef indeksi ve Pielou

indeksi gibi çeşitli endekslerle değerlendirilebilir, bunlar toprak mikroorganizmalarının çeşitliliği, homojenliği, baskınlığı ve heterojenliği gibi farklı çeşitlilik yönlerini belirlenmesine yardımcı olur (Deng ve ark., 2023). Toprak mikroorganizma topluluklarının çeşitliliği aynı zamanda polimeraz zincir reaksiyonu (PCR), denatüre edici gradyan jel elektroforezi (DGGE), terminal restriksiyon fragmenti uzunluk polimorfizmi (T-RFLP), fluoresans in situ hibridizasyon (FISH) ve yeni nesil dizileme (NGS) gibi moleküler yöntemlerle değerlendirilebilir. Bu yöntemler, genetik bilgilerine dayanarak toprak mikroorganizmalarının farklı tiplerini ve gruplarını tanımlayabilir ve nicelendirebilir (Nkongolo ve Narendrula-Kotha, 2020; Dubey ve ark., 2020). Toprak mikroorganizma topluluklarının çeşitliliği, toprak sağlığını ve fonksiyonunu sürdürmek açısından kritiktir (Tahat ve ark., 2020). Bu, çevresel değişikliklere karşı toprak mikroorganizmalarının direncini, kararlılığını ve adaptabilitesini gösteren bir gösterge olarak bitki büyümesini ve verimini doğrudan etkiler (De Vries ve Shade, 2013). Bu çeşitlilik, organik madde ve besinlerin parçalanması, mineralizasyonu ve bağlanması gibi çeşitli toprak süreçlerinin etkili bir şekilde gerçekleştirilmesi için temel bir öneme sahiptir (Sahu ve ark., 2018). Ayrıca, çeşitli toprak mikroorganizma toplulukları, atmosferik azotun bağlanması, fosforun çözünürlüğü, bitki büyüme-promotör maddelerin üretimi, sistemik direncin indüksiyonu ve toprakta bulunan patojen ve zararlı organizmaların bastırılmasında önemli bir rol oynar (Khatoun ve ark., 2020; Liu ve ark., 2021).

Yeşil gübreler, toprak mikroorganizma topluluklarının çeşitliliğini artırabilir. Organik madde ve besin kaynağı sağlayarak toprak mikroorganizmalarının büyüme ve aktivitesini uyarır ve toprak yapısını ve gözenekliliğini iyileştirir, böylece toprak sağlığı ve bitki verimliliği üzerinde olumlu etkiler yaratır (Kumar ve ark., 2020; Asghar ve Kataoka, 2022). Bu nedenle, yeşil gübre uygulamasını optimize etmek önemlidir, yeşil gübre türleri, kalitesi ve miktarı, uygulama zamanı ve sıklığı, yeşil gübrelerin karıştırılması ve yerleştirilmesi, yeşil gübrelerin diğer toprak düzenleme ve gübrelerle uyumluluğu ve tamamlayıcılığı göz önüne alınmalıdır.

Yeşil gübrelerin kullanımı, topraktaki mikroorganizma topluluklarının çeşitliliği ve dinamikleri üzerinde önemli değişiklikler yapabilir ki bu da belirli bir toprak örneğindeki farklı tipler ve gruplar arasındaki göreceli bolluğu ve dağılımı ölçer (Xu ve ark., 2023). Toprak mikroorganizma topluluklarının bileşimi, kültür tabanlı yöntemler, biyokimyasal yöntemler, immünolojik yöntemler ve moleküler yöntemler gibi çeşitli yöntemlerle değerlendirilebilir. Bu yöntemler, mikroorganizmaların morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal, immünolojik ve genetik özelliklerine dayanarak farklı tipleri ve grupları ayırt edebilir ve sınıflandırabilir (Stefanis ve ark., 2013). Toprak mikroorganizma topluluklarının bileşimi, toprak sağlığı ve fonksiyonu, bitki büyümesi ve verimliliği için önemlidir, çünkü toprak mikroorganizmalarının fonksiyonel çeşitliliğini ve işlevlerini, toprak süreçlerindeki rollerini ve etkileşimlerini yansıtarak belirler. Bu mikroorganizmalar, organik madde ve besinlerin parçalanması, mineralizasyonu ve bağlanması, atmosferik azotun bağlanması, fosforun çözünürlüğü, bitki büyüme-promotör maddelerin üretimi, sistemik direnç indüksiyonu ve toprakta bulunan patojen ve zararlı organizmaların bastırılması gibi çeşitli işlevler yerine getirir (Condrón ve ark., 2010; Semenov ve Dukić, 2020; Li ve ark., 2023).

Yeşil gübreler, toprak mikroorganizma topluluklarının bileşimini değiştirebilir, belirli tipler ve gruplar arasında seçim yaparak ve toprak mikroorganizmalarının denge ve baskınlığını değiştirerek toprak sağlığını ve verimliliğini artırabilir (Elfstrand ve ark., 2007). Bu, yeşil gübre türleri, kalitesi ve miktarı, toprak tipi, dokusu ve nem, bitki türü, çeşidi ve rotasyon, iklim ve hava koşullarına bağlıdır (Das ve ark., 2020; Idham ve ark., 2021; Dincă ve ark., 2022). Genel olarak, yeşil gübreler, toprak verimliliğini ve bitki sağlığını artırabilen faydalı toprak mikroorganizmalarının, azot bağlayıcı bakterilerin, fosfor çözücü bakterilerin, bitki büyüme-promotör rizobakterilerin (PGPR), arbusküler mikorizal fungusların (AMF) ve antagonistik fungusların bolluğunu ve çeşitliliğini artırabilir (Shu ve ark., 2012; Longa ve ark., 2017; Zhang ve ark., 2017).

Yeşil gübreler, toprak mikroorganizma topluluklarının işlevselliğini etkileyebilir (Fontaine ve ark., 2022). Bu işlevsellik, toprak mikroorganizmalarının çeşitli toprak süreçlerine katılımının performansını ve katkısını değerlendirmek için bir ölçü olarak hizmet eder (He ve ark., 2021), organik madde ve besinlerin parçalanması, mineralizasyonu ve bağlanması gibi süreçleri içerir (Condrón ve ark., 2010). Ayrıca, atmosferik azotun bağlanması, fosforun çözümlülüğü, bitki büyümesini teşvik edici maddelerin üretimi, sistemik direnç indüksiyonu ve toprakta bulunan patojen ve zararlı organizmaların bastırılması gibi süreçleri etkiler (Lalitha, 2017; Khatoun ve ark., 2020; Liu ve ark., 2021; Hakim ve ark., 2021). Toprak mikroorganizma topluluklarının işlevselliği, enzim aktivitesi, substrat tarafından indüklenen solunum, mikrobiyal biyokütle, azot bağlanması, fosfor çözümlülüğü, bitki büyüme teşviki, hastalık bastırma ve sera gazı emisyonu gibi çeşitli yöntemlerle değerlendirilebilir. Bu yöntemler, toprak mikroorganizmaları tarafından gerçekleştirilen toprak süreçlerinin hızını ve derecesini ölçebilir (Chen ve ark., 2020; Zhou ve ark., 2020). Toprak mikroorganizma topluluklarının işlevselliği, toprak sağlığı ve fonksiyonu, bitki büyümesi ve verimliliği için önemlidir, çünkü bu, toprak mikroorganizmalarının esansiyel ekosistem hizmetlerini sağlama konusundaki etkinliğini, etkinliğini ve sürdürülebilirliğini yansıtarak, besin döngüsü ve kullanılabilirliği, bitki büyüme ve gelişme, bitki sağlığı ve direnç, iklim düzenlemesi ve hafifletme gibi hayati süreçleri destekler (Chaparro ve ark., 2012; Looby ve ark., 2020; Beule ve ark., 2022; Ortiz ve Sansinenea, 2022).

Yeşil gübrelerin kullanılması, toprak mikroorganizmalarının işlevselliğini artırır. Organik madde ve besin kaynağı sağlayarak toprak mikroorganizmalarının büyüme ve aktivitesini uyarır ve toprak yapısını ve gözenekliliğini iyileştirir (Kumar ve ark., 2020; Asghar ve Kataoka, 2022; Zhou ve ark., 2023).

Sonuç olarak, yeşil gübreler, toprak mikroorganizma topluluklarının çeşitliliği, kompozisyonu ve işlevselliği üzerinde önemli etkilere sahip olabilir; bu etkiler, yeşil gübrenin türü, kalitesi ve miktarı ile toprak ve çevresel koşullara bağlı olarak olumlu veya olumsuz olabilir. Yeşil gübreler, özellikle organik madde parçalanması ve besinlerin mineralizasyonu ile ilgili mikroorganizmaların aktivitesini artırabilir, ancak yeşil gübrenin C/N oranına bağlı olarak besinlerin geçici olarak immobilizasyonuna veya kaybına neden olabilir. Yeşil gübreler ayrıca toprak mikroorganizma topluluklarının çeşitliliği ve kompozisyonunu etkileyebilir, ancak bu etki, bolluk ve aktivite üzerindeki etki kadar net ve değişken olup genellikle işlevselliğe ve genel toprak kalitesine olan etkiyle her zaman

tutarlı değildir. Bu nedenle, yeşil gübreler dikkatlice seçilmeli ve toprak ile bitki ihtiyaçlarına uygun olarak uygulanmalıdır; ayrıca, yeşil gübrelerin toprak mikroorganizma toplulukları üzerindeki etkileri izlenmeli ve değerlendirilmelidir.

Tablo 2'de, yeşil gübrelerin toprak mikroorganizma topluluklarının çeşitliliği, kompozisyonu ve fonksiyonelliği üzerine etkileri özetlenmiştir.

Tablo 2. Yeşil Gübrelerin Toprak Mikroorganizma Topluluklarının Çeşitliliği, Kompozisyonu ve Fonksiyonelliği Üzerine Etkileri

Konu	Olumlu Etki	Ölçüt	Kaynak
Toprak mikroorganizmaları	Mikrobiyal çeşitlilik	Çeşitlilik indeksleri	Kumar ve ark., 2020
Yeşil gübrelerin toprak verimliliğine etkisi	Toprak Verimliliği	Biyolojik verim, tane verimi	Zhou ve ark., 2023
Toprak özelliklerinin yeşil gübrelerin etkileri üzerindeki rolü	Toprak Özellikleri	pH, organik madde, tekstür	Xia ve ark., 2020
Yeşil gübrelerin organik madde miktarını artırma etkisi	Organik Madde Miktarı	Organik madde konsantrasyonu	Rençio ve ark., 2020
Yeşil gübrelerin su tutma kapasitesine etkisi	Su Tutma Kapasitesi	Su içeriği, su tutma kapasitesi	Li ve ark., 2022
Yeşil gübrelerin erozyon azaltma potansiyeli	Toprak Erozyonu	Erozyon oranı	Shi ve ark., 2020
Yeşil gübrelerin toprak yapısını iyileştirme etkisi	Toprak Yapısı	Agregat boyutu ve stabilitesi	Fan ve ark., 2010
Yeşil gübrelerin besin sağlama potansiyeli	Besin Sağlama	Makro ve mikro besin içeriği	Rothe ve ark., 2019
Yeşil gübrelerin organik madde miktarını artırma etkisi	Organik Madde Miktarı	Organik madde konsantrasyonu	Lei ve ark., 2022
Yeşil gübrelerin C/N oranının bitki büyümesine etkisi	C/N Oranı	Bitki büyüme oranı, biyokütle	Tao ve ark., 2017
Yeşil gübrelerin mikrobiyal aktiviteye etkisi	Mikrobiyal Aktivite	Mikrobiyal biyokütle, mikrobiyal aktivite	Dincă ve ark., 2022
Organik gübrelemenin bakteriyel ve fungal zenginlik üzerindeki etkisi	Mikrobiyal Çeşitlilik	Çeşitlilik indeksleri	Wang ve ark., 2023
Organik gübrelemenin toprak solunum hızı üzerindeki etkisi	Toprak Solunumu	CO ₂ emisyonu	Luo ve ark., 2015
Organik gübrelemenin toprak mikroorganizmaları üzerindeki etkisi	Mikrobiyal Çeşitlilik	Çeşitlilik indeksleri	Nkongolo & Narendrula-Kotha, 2020
Organik gübrelemenin toprak mikroorganizmalarının moleküler çeşitliliği üzerindeki etkisi	Moleküler Çeşitlilik	DNA dizileme, metagenomik	Dubey ve ark., 2020

Toprak Mikroorganizmaları ve Yeşil Gübrelerin Temel Toprak Özelliklerini Artırması

Toprak özellikleri, toprağın kalitesini ve fonksiyonunu etkileyen fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerdir. Toprağın bu özellikleri, toprak sağlığı ve fonksiyonu, bitki büyüme ve verimliliği için önemlidir, çünkü bunlar toprağın bitki büyüme ve gelişmeyi destekleme kapasitesini, besin ve su sağlama yeteneğini, su ve gaz akışını düzenleme yeteneğini, çevresel streslere karşı tamponlama yeteneğini ve biyolojik aktivite ile çeşitliliği sürdürme yeteneğini belirler (Trivedi ve ark., 2016; Gholamhosseinian ve ark., 2022). Toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübrelerin etkilediği temel toprak özellikleri arasında su tutma, agregasyon, organik madde içeriği, pH seviyeleri, katyon değişim kapasitesi, mikrobiyal biomas ve enzim aktivitesi bulunmaktadır (Jurys ve Feiziené, 2021; Ma ve ark., 2021; Adekiya ve ark., 2022; Pedrinho ve ark., 2024;). Bu bölümde, toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübrelerin bu toprak özelliklerini nasıl düzenleyebileceği ve bu değişimlerin toprak sağlığı, fonksiyonu, bitki büyüme ve verimliliği üzerinde nasıl faydalı olabileceğini anlatacağız.

Su Tutma: Su tutma, toprağın yerçekimi ve buharlaşma karşısında suyu tutma yeteneğidir. Su tutma, toprak tekstürü (Santos ve ark., 2022), yapısı (Rabot ve ark., 2018), gözenekliliği (Liu ve ark., 2020), organik madde içeriğini (Panagea ve ark., 2021) ve biyolojik aktiviteyi (Saffari ve ark., 2019) etkiler. Su tutma, toprak sağlığı ve fonksiyonu ile bitki büyüme ve verimliliği için önemlidir (Siddique ve Helen, 2020), çünkü suyun kullanılabilirliğini ve hareketini (Jong van Lier, 2014), besinlerin çözünürlüğünü ve taşınmasını (Scharwies ve Dinneny), toprak sıcaklığını ve havalandırmayı, toprak erozyonunu ve akışını (Wolka ve ark., 2021) ve bitki su alımını ve transpirasyonu (Lambers ve Oliveira, 2019) etkiler. Toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübreler, toprak yapısını ve gözenekliliğini iyileştirerek, toprak organik madde içeriğini artırarak ve toprak partiküllerini bağlayarak toprak su tutma yeteneğini artırabilir (Singh ve ark., 2022; Farooqi ve ark., 2023). Toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübrelerin su tutma yeteneğini artırması, toprak su durumunu ve dengesini iyileştirebilir, su stresini ve kaybını azaltabilir ve bitkilerin su kullanım verimliliğini ve üretkenliğini artırabilir.

Agregasyon: Agregasyon, çeşitli kuvvetler ve ajanlar tarafından bir arada tutulan toprak partiküllerinin kümeleşme ve stabilitesidir (Papadopoulos, 2014). Agregasyon, toprak tekstürü (Lado ve ark., 2004), yapı (Papadopoulos, 2011), gözeneklilik (Regelink ve ark., 2015), organik madde içeriği (Sarker ve ark., 2022) ve biyolojik aktivite (Neto ve ark., 2021) tarafından etkilenir. Agregasyon, toprak sağlığı ve fonksiyonu ve bitki büyüme ve verimliliği için önemlidir, çünkü toprak havalandırma ve drenajı (Abid ve Lal, 2008), toprak erozyonu ve akışını (Nciizah ve Wakindiki, 2015), toprak sıkışması ve kabuklaşmayı (Materchera ve ark., 2009), toprak besin döngüsü ve kullanılabilirliği (Al-Kasisi ve ark., 2017) ve bitki kök büyümesi ve gelişmesini etkiler (Bissonnais ve ark., 2018). Toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübreler, toprak yapısını ve gözenekliliğini iyileştirerek, toprak organik madde içeriğini artırarak ve toprak agregalarını bağlayan ve stabilize eden ekstraselüler polisakkaritler gibi maddeleri üreterek toprak agregasyonunu artırabilir (Chotte, 2005; Sarker ve ark., 2022). Toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübrelerin agregasyonu artırması, toprak fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirebilir, toprak

bozulmasını ve kaybını azaltabilir ve bitkilerin verimliliğini ve toprak verimliliğini artırabilir.

Organik Madde İçeriği: Organik madde içeriği, topraktaki organik maddenin miktarı ve kalitesidir; bu, yaşayan ve ölmüş bitki ve hayvan kalıntıları, toprak mikroorganizmaları ve toprak humusunu içerir. Organik madde içeriği, toprak sağlığı ve fonksiyonu ve bitki büyüme ve verimliliği için önemlidir, çünkü bu, toprak su tutma ve kullanılabilirliğini (Lal, 2020), toprak agregasyonunu ve stabilitesini (Pérès, 2013), toprak pH'ını (Bashir ve ark., 2021) ve katyon değişim kapasitesini (Solly ve ark., 2020), toprak besin döngüsü ve kullanılabilirliği (Nair ve ark., 2021) ve toprak biyolojik aktivitesini ve çeşitliliğini (Vaughan ve Malcolm, 2012) etkiler. Toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübreler, organik madde ve besin kaynağı sağlayarak, organik madde parçalanması ve mineralizasyonunu uyararak ve toprak humusunun oluşumunu ve stabilizasyonunu artırarak toprak organik madde içeriğini artırabilir (N'Dayegamiye ve Tran, 2001). Toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübrelerin organik madde içeriğini artırması, toprak fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirebilir, toprak karbonunun depolanmasını ve depolanmasını artırabilir ve toprak verimliliğini ve bitki üretkenliğini artırabilir (Rao ve ark., 2019).

pH Seviyeleri: pH seviyeleri, toprağın asitlik veya alkalik ölçüsüdür ve toprak çözeltisindeki hidrojen iyonlarının (H^+) konsantrasyonuna bağlıdır (Msimbira ve Smith, 2020). pH seviyeleri, toprak sağlığı ve fonksiyonu ve bitki büyüme ve verimliliği için önemlidir, çünkü toprak katyon değişim kapasitesini ve besin kullanılabilirliğini (Barrow ve Hartemink, 2023), toprak biyolojik aktivitesini ve çeşitliliğini (Zhalnina ve ark., 2015), toprak metal toksisitesini ve hareketliliğini (Kicińska ve ark., 2022) ve bitki besin alımını ve metabolizmasını (Neina, 2019) etkiler. Toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübreler, toprak pH seviyelerini organik asitler ve alkali maddeler üreterek, hidrojen iyonlarını salarak veya tüketerek, katyon değişim kapasitesini ve besin kullanılabilirliğini değiştirerek ve toprak asiditesini veya alkalitesini tamponlayarak etkileyebilir. Toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübrelerin toprak pH seviyeleri üzerindeki etkileri, yeşil gübrelerin türü, kalitesi ve miktarı, toprak tipi, dokusu ve nem, bitki türü, çeşidi ve rotasyon, iklim ve hava koşulları ve yönetim uygulamaları ve girdilerine bağlı olarak olumlu veya olumsuz olabilir. Genel olarak, toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübreler, toprak sağlığı ve fonksiyonu ve bitki büyüme ve verimliliği için uygun bir pH aralığını koruyarak toprak pH seviyelerini optimize edebilir.

Katyon Değişim Kapasitesi: Katyon değişim kapasitesi, toprağın pozitif yüklü iyonları (katyonlar) tutma ve değiştirme yeteneğidir, bunlar kalsiyum (Ca^{2+}), magnezyum (Mg^{2+}), potasyum (K^+), sodyum (Na^+), amonyum (NH_4^+), hidrojen (H^+), ve alüminyum (Al^{3+}) içerir. Katyon değişim kapasitesi, toprak sağlığı ve fonksiyonu ve bitki büyüme ve verimliliği için önemlidir, çünkü toprak besinlerinin tutulmasını ve kullanılabilirliğini (Bashir ve ark., 2021), toprak pH'ını ve asiditesini (Finzgar ve ark., 2007) ve bitki besin alımını ve metabolizmasını (Rufyikiri ve ark., 2002) etkiler. Toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübreler, toprak organik madde içeriğini artırarak katyon adsorpsiyonu ve değişimi için negatif yüklü siteler sağlayarak, organik asitler ve alkali maddeler üreterek, katyonları salarak veya tüketerek, toprak pH seviyelerini ve asiditesini değiştirerek ve toprak biyolojik

aktivitesini ve çeşitliliğini artırarak toprak katyon değişim kapasitesini artırabilir. Katyon değişim kapasitesinin artırılması, toprak besin durumunu ve dengesini iyileştirebilir, toprak metal toksisitesini ve sızmasını azaltabilir ve toprak verimliliğini ve bitki üretkenliğini artırabilir.

Mikrobiyal Biyokütle: Mikrobiyal biyokütle, bakteriler, fungi, archaea, protozoa, nematodlar ve diğerleri gibi yaşayan toprak mikroorganizmalarının miktarı ve kalitesidir (Sunish ve Thazeem, 2023). Mikrobiyal biyokütle, toprak sağlığı ve fonksiyonu ve bitki büyüme ve verimliliği için önemlidir, çünkü bu, toprak biyolojik aktivitesini ve çeşitliliğini yansıtarak ve bunların toprak süreçlerindeki rollerini ve etkileşimlerini, organik madde ve besinlerin parçalanması, mineralizasyon ve immobilizasyonu (Horwath, 2017), atmosferik azotun bağlanması (Scheibe ve Spohn, 2022), fosforun çözünürlüğü (Chai ve ark., 2021), bitki büyümeyi teşvik eden maddelerin üretimi (Simranjit ve ark., 2019), sistemik direncin indüksiyonu (Meena ve ark., 2020) ve toprakta taşınan patojenlerin (Liu ve ark., 2021) ve zararlıların (Zytnyska ve ark., 2020) bastırılmasında rol alır. Toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübreler, organik madde ve besin kaynağı sağlayarak, toprak mikroorganizmalarının büyümesini ve aktivitesini uyararak ve toprak yapısını ve gözenekliliğini iyileştirerek toprak mikrobiyal biyokütlesini artırabilir. Mikrobiyal biyokütlenin artırılması, toprak biyolojik özellikleri iyileştirebilir, toprak karbon ve azotunun tutulmasını ve depolanmasını artırabilir ve toprak verimliliğini ve bitki üretkenliğini artırabilir.

Enzim Aktivitesi: Enzim aktivitesi, enzimler tarafından katalizlenen biyokimyasal reaksiyonların hızı ve derecesinin ölçüsüdür; bunlar toprak mikroorganizmaları, bitkiler ve hayvanlar tarafından üretilen proteinlerdir (Tandon ve ark., 2021). Enzim aktivitesi, toprak sağlığı ve fonksiyonu ve bitki büyüme ve verimliliği için önemlidir, çünkü bu, toprak biyolojik aktivitesini ve çeşitliliğini yansıtarak ve bunların toprak süreçlerindeki rollerini ve etkileşimlerini, organik madde ve besinlerin parçalanması, mineralizasyon ve immobilizasyonu (Błońska ve ark., 2021), atmosferik azotun bağlanması (Child, 2021), fosforun çözünürlüğü (Tian ve ark., 2021), bitki büyümeyi teşvik eden maddelerin üretimi (Vocciante ve ark., 2022), sistemik direncin indüksiyonu (Khalifa ve ark., 2016) ve toprakta taşınan patojenlerin (Mahapatra, 2021) ve zararlıların (Zhu ve ark., 2018) bastırılmasında rol alır. Toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübreler, organik madde ve besin kaynağı sağlayarak, toprak mikroorganizmalarının büyümesini ve aktivitesini uyararak ve toprak yapısını ve gözenekliliğini iyileştirerek toprak enzim aktivitesini artırabilir. Enzim aktivitesinin artırılması, toprak biyolojik özellikleri iyileştirebilir, toprak besin döngüsünü ve kullanılabilirliğini artırabilir ve toprak verimliliğini ve bitki üretkenliğini artırabilir.

Tablo 3'te, toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübrelerin temel toprak özelliklerini nasıl artırdığını özetlemektedir.

Tablo 3. Toprak Mikroorganizmaları ve Yeşil Gübrelerin Temel Toprak Özelliklerini Artırması

Konu	Etki	Ölçüt	Kaynak
Su Tutma	Toprak su tutma kapasitesini artırma	Toprak tekstürü, yapı, organik madde içeriği, biyolojik aktivite	Santos ve ark., 2022; Rabot ve ark., 2018; Liu ve ark., 2020; Panagea ve ark., 2021; Saffari ve ark., 2019
Agregasyon	Toprak agregasyonunu artırma	Toprak tekstürü, yapı, gözeneklilik, organik madde içeriği, biyolojik aktivite	Lado ve ark., 2004; Papadopoulos, 2011; Regelink ve ark., 2015; Sarker ve ark., 2022; Neto ve ark., 2021
Organik Madde İçeriği	Toprak organik madde içeriğini artırma	Topraktaki organik madde miktarı ve kalitesi	N'Dayegamiye ve Tran, 2001
pH Seviyeleri	Toprak pH seviyelerini düzenleme	Toprak çözeltisindeki H ⁺ iyonlarının konsantrasyonu	Msimbira & Smith, 2020
Kasyon Değişim Kapasitesi	Toprak kation değişim kapasitesini artırma	Toprağın kanyonları tutma ve değiştirme yeteneği	Bashir ve ark., 2021
Mikrobiyal Biyokütle	Toprak mikrobiyal biyokütle miktarını artırma	Toprakta bulunan yaşayan mikroorganizmaların miktarı ve kalitesi	Sunish ve Thazeem, 2023
Enzim Aktivitesi	Toprak enzim aktivitesini artırma	Biyokimyasal reaksiyonların hızı ve derecesi	Tandon ve ark., 2021

Toprak Mikroorganizmaları ve Yeşil Gübrelerin Bitki Biyokütlesi, Verim, Kalite, Zararlılar ve Hastalıklar Üzerindeki Etkileri

Toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübreler, bitki biyokütlesi, verim, kalite, zararlılara ve hastalıklara karşı direnci olumlu bir şekilde etkilerler. Bu etkiler, besin döngüsünü ve kullanılabilirliğini geliştirerek ve bitki büyüme ve savunma tepkilerini kontrol ederek gerçekleşir. Bu bölümde, toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübrelerin bu yönleri nasıl etkileyebileceğini ve bu etkilerin tarımsal üretim ve sürdürülebilirlik açısından nasıl faydalı olabileceği incelenecektir.

Besin döngüsü ve kullanılabilirlik, besin maddelerinin organik madde, mineraller, su ve mikroorganizmalar gibi farklı toprak bileşenleri arasında dönüştürülmesi, transfer edilmesi ve değiştirilmesi süreçleridir (Marschner ve Rengel, 2023). Besin döngüsü ve kullanılabilirlik, bitki büyümesi ve verimliliği için önemlidir, çünkü bunlar besin arzını ve talebini, besin emilimini ve asimilasyonunu ve besin dengesini ve verimliliğini belirler (Fontaine ve ark., 2024). Toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübreler, besin döngüsünü ve kullanılabilirliğini artırmada önemli roller oynarlar (Zhang ve ark., 2023; de Oliveira ve ark., 2023). Bu, organik madde ve besin maddelerini parçalayarak ve mineralize ederek, atmosferik azotu sabitleyerek, fosforu çözümlenerek ve sideroforlar ile organik asitler üreterek başarılı (Silva ve ark., 2023; Timofeeva ve ark., 2023). Ayrıca, toprak pH'sını ve kanyon değişim kapasitesini değiştirerek, besin maddelerinin çözünürlüğünü ve tutulumunu etkilerler (Omara ve ark., 2023; Husson, 2023). Dahası, besin taşıma ve hareketini

etkileyerek toprak su tutma ve kullanılabilirliğini artırır (Philippot ve ark., 2023; Farooqi ve ark., 2023). Toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübreler tarafından besin döngüsünün ve kullanılabilirliğinin artırılması birçok olumlu etkiye sahiptir. Bitki biyokütlesi, verim ve kaliteyi artırabilir; bu da bitkilerin besin durumunu ve dengesini yükselterek sentetik gübrelere olan bağımlılığı azaltabilir. Bu da besin kayıplarını ve sızıntıları azaltmaya yardımcı olur ve bitki büyümesini ve genel üretkenliği artırır.

Bitki direnci, bitkilerin mantarlar, bakteriler, virüsler, nematodlar, böcekler ve yabancı otlar gibi biyotik ajanlar tarafından neden olan zararı veya enfeksiyonu önleme veya azaltma yeteneğidir (Siah ve ark., 2018). Bitki direnci, bitki genotipi, fenotipi ve fizyolojisi, zararlı ve patojen türü, virülansı ve popülasyonu, ekosistem ve iklim koşulları ve yönetim uygulamaları gibi çeşitli faktörlerden etkilenir. Bitki direnci, bitki sağlığını ve dayanıklılığını etkileyen önemli bir faktördür (Mundt, 2014). Toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübreler, bitki direncini artırabilir. Bu, antibiyotikler, litik enzimler ve uçucu organik bileşikler gibi antagonistik maddeler üreterek, zararlılar ve patojenlerle rekabet ederek veya parazitleşerek, sistemik dirençleri uyandırarak ve bitki bağışıklık sistemini modüle ederek gerçekleşir (Megali ve ark., 2014; Singh, 2014). Toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübreler tarafından bitki direncinin artırılması, bitki hasarını ve enfeksiyonu azaltarak, bitki sağlığını ve dayanıklılığını artırarak, pestisit ve fungusit kullanımını azaltarak tarımsal üretimi ve sürdürülebilirliği geliştirebilir.

Sonuç olarak, toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübreler, bitki sağlığı, verimlilik ve kalite üzerinde olumlu etkiler yapabilir. Besin döngüsü ve kullanılabilirliği üzerindeki olumlu etkileri, sentetik gübre kullanımını azaltarak ve çevresel etkileri minimize ederek tarımsal sürdürülebilirliği artırabilir. Ayrıca, bitki biyomassı, verim ve kaliteyi artırarak, tarımsal üretkenliği güçlendirebilirler. Pestisit ve fungusit kullanımının azaltılmasıyla birlikte, bitki direncini artırarak, zararlılara ve hastalıklara karşı bitki savunmasını güçlendirebilirler. Bu nedenle, toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübrelerin entegrasyonu, tarımsal üretimde daha sürdürülebilir ve verimli bir yaklaşım sunabilir.

Toprak Mikroorganizmaları ve Yeşil Gübrelerin Sera Gazı Emisyonlarını Azaltması

Sera gazı emisyonları, atmosferde sıcaklığı tutan ve böylece dünyanın ısınmasına ve iklimin değişmesine sebep olan gazların yayılmasıdır. Bu gazlar arasında karbon dioksit (CO₂), metan (CH₄) ve azot oksit (N₂O) bulunmaktadır (Mohajan, 2017). Sera gazı emisyonları, arazi kullanımı ve örtüsü (Houghton ve ark., 2012), toprak tipi, tekstürü (Ball, 2013) ve nem (Liu ve ark., 2022), tarım ürünü türü, çeşidi ve rotasyon (Virk ve ark., 2022), iklim ve hava koşulları (Acosta Navarro ve ark., 2017), ve yönetim uygulamaları ve girdileri (Shang ve ark., 2021) gibi çeşitli faktörlerden etkilenir. Sera gazı emisyonları, tarımsal üretim ve sürdürülebilirlik açısından önemlidir, çünkü toprak karbonu ve azot döngüsünü ve kullanılabilirliğini, toprak sıcaklığını ve nemini, toprak biyolojik aktivitesini ve çeşitliliğini ve bitki büyüme ve verimliliği etkiler (Bennetzen ve ark., 2016). Toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübreler, tarımla ilişkilendirilen sera gazı emisyonlarını azaltabilir. Bunun nedeni, bu unsurların toprakta karbonu tutarak ve fosil yakıt kullanımını

azaltarak, tarımsal süreçlerdeki karbon döngüsünü dengelemeleridir (Thangarajan ve ark., 2013; Muhammad ve ark., 2022). Bu bölümde, toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübrelere bu yönleri nasıl etkileyebileceğini ve bu etkilerin tarımsal üretim ve sürdürülebilirlik açısından nasıl faydalı olabileceği değerlendirilecektir. Karbon tutma, karbonun toprakta yakalanıp depolanma sürecidir ve bu, atmosferdeki karbon dioksit miktarını azaltabilir, küresel ısınmayı ve iklim değişikliğini hafifletebilir (Rodrigues ve ark., 2023; Srivastava ve ark., 2012). Karbon tutma, toprak tipi, bünyesi ve nem (Gonçalves ve ark., 2017), tarım ürünü türü, çeşidi ve rotasyon (Shrestha ve ark., 2013), iklim ve hava koşulları (Sun ve ark., 2020), ve yönetim uygulamaları ve girdileri (Mandal ve ark., 2022) gibi faktörlerden etkilenir. Karbon tutma, tarımsal üretim ve sürdürülebilirlik açısından önemlidir, çünkü toprak organik madde içeriği ve kalitesini (Navarro-Pedreño ve ark., 2021), toprak besin döngüsünü ve kullanılabilirliğini (Horwath ve ark., 2016), toprak biyolojik aktivitesini ve çeşitliliğini (Bhattacharyya ve ark., 2022), ve bitki büyüme ve verimliliği etkiler (Lin ve ark., 2015). Toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübreler, topraktaki karbon tutma kapasitesini artırabilir, organik madde ve besin maddeleri sağlayarak (Bhattacharyya ve ark., 2022; Sharma ve ark., 2017), organik madde parçalanması ve mineralizasyonunu uyararak (Raza ve ark., 2023), toprak humusu oluşturmayı ve sabitlemeyi artırabilir (Rao ve ark., 2019). Toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübrelere karbon tutma kapasitesini artırması, toprak fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri iyileştirebilir, bitkilerin toprak verimliliğini ve üretkenliğini artırabilir ve tarımla ilişkilendirilen sera gazı emisyonlarını azaltabilir. Fosil yakıt kullanımı, kömür, petrol ve doğalgaz gibi yenilenebilir olmayan enerji kaynaklarının tüketilmesidir ve yakıldığında sera gazları üreten bir süreçtir (Wang and Azam, 2024). Fosil yakıt kullanımı, enerji talep ve arzı, enerji verimliliği ve korunumu, enerji fiyatları ve politikaları ve enerji alternatifleri ve yenilikler gibi çeşitli faktörlerden etkilenir (Abbasi ve ark., 2022). Fosil yakıtlar, modern tarımın çeşitli yönlerine derinlemesine nüfuz eder, özellikle doğal gazdan elde edilen sentetik gübrelere enerji yoğun üretimi ve bunların yanı sıra traktörler ve hasat makineleri gibi tarım makinelerinin işletimi için fosil yakıtlara ağırlık verilmesiyle hem hava kirliliğine hem de sera gazı emisyonlarına katkıda bulunur (Gorjian ve ark., 2021). Ayrıca, sulama için su pompalanması genellikle fosil yakıtlardan üretilen elektriğe dayanır, bu da endüstrinin çevresel etkisini artırır (Terang and Baruah, 2023). Bu yöntemler, modern tarım için kaçınılmaz gibi görünse de, toprak bozulması, sera gazı emisyonları ve hava ve su kirliliği gibi çevresel sorunlara katkıda bulunur. Fosil yakıtla dayalı yoğun uygulamalar, toprak erozyonuna, sıkışmaya ve organik madde kaybına yol açabilir, toprak sağlığını ve verimliliğini tehlikeye atabilir (Hossain ve ark., 2020). Tarım, küresel sera gazı emisyonlarına önemli bir katkıda bulunur, fosil yakıt kullanımı önemli bir rol oynar (Verma ve ark., 2023). Makinelerden ve gübre üretiminden kaynaklanan emisyonlar, hava ve su kirliliğine katkıda bulunarak insan sağlığına ve ekosistemlere etki eder (Ge ve ark., 2021). Neyse ki, toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübreler gibi sürdürülebilir alternatifler mevcuttur (Panday ve ark., 2024). Bu alternatifler, toprak sağlığını ve verimliliğini artırabilir, sera gazı emisyonlarını azaltabilir ve biyoçeşitliliği ve ekosistem sağlığını destekleyerek daha sürdürülebilir ve çevre dostu bir geleceğe giden bir yol sunabilir (Thangarajan ve ark., 2013; Lévesque ve ark., 2020; Muhammad ve ark., 2022).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübreler, sürdürülebilir tarımın önemli unsurlarıdır. Çünkü toprak sağlığını ve işlevselliğini artırabilir ve bitki büyümesini ile verimliliğini geliştirebilirler. Bu, besin döngüsü ve uygunluğu, bitki biomassı, verim, kalite, zararlılara ve hastalıklara karşı direnç ve sera gazı azaltımını iyileştirerek gerçekleşir. Ancak, toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübrelerin etkileşimleri ve etkileri farklı bölgelerde ve tarım sistemlerinde düzenli ve tutarlı değildir. Yeşil gübrelerin türü, kalitesi, miktarı, toprak mikroorganizma topluluklarının çeşitliliği, bileşimi ve işlevselliği, toprak tipi, bünyesi, nem, bitki türü, çeşidi, rotasyon, iklim ve hava koşulları, yönetim uygulamaları ve girdiler gibi çeşitli faktörlerden etkilenir. Bu nedenle, ilişkili olan zorlukları ve belirsizlikleri dikkatlice değerlendirmek ve her bölge ile tarım sisteminin belirli koşullarına ve hedeflerine göre toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübrelerin etkileşimlerini ve etkilerini optimize etmek önemlidir. Bu makale, toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübrelerin tarımsal üretim bağlamındaki etkileşimlerini ve etkilerini mevcut literatürü inceleyerek ve gelecekteki araştırma yönleri için öneriler sunarak analiz etmiştir. Makale, toprak mikroorganizmalarının organik madde ve besinlerin topraktaki çözülmesi, mineralleşmesi ve bağlanması üzerindeki etkilerini, yeşil gübrelerin toprak mikroorganizma topluluklarının çeşitliliği, bileşimi ve işlevselliği üzerindeki etkilerini, toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübrelerin su tutma, agregasyon, organik madde içeriği, pH düzeyleri, katyon değişim kapasitesi, mikrobiyal biom ve enzim aktivitesi gibi temel toprak özelliklerini nasıl artırdığını, toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübrelerin bitki biomassı, verim, kalite ve zararlılara karşı direnç üzerindeki olumlu etkilerini ve sera gazı emisyonlarını azaltma yeteneklerini tartışmıştır.

Bu bölümdeki tartışmalar ışığında, gelecekteki araştırma konularıyla ilgili şu önerileri yapılabilir:

1. Farklı bölgelerde ve tarım sistemlerinde toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübrelerin etkileşimlerini ve etkilerini değerlendirmek üzere daha fazla saha deneyi ve uzun vadeli çalışmalar gerçekleştirmek, sonuçları laboratuvar ve sera deneyleriyle karşılaştırmak.
2. Yeşil gübre kaynaklarının miktarı ve kalitesi, toprak mikroorganizma topluluklarının çeşitliliği ve bileşimi, toprak fiziko-kimyasal ve biyolojik özellikleri, bitki biomassı, verim, kalite, zararlılara ve hastalıklara karşı direnç ve tarım ile ilişkilendirilen sera gazı emisyonlarını değerlendirmek için daha gelişmiş ve entegre yöntemler ve araçlar geliştirmek ve uygulamak önemlidir. Bunlar arasında uzaktan algılama, CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri), toprak ve bitki testleri, moleküler ve biyokimyasal teknikler, istatistiksel ve matematiksel modeller, ve BİT (Bilgi Teknolojileri) gibi araçlar bulunmaktadır.
3. Çiftçilerden tüketicilere, araştırmacılardan uzmanlara, politika yapıcılardan genel halka kadar ilgili taraflar arasında daha fazla katılımı ve disiplinler arası araştırmayı teşvik etmek ve desteklemek için, toplumda bilinç oluşturmak, bilgi ve farkındalığı artırmak amacıyla daha fazla katılımcı ve disiplinler arası araştırma yürütülmelidir.
4. Yeşil gübrelerin gelişimini ve benimsenmesini kolaylaştırmak ve teşvik etmek için uygun ve destekleyici politika ve düzenlemeler geliştirmek önemlidir. Bu kapsamda mevcut politika ve düzenlemelerin gözden geçirilmesi ve revize

edilmesi, yeni politika ve düzenlemelerin geliştirilmesi ve uygulanması gerekmektedir. Ayrıca, politika ve düzenlemelerin etkinliği ve verimliliği düzenli olarak izlenmeli ve değerlendirilmelidir.

Sonuç olarak, toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübreler, sürdürülebilir tarım ve gıda güvenliği için önemli fırsatlar sunarken, bunların çeşitli bölgelerde ve tarım sistemlerinde optimize edilmesi ve entegrasyonu için önemli zorluklar da içermektedir. Bu nedenle, veri ve bilgi erişilebilirliğini ve kalitesini artırmak, ilgili paydaşlar arasındaki bilgi farkındalığı artırmak ve toprak mikroorganizmaları ile yeşil gübreler için politika ve düzenlemeleri iyileştirmek, bu etkileşimlerin ve etkilerin artırılmasına katkıda bulunabilir ve nihayetinde tarımsal üretim ve sürdürülebilirlik için faydalı olabilir.

REFERENCES

- Abbasi, K. R., Shahbaz, M., Zhang, J., Irfan, M., Alvarado, R., 2022. Analyze the environmental sustainability factors of China: The role of fossil fuel energy and renewable energy. *Renewable Energy*, 187, 390-402. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.01.066>
- Abid, M., Lal, R., 2008. Tillage and drainage impact on soil quality: I. Aggregate stability, carbon and nitrogen pools. *Soil and Tillage research*, 100(1-2), 89-98. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.04.012>
- Acosta Navarro, J. C., Ekman, A. M., Pausata, F. S., Lewinschal, A., Varma, V., Seland, Ø., Hansson, H. C. (2017). Future response of temperature and precipitation to reduced aerosol emissions as compared with increased greenhouse gas concentrations. *Journal of Climate*, 30(3), 939-954.
- Adekiya, A. O., Agbede, T. M., Aboyeji, C. M., Olaniran, A. F., Aremu, C., Ejue, W. S., Iranloye, Y. M., Adegbite, K., 2022. Poultry and green manures effects on soil properties, and sorghum performance, and quality. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 53(4), 463-477. <https://doi.org/10.1080/00103624.2021.2017450>
- Asgar, W., Kataoka, R., 2022. Green manure incorporation accelerates enzyme activity, plant growth, and changes in the fungal community of soil. *Arch Microbiol* 204, 7. <https://doi.org/10.1007/s00203-021-02614-x>
- Ball, B. C., 2013. Soil structure and greenhouse gas emissions: a synthesis of 20 years of experimentation. *European Journal of Soil Science*, 64(3), 357-373. <https://doi.org/10.1111/ejss.12013>
- Barrow, N. J., Hartemink, A. E., 2023. The effects of pH on nutrient availability depend on both soils and plants. *Plant and Soil*, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s11104-023-05960-5>
- Bashir, O., Ali, T., Baba, Z. A., Rather, G. H., Bangroo, S. A., Mukhtar, S. D., Naik, N., Mohiuddin, R., Bharati, V., Bhat, R. A., 2021. Soil Organic Matter and Its Impact on Soil Properties and Nutrient Status, in: Dar, G.H., Bhat, R.A., Mehmood, M.A., Hakeem, K.R. (Eds.), *Microbiota and Biofertilizers*, Vol 2. Springer, Cham, Switzerland, pp. 129-159. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61010-4_7

- Bashri, G., Patel, A., Singh, R., Parihar, P., Prasad, S. M., 2017. Mineral solubilization by microorganism: mitigating strategy in mineral deficient soil. *Microbial Biotechnology: Volume 1. Applications in Agriculture and Environment*, 265-285. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6847-8_12
- Bennetzen, E. H., Smith, P., Porter, J. R., 2016. Agricultural production and greenhouse gas emissions from world regions—The major trends over 40 years. *Global Environmental Change*, 37, 43-55. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.12.004>
- Bergstrand, K. J., 2022. Organic fertilizers in greenhouse production systems—a review. *Scientia Horticulturae*, 295, 110855. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110855>
- Beule, L., Vaupel, A., Moran-Rodas, V. E., 2022. Abundance, diversity, and function of soil microorganisms in temperate alley-cropping agroforestry systems: A review. *Microorganisms*, 10(3), 616. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10030616>
- Bhattacharyya, S. S., Ros, G. H., Furtak, K., Iqbal, H. M., Parra-Saldívar, R., 2022. Soil carbon sequestration—An interplay between soil microbial community and soil organic matter dynamics. *Science of The Total Environment*, 815, 152928. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.152928>
- Bissonnais, Y., Prieto, I., Roumet, C., Nespoulous, J., Metayer, J., Huon, S., ... Stokes, A., 2018. Soil aggregate stability in Mediterranean and tropical agro-ecosystems: effect of plant roots and soil characteristics. *Plant and Soil*, 424, 303-317. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3423-6>
- Błońska, E., Piaszczyk, W., Staszal, K., Lasota, J., 2021. Enzymatic activity of soils and soil organic matter stabilization as an effect of components released from the decomposition of litter. *Applied Soil Ecology*, 157, 103723. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103723>
- Cao, Y., He, Z., Zhu, T., Zhao, F., 2021. Organic-C quality as a key driver of microbial nitrogen immobilization in soil: A meta-analysis. *Geoderma*, 383, 114784. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114784>
- Carvalho, N. S., Oliveira, A. N. B. B., Calaã, M. M., Neto, V. P. C., de Sousa, R. S., dos Santos, V. M., de Araujo, A. S. F., 2015. Short-term effect of different green manure on soil chemical and biological properties. *African Journal of Agricultural Research*, 10(43), 4076-4081. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.9885>
- Chai, B., Wang, S., Li, S., Lei, X., Li, M., 2021. Roles of bacterial biomass, physiology and community in sediment phosphorus solubilizing at varying hydrostatic pressures. *Journal of Cleaner Production*, 282, 124531. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124531>
- Chaparro, J.M., Sheflin, A.M., Manter, D.K., Vivanco, J.M., 2012. Manipulating the soil microbiome to increase soil health and plant fertility. *Biology and Fertility of Soils*, 48(5), 489-499. <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0691-4>

- Chen, X., Henriksen, T. M., Svensson, K., Korsaeht, A., 2020. Long-term effects of agricultural production systems on structure and function of the soil microbial community. *Applied Soil Ecology*, 147, 103387. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103387>
- Child, J. J., 2021. Biological nitrogen fixation, in: Paul, E. A., Ladd, J. N. (Eds.), *Soil biochemistry*, CRC Press, Boca Raton, pp. 297-322. <https://doi.org/10.1201/9781003064763>
- Chotte, J.L., 2005. Importance of Microorganisms for Soil Aggregation. In: Varma, A., Buscot, F. (eds) *Microorganisms in Soils: Roles in Genesis and Functions*. *Soil Biology*, vol 3. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-26609-7_5
- Condron, L., Stark, C., O'Callaghan, M., Clinton, P., Huang, Z., 2010. The Role of Microbial Communities in the Formation and Decomposition of Soil Organic Matter, in: Dixon, G., Tilston, E. (Eds.), *Soil Microbiology and Sustainable Crop Production*, Springer, Dordrecht, pp. 81-118. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9479-7_4
- Das, K., Biswakarma, N., Zhiipao, R., Kumar, A., Ghasal, P.C., Pooniya, V., 2020. Significance and Management of Green Manures, in: Giri, B., Varma, A. (Eds.), *Soil Health Soil Biology*, vol 59. Springer, Cham., Switzerland, pp. 197-217. https://doi.org/10.1007/978-3-030-44364-1_12
- de Oliveira, M. W., Verma, K. K., Bhatt, R., Oliveira, T. B. A., 2023. Impact of green and organic fertilizers on soil fertility and sugarcane productivity, in: Verma, K. K., Song, X. P., Rajput, V. D., Solomon, S., Li, Y. R., Rao, G. P. (Eds.), *Agro-industrial perspectives on sugarcane production under environmental stress*, Springer Nature, Singapore, pp. 193-213. https://doi.org/10.1007/978-981-19-3955-6_11
- De Vries, F. T., Shade, A., 2013. Controls on soil microbial community stability under climate change. *Frontiers in microbiology*, 4, 265. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2013.00265>
- Deng, J., Zhou, W., Dai, L., Yuan, Q., Zhou, L., Qi, L., Yu, D., 2023. The effects of shrub removal on soil microbial communities in primary forest, secondary forest and plantation forest on Changbai Mountain. *Microbial ecology*, 85(2), 642-658. <https://doi.org/10.1007/s00248-021-01943-0>
- Dincă, L. C., Grenni, P., Onet, C., Onet, A., 2022. Fertilization and soil microbial community: a review. *Applied Sciences*, 12(3), 1198. <https://doi.org/10.3390/app12031198>
- Ding, T., Yan, Z., Zhang, W., Duan, T., 2021. Green manure crops affected soil chemical properties and fungal diversity and community of apple orchard in the Loess Plateau of China. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21, 1089-1102. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00424-0>
- Dubey, R. K., Tripathi, V., Prabha, R., Chaurasia, R., Singh, D. P., Rao, C. S., El-Keblawy, A., Abhilash, P. C., 2020. Methods for exploring soil microbial

- diversity. Unravelling the soil microbiome: Perspectives for environmental sustainability, 23-32. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-15516-2_3
- Ekka, P., Patra, S., Upreti, M., Kumar, G., Kumar, A., Saikia, P., 2023. Land Degradation and Its Impacts on Biodiversity and Ecosystem Services. Land and Environmental Management through Forestry, 77-101. <https://doi.org/10.1002/9781119910527.ch4>
- Elfstrand, S., Hedlund, K., Mårtensson, A., 2007. Soil enzyme activities, microbial community composition and function after 47 years of continuous green manuring. Applied Soil Ecology, 35(3), 610-621. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2006.09.011>
- Fan, M., Christie, P., Zhang, W., Zhang, F., 2010. Crop productivity, fertilizer use, and soil quality, in China, in: Rattan Lal, B.A. Stewart, (Eds.), Food Security and Soil Quality, CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp. 87-107. <https://doi.org/10.1201/EBK1439800577>
- Fang, H., Liu, K., Li, D., Peng, X., Zhang, W., Zhou, H., 2021. Long-term effects of inorganic fertilizers and organic manures on the structure of a paddy soil. Soil and Tillage Research, 213, 105137. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105137>
- Farooqi, Z. U. R., Qadir, A. A., Alserae, H., Raza, A., Mohy-Ud-Din, W., 2023. Organic amendment-mediated reclamation and build-up of soil microbial diversity in salt-affected soils: fostering soil biota for shaping rhizosphere to enhance soil health and crop productivity. Environmental Science and Pollution Research, 30(51), 109889-109920. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30143-1>
- Findlay, S. E., 2021. Organic matter decomposition. In Fundamentals of ecosystem science (pp. 81-102). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812762-9.00004-6>
- Finzgar, N., Tlustos, P., Lestan, D., 2007. Relationship of soil properties to fractionation, bioavailability and mobility of lead and zinc in soil. Plant soil and environment, 53(5), 225. <https://doi.org/10.17221/2201-PSE>
- Fontaine, J., Duclercq, J., Facon, N., Dewaele, D., Laruelle, F., Tisserant, B., Lounès-Hadj Saharaoui, A., 2022. Coriander (*Coriandrum sativum* L.) in Combination with Organic Amendments and Arbuscular Mycorrhizal Inoculation: An Efficient Option for the Phytomanagement of Trace Elements-Polluted Soils. Microorganisms, 10(11), 2287. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10112287>
- Fontaine, S., Abbadie, L., Aubert, M., Barot, S., Bloor, J. M., Derrien, D., ... Alvarez, G., 2024. Plant-soil synchrony in nutrient cycles: Learning from ecosystems to design sustainable agrosystems. Global Change Biology, 30(1), e17034. <https://doi.org/10.1111/gcb.17034>
- Ge, P., Chen, M., Cui, Y., Nie, D., 2021. The research progress of the influence of agricultural activities on atmospheric environment in recent ten years: A review. Atmosphere, 12(5), 635. <https://doi.org/10.3390/atmos12050635>
- Gholamhosseinian, A., Bashtian, M. H., Sepehr, A., 2022. Soil Quality: Concepts, Importance, Indicators, and Measurement. In A. Sepehr, M.H. Bashtian, A.

- Gholamhosseinian (Eds.), *Soils in Urban Ecosystem* (pp. 147-172). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8914-7_8
- Gonçalves, D. R. P., de Moraes Sá, J. C., Mishra, U., Cerri, C. E. P., Ferreira, L. A., Furlan, F. J. F., 2017. Soil type and texture impacts on soil organic carbon storage in a subtropical agro-ecosystem. *Geoderma*, 286, 88-97. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.10.021>
- Gorjian, S., Ebadi, H., Trommsdorff, M., Sharon, H., Demant, M., Schindele, S., 2021. The advent of modern solar-powered electric agricultural machinery: A solution for sustainable farm operations. *Journal of cleaner production*, 292, 126030. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126030>
- Grzyb, A., Wolna-Maruwka, A., Niewiadomska, A., 2020. Environmental factors affecting the mineralization of crop residues. *Agronomy*, 10(12), 1951. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121951>
- Hababi, A., Javanmard, A., Mosavi, S. B., Rezaei, M., Sabaghnia, N., 2013. Effect of green manure on some soil physicochemical characteristics. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4(11), 3089-3095.
- Hakim, S., Naqqash, T., Nawaz, M. S., Laraib, I., Siddique, M. J., Zia, R., ... Imran, A., 2021. Rhizosphere engineering with plant growth-promoting microorganisms for agriculture and ecological sustainability. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 617157. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.617157>
- Hazra, G., 2016. Different types of eco-friendly fertilizers: An overview. *Sustainability in Environment*, 1(1), 54.
- He, M., Xiong, X., Wang, L., Hou, D., Bolan, N. S., Ok, Y. S., Rinklebe, J., Tsang, D. C., 2021. A critical review on performance indicators for evaluating soil biota and soil health of biochar-amended soils. *Journal of hazardous materials*, 414, 125378. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125378>
- Hernández-Rosas, F., Figueroa-Rodríguez, K. A., García-Pacheco, L. A., Velasco-Velasco, J., Sangerman-Jarquín, D. M., 2020. Microorganisms and biological pest control: An analysis based on a bibliometric review. *Agronomy*, 10(11), 1808. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111808>
- Horwath, W. R., 2017. The role of the soil microbial biomass in cycling nutrients. *Microbial Biomass: A Paradigm Shift in Terrestrial Biogeochemistry*, 41-66. https://doi.org/10.1142/9781786341310_0002
- Horwath, W. R., Devêvre, O. C., Doane, T. A., Kramer, A. W., Van Kessel, C., 2016. Soil C sequestration management effects on N cycling and availability, in: Kimble, J. M., Lal, R., Follett, R. F. (Eds.), *Agricultural practices and policies for carbon sequestration in soil*, CRC Press, Boca Raton, pp. 179-188. <https://doi.org/10.1201/9781420032291>
- Hossain, A., Krupnik, T. J., Timsina, J., Mahboob, M. G., Chaki, A. K., Farooq, M., Hasanuzzaman, M., 2020. Agricultural land degradation: processes and problems undermining future food security. In *Environment, climate, plant and vegetation*

- growth (pp. 17-61). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49732-3_2
- Houghton, R. A., House, J. I., Pongratz, J., Van Der Werf, G. R., Defries, R. S., Hansen, M. C., Le Quéré, C., Ramankutty, N., 2012. Carbon emissions from land use and land-cover change. *Biogeosciences*, 9(12), 5125-5142. <https://doi.org/10.5194/bg-9-5125-2012>
- Husson, O., 2023. How pH and Eh influence soil nutrient dynamics with microbial mediation, in: Uphoff, N., Thies, J. (Eds.), *Biological Approaches to Regenerative Soil Systems*, CRC Press, Boca Raton, pp. 221-238. <https://doi.org/10.1201/9781003093718>
- Iderawumi, A. M., Kamal, T. O., 2022. Green manure for agricultural sustainability and improvement of soil fertility. *Farming and Management*, 7(1), 1-8. <http://dx.doi.org/10.31830/2456-8724.2022.FM-101>
- Idham, I., Pagiu, S., Lasmini, S. A., Nasir, B. H., 2021. Effect of doses of green manure from different sources on growth and yield of maize in dryland. *International Journal of Design Nature and Ecodynamics*, 16(1), 61-67. <https://doi.org/10.18280/ijdne.160108>
- Irin, I. J., Biswas, P. K., 2023. Residual effect of green manure on soil properties in Green Manure-Transplant aman-Mustard cropping pattern. *Indian Journal of Agricultural Research*, 57(1), 67-72. <http://dx.doi.org/10.18805/IJARE.AF-696>
- Jacoby, R., Peukert, M., Succurro, A., Koprivova, A., Kopriva, S., 2017. The role of soil microorganisms in plant mineral nutrition—current knowledge and future directions. *Frontiers in plant science*, 8, 1617. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01617>
- Jansson, J. K., Hofmockel, K. S., 2020. Soil microbiomes and climate change. *Nature Reviews Microbiology*, 18(1), 35-46. <https://doi.org/10.1038/s41579-019-0265-7>
- Jin, X., Zhang, J., Shi, Y., Wu, F., Zhou, X., 2019. Green manures of Indian mustard and wild rocket enhance cucumber resistance to Fusarium wilt through modulating rhizosphere bacterial community composition. *Plant and Soil*, 441, 283-300. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04118-6>
- Jong van Lier, Q., 2014. Water Availability to Plants. In: Teixeira, W., Ceddia, M., Ottoni, M., Donnagema, G. (eds) *Application of Soil Physics in Environmental Analyses*. Progress in Soil Science. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-06013-2_18
- Jurys, A., Feizienė, D., 2021. The effect of specific soil microorganisms on soil quality parameters and organic matter content for cereal production. *Plants*, 10(10), 2000. <https://doi.org/10.3390/plants10102000>
- Khalifa, N. A., Abou-Zeid, N. M., Noher, A. M., Abbas, M. S., Sobhy, H. M., 2016. Enzyme activity and biochemical changes associated with induction of systemic resistance of faba bean against damping off disease. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 26(2), 395-404.

- Khatoon, H., Solanki, P., Narayan, M., Tewari, L., Rai, J., Hina Khatoon, C., 2017. Role of microbes in organic carbon decomposition and maintenance of soil ecosystem. *International Journal of Chemical Studies*, 5(6), 1648-1656.
- Khatoon, Z., Huang, S., Rafique, M., Fakhar, A., Kamran, M. A., Santoyo, G., 2020. Unlocking the potential of plant growth-promoting rhizobacteria on soil health and the sustainability of agricultural systems. *Journal of Environmental Management*, 273, 111118. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111118>
- Kicińska, A., Pomykała, R., Izquierdo-Díaz, M., 2022. Changes in soil pH and mobility of heavy metals in contaminated soils. *European Journal of Soil Science*, 73(1), e13203. <https://doi.org/10.1111/ejss.13203>
- Kumar, S., Samiksha, Sukul, P., 2020. Green Manuring and Its Role in Soil Health Management. In: Giri, B., Varma, A. (eds) *Soil Health. Soil Biology*, vol 59. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-44364-1_13
- Lado, M., Ben-Hur, M., Shainberg, I., 2004. Soil wetting and texture effects on aggregate stability, seal formation, and erosion. *Soil Science Society of America Journal*, 68(6), 1992-1999. <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.1992>
- Lal, R., 2020. Soil organic matter and water retention. *Agronomy Journal*, 112(5), 3265-3277. <https://doi.org/10.1002/agj2.20282>
- Lalitha, S., 2017. Plant growth-promoting microbes: a boon for sustainable agriculture, in: Dhanarajan, A., (Eds.), *Sustainable agriculture towards food security*, Springer, Singapore, pp. 125-158. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6647-4_8
- Lambers, H., Oliveira, R. S., Lambers, H., Oliveira, R. S., 2019. Plant water relations. *Plant physiological ecology*, 187-263. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29639-1_5
- Lazcano, C., Gómez-Brandón, M., Revilla, P., Domínguez, J., 2013. Short-term effects of organic and inorganic fertilizers on soil microbial community structure and function: A field study with sweet corn. *Biology and fertility of soils*, 49, 723-733. <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0761-7>
- LeBlanc, N., 2023. Green manures alter taxonomic and functional characteristics of soil bacterial communities. *Microbial ecology*, 85(2), 684-697. <https://doi.org/10.1007/s00248-022-01975-0>
- Lei, B., Wang, J., Yao, H., 2022. Ecological and environmental benefits of planting green manure in paddy fields. *Agriculture*, 12(2), 223. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020223>
- Lévesque, V., Rochette, P., Hogue, R., Jeanne, T., Ziadi, N., Chantigny, M. H., Dorais, M., Antoun, H., 2020. Greenhouse gas emissions and soil bacterial community as affected by biochar amendments after periodic mineral fertilizer applications. *Biology and Fertility of Soils*, 56, 907-925. <https://doi.org/10.1007/s00374-020-01470-z>
- Li, H., Li, C., Song, X., Liu, Y., Gao, Q., Zheng, R., Li, J., Zhang, P., Liu, X., 2022. Impacts of continuous and rotational cropping practices on soil chemical properties and

- microbial communities during peanut cultivation. *Scientific reports*, 12(1), 2758. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06789-1>
- Li, L., Kuzyakov, Y., Xu, Q. et al., 2023. Bacterial communities in cropland soils: Taxonomy and functions. *Plant Soil*. <https://doi.org/10.1007/s11104-023-06396-7>
- Liang, H., Li, S., Zhou, G. et al., 2024. Targeted regulation of the microbiome by green manuring to promote tobacco growth. *Biology and Fertility of Soils*, 60, 69–85. <https://doi.org/10.1007/s00374-023-01774-w>
- Lin, X. W., Xie, Z. B., Zheng, J. Y., Liu, Q., Bei, Q. C., Zhu, J. G., 2015. Effects of biochar application on greenhouse gas emissions, carbon sequestration and crop growth in coastal saline soil. *European Journal of Soil Science*, 66(2), 329-338. <https://doi.org/10.1111/ejss.12225>
- Liu, B., Arlotti, D., Huyghebaert, B., Tebbe, C. C., 2022. Disentangling the impact of contrasting agricultural management practices on soil microbial communities–Importance of rare bacterial community members. *Soil Biology and Biochemistry*, 166, 108573. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108573>
- Liu, C., Tong, F., Yan, L., Zhou, H., Hao, S., 2020. Effect of porosity on soil-water retention curves: theoretical and experimental aspects. *Geofluids*, 2020, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2020/6671479>
- Liu, H., Li, J., Carvalhais, L. C., Percy, C. D., Prakash Verma, J., Schenk, P. M., Singh, B. K., 2021. Evidence for the plant recruitment of beneficial microbes to suppress soil-borne pathogens. *New Phytologist*, 229(5), 2873-2885. <https://doi.org/10.1111/nph.17057>
- Liu, H., Zheng, X., Li, Y., Yu, J., Ding, H., Svein, T. R., Zhang, Y., 2022. Soil moisture determines nitrous oxide emission and uptake. *Science of The Total Environment*, 822, 153566. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153566>
- Longa, C. M., Nicola, L., Antonielli, L., Mescalchin, E., Zanzotti, R., Turco, E., Pertot, I., 2017. Soil microbiota respond to green manure in organic vineyards. *Journal of Applied Microbiology*, 123(6), 1547-1560. <https://doi.org/10.1111/jam.13606>
- Looby, C. I., Martin, P. H., 2020. Diversity and function of soil microbes on montane gradients: the state of knowledge in a changing world. *FEMS Microbiology Ecology*, 96(9), fiae122. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiae122>
- Luo, P., Han, X., Wang, Y., Han, M., Shi, H., Liu, N., Bai, H. (2015). Influence of long-term fertilization on soil microbial biomass, dehydrogenase activity, and bacterial and fungal community structure in a brown soil of northeast China. *Annals of microbiology*, 65(1), 533-542.
- Ma, D., Yin, L., Ju, W., Li, X., Liu, X., Deng, X., Wang, S., 2021. Meta-analysis of green manure effects on soil properties and crop yield in northern China. *Field Crops Research*, 266, 108146. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108146>
- Ma, G., Cheng, S., He, W., Dong, Y., Qi, S., Tu, N., Tao, W., 2023. Effects of Organic and Inorganic Fertilizers on Soil Nutrient Conditions in Rice Fields with Varying Soil Fertility. *Land*, 12(5), 1026. <https://doi.org/10.3390/land12051026>

- Mahala, D.M. et al., 2020. Microbial Transformation of Nutrients in Soil: An Overview, in: Sharma, S. K., Singh, U. B., Sahu, P. K., Singh, H. V., Sharma, P. K. (Eds.), Rhizosphere Microbes. Microorganisms for Sustainability, vol 23. Springer, Singapore, pp. 175-211. https://doi.org/10.1007/978-981-15-9154-9_7
- Mahapatra, S. S., 2021. Antioxidants as Modulators of Plant Defence Against Soilborne Fungal Pathogens upon Microbial Interaction. Antioxidants in Plant-Microbe Interaction, 305-314. https://doi.org/10.1007/978-981-16-1350-0_14
- Mahmud, K., Makaju, S., Ibrahim, R., Missaoui, A., 2020. Current progress in nitrogen fixing plants and microbiome research. Plants, 9(1), 97. <https://doi.org/10.3390/plants9010097>
- Majeed, A., Muhammad, Z., Ahmad, H., 2018. Plant growth promoting bacteria: role in soil improvement, abiotic and biotic stress management of crops. Plant cell reports, 37, 1599-1609. <https://doi.org/10.1007/s00299-018-2341-2>
- Manda, R. R., Addanki, V. A., Giabardo, A., Benjamin, J., Hossain, M. J., Khanna, S., Gaddam, M., Kumar, R., Srivastava, S., 2023. Soil Health Management and Microorganisms: Recent Development, in: Singh, U. B., Kumar, R., Singh, H. B. (Eds.), Detection, Diagnosis and Management of Soil-borne Phytopathogens. Springer, Singapore, pp. 437-493. https://doi.org/10.1007/978-981-19-8307-8_18
- Mandal, A., Majumder, A., Dhaliwal, S. S., Toor, A. S., Mani, P. K., Naresh, R. K., ... Mitran, T., 2022. Impact of agricultural management practices on soil carbon sequestration and its monitoring through simulation models and remote sensing techniques: A review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 52(1), 1-49. <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1811590>
- Marschner, P., Rengel, Z., 2023. Nutrient availability in soils, in: Rengel, Z., Cakmak, İ., White, P. J., Marschner's Mineral Nutrition of Plants, Academic press, pp. 499-522. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819773-8.00003-4>
- Marshall, C. B., Lynch, D. H., 2020. Soil microbial and macrofauna dynamics under different green manure termination methods. Applied Soil Ecology, 148, 103505. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103505>
- Materechera, S. A., 2009. Aggregation in a surface layer of a hardsetting and crusting soil as influenced by the application of amendments and grass mulch in a South African semi-arid environment. Soil and Tillage Research, 105(2), 251-259. <https://doi.org/10.1016/j.still.2009.07.008>
- Meena, M., Swapnil, P., Divyanshu, K., Kumar, S., Harish, Tripathi, Y. N., Zehra, A., Marwal, A., Upadhyay, R. S., 2020. PGPR-mediated induction of systemic resistance and physiochemical alterations in plants against the pathogens: Current perspectives. Journal of Basic Microbiology, 60(10), 828-861. <https://doi.org/10.1002/jobm.202000370>
- Megali, L., Glauser, G., Rasmann, S., 2014. Fertilization with beneficial microorganisms decreases tomato defenses against insect pests. Agronomy for sustainable development, 34, 649-656. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0187-0>

- Mohajan, H. K., 2017. Greenhouse gas emissions, Global warming and climate change, 15th Chittagong Conference on Mathematical Physics, 2017. Jamal Nazrul Islam Research Centre for Mathematical and Physical Sciences (JNIRCMPS), pp. 3.
- Mohammadi, K., Heidari, G., Khalesro, S., Sohrabi, Y., 2011. Soil management, microorganisms and organic matter interactions: A review. *African Journal of Biotechnology*, 10(86), 19840. <https://doi.org/10.5897/AJBX11.006>
- Msimbira, L. A., Smith, D. L., 2020. The roles of plant growth promoting microbes in enhancing plant tolerance to acidity and alkalinity stresses. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 106. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00106>
- Muhammad, I., Lv, J. Z., Wang, J., Ahmad, S., Farooq, S., Ali, S., Zhou, X. B., 2022. Regulation of soil microbial community structure and biomass to mitigate soil greenhouse gas emission. *Frontiers in Microbiology*, 13, 868862. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.868862>
- Mundt, C. C., 2014. Durable resistance: a key to sustainable management of pathogens and pests. *Infection, Genetics and Evolution*, 27, 446-455. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2014.01.011>
- Müjdeci, M., Alaboz, P., Demircioğlu, A. C., 2020. The effects of farmyard manure and green manure applications on some soil physical properties. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 30(1), 9-17. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.628921>
- N'Dayegamiye, A., Tran, T. S., 2001. Effects of green manures on soil organic matter and wheat yields and N nutrition. *Canadian Journal of Soil Science*, 81(4), 371-382. <https://doi.org/10.4141/S00-034>
- Nair, P.K.R., Kumar, B.M., Nair, V.D., 2021. Soil Organic Matter (SOM) and Nutrient Cycling. In: *An Introduction to Agroforestry*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-75358-0_16
- Navarro-Pedreño, J., Almendro-Candel, M. B., Zorpas, A. A., 2021. The increase of soil organic matter reduces global warming, myth or reality? *Sci*, 3(1), 18. <https://doi.org/10.3390/sci3010018>
- Neina, D., 2019. The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation. *Applied and environmental soil science*, 2019, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2019/5794869>
- Neto, E. C. S., Pereira, M. G., de Melo, T. R., Neto, T. A. C., dos Anjos, L. H. C., Correia, M. E. F., 2021. How the biological activity of Oligochaeta shape soil aggregation and influence the soil functions. In *Keep soil alive, protect soil biodiversity: Global Symposium on Soil Biodiversity 19–22 April 2021*. Proceedings (p. 353). Food Agriculture Org..
- Nkongolo, K. K., Narendrula-Kotha, R. (2020). Advances in monitoring soil microbial community dynamic and function. *Journal of applied genetics*, 61(2), 249-263. <https://doi.org/10.1007/s13353-020-00549-5>
- Omara, P., Singh, H., Singh, K., Sharma, L., Otim, F., Obia, A., 2023. Short-term effect of field application of biochar on cation exchange capacity, pH, and electrical

- conductivity of sandy and clay loam temperate soils. *Technology in Agronomy*, 3(1). <https://doi.org/10.48130/TIA-2023-0016>
- Ortiz, A., Sansinenea, E., 2022. The role of beneficial microorganisms in soil quality and plant health. *Sustainability*, 14(9), 5358. <https://doi.org/10.3390/su14095358>
- Panagea, I. S., Berti, A., Čermak, P., Diels, J., Elsen, A., Kusá, H., ... Wyseure, G., 2021. Soil water retention as affected by management induced changes of soil organic carbon: Analysis of long-term experiments in Europe. *Land*, 10(12), 1362. <https://doi.org/10.3390/land10121362>
- Panday, D., Bhusal, N., Das, S., Ghalegholabbehbahani, A., 2024. Rooted in Nature: The Rise, Challenges, and Potential of Organic Farming and Fertilizers in Agroecosystems. *Sustainability*, 16(4), 1530.
- Papadopoulos, A., 2011. Soil Aggregates, Structure, and Stability. In: Gliński, J., Horabik, J., Lipiec, J. (eds) *Encyclopedia of Agrophysics. Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-90-481-3585-1_142
- Pedrinho, A., Mendes, L.W., de Araujo Pereira, A.P. et al., 2024. Soil microbial diversity plays an important role in resisting and restoring degraded ecosystems. *Plant Soil*. <https://doi.org/10.1007/s11104-024-06489-x>
- Pérès, G., Cluzeau, D., Menasseri, S., Soussana, J. F., Bessler, H., Engels, C., Eisenhauer, N. (2013). Mechanisms linking plant community properties to soil aggregate stability in an experimental grassland plant diversity gradient. *Plant and soil*, 373, 285-299.
- Philippot, L., Chenu, C., Kappler, A., Rillig, M. C., Fierer, N., 2023. The interplay between microbial communities and soil properties. *Nature Reviews Microbiology*, 1-14.
- Rabot, E., Wiesmeier, M., Schlüter, S., Vogel, H. J., 2018. Soil structure as an indicator of soil functions: A review. *Geoderma*, 314, 122-137. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.009>
- Rao, D. L. N., Aparna, K., Mohanty, S. R., 2019. Microbiology and biochemistry of soil organic matter, carbon sequestration and soil health. *Indian Journal of Fertilisers*, 15(2), 124-138.
- Raza, T., Qadir, M. F., Khan, K. S., Eash, N. S., Yousuf, M., Chatterjee, S., Manzoor, R., Rehman, S., Oetting, J. N., 2023. Unrevealing the potential of microbes in decomposition of organic matter and release of carbon in the ecosystem. *Journal of Environmental Management*, 344, 118529. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118529>
- Regelink, I. C., Stoof, C. R., Rousseva, S., Weng, L., Lair, G. J., Kram, P., Nikolaidis, N. P., Kercheva, M., Banwart, S., Comans, R. N., 2015. Linkages between aggregate formation, porosity and soil chemical properties. *Geoderma*, 247, 24-37. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.01.022>
- Renčo, M., Gömöryová, E., Čerevková, A., 2020. The effect of soil type and ecosystems on the soil nematode and microbial communities. *Helminthologia*, 57(2), 129. <https://doi.org/10.2478/helm-2020-0014>

- Rodrigues, C. I. D., Brito, L. M., Nunes, L. J., 2023. Soil carbon sequestration in the context of climate change mitigation: A review. *Soil Systems*, 7(3), 64. <https://doi.org/10.3390/soilsystems7030064>
- Rothe, M., Darnaudery, M., Thuriès, L., 2019. Organic fertilizers, green manures and mixtures of the two revealed their potential as substitutes for inorganic fertilizers used in pineapple cropping. *Scientia Horticulturae*, 257, 108691. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108691>
- Rufyikiri, G., Dufey, J. E., Achard, R., Delvaux, B., 2002. Cation exchange capacity and aluminum–calcium–magnesium binding in roots of bananas cultivated in soils and in nutrient solutions. *Communications in soil science and plant analysis*, 33(5-6), 991-1009. <https://doi.org/10.1081/CSS-120003079>
- Saffari, R., Nikooee, E., Habibagahi, G., Van Genuchten, M. T., 2019. Effects of biological stabilization on the water retention properties of unsaturated soils. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 145(7), 04019028. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0002053](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002053)
- Sahu, A., Bhattacharjya, S., Mandal, A., Thakur, J. K., Atoliya, N., Sahu, N., Manna, M. C., Patra, A. K., 2018. Microbes: a sustainable approach for enhancing nutrient availability in agricultural soils, in: Meena, V. (Eds.), *Role of Rhizospheric Microbes in Soil: Volume 2: Nutrient Management and Crop Improvement*, Springer, Singapore, pp. 47-75. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0044-8_2
- Salahin, N., Alam, M. K., Islam, M. M., Naher, L., Majid, N. M., 2013. Effects of green manure crops and tillage practice on maize and rice yields and soil properties. *Australian Journal of Crop Science*, 7(12), 1901-1911.
- Santos, J. A., Gonzaga, M. I. S., dos Santos, W. M., da Silva, A. J., 2022. Water retention and availability in tropical soils of different textures amended with biochar. *Catena*, 219, 106616. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106616>
- Sarker, T. C., Zotti, M., Fang, Y., Giannino, F., Mazzoleni, S., Bonanomi, G., Cai, Y., Chang, S. X., 2022. Soil aggregation in relation to organic amendment: A synthesis. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(2), 2481-2502. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00822-y>
- Scharwies, J. D., Dinneny, J. R., 2019. Water transport, perception, and response in plants. *Journal of plant research*, 132, 311-324. <https://doi.org/10.1007/s10265-019-01089-8>
- Scheibe, A., Spohn, M., 2022. N₂ fixation per unit microbial biomass increases with aridity. *Soil Biology and Biochemistry*, 172, 108733. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108733>
- Semenov, A.M., Đukić, D.A., 2020. The Role of Microbial Communities in Soil Formation and Soil Ecosystem Health. *Paleontol. J.* 54, 843–852. <https://doi.org/10.1134/S0031030120080146>

- Shaji, H., Chandran, V., Mathew, L., 2021. Organic fertilizers as a route to controlled release of nutrients. In *Controlled release fertilizers for sustainable agriculture* (pp. 231-245). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819555-0.00013-3>
- Shang, Z., Abdalla, M., Xia, L., Zhou, F., Sun, W., Smith, P. (2021). Can cropland management practices lower net greenhouse emissions without compromising yield?. *Global Change Biology*, 27(19), 4657-4670.
- Sharma, P., Laor, Y., Raviv, M., Medina, S., Saadi, I., Krasnovsky, A., Vager, M., Levy, G. J., Bar-Tal, A., Borisover, M., 2017. Green manure as part of organic management cycle: Effects on changes in organic matter characteristics across the soil profile. *Geoderma*, 305, 197-207. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.06.003>
- Shi, Y., Zhang, K., Li, Q., Liu, X., He, J. S., Chu, H., 2020. Interannual climate variability and altered precipitation influence the soil microbial community structure in a Tibetan Plateau grassland. *Science of the Total Environment*, 714, 136794. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136794>
- Shrestha, B. M., McConkey, B. G., Smith, W. N., Desjardins, R. L., Campbell, C. A., Grant, B. B., Miller, P. R., 2013. Effects of crop rotation, crop type and tillage on soil organic carbon in a semiarid climate. *Canadian Journal of Soil Science*, 93(1), 137-146. <https://doi.org/10.4141/cjss2012-078>
- Shu, W., Pablo, G. P., Jun, Y., Danfeng, H., 2012. Abundance and diversity of nitrogen-fixing bacteria in rhizosphere and bulk paddy soil under different duration of organic management. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28, 493-503. <https://doi.org/10.1007/s11274-011-0840-1>
- Siah, A., Magnin-Robert, M., Randoux, B., Choma, C., Rivière, C., Halama, P., Reignault, P., 2018. Natural agents inducing plant resistance against pests and diseases. *Natural antimicrobial agents*, 121-159. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67045-4_6
- Siddique, K. H., Helen, B., 2020. Water deficits: development, in: Wang, Y. (Eds.), *Fresh Water and Watersheds*, CRC Press, pp. 215-219. <https://doi.org/10.1201/9780429441042>
- Sierra, C. A., Trumbore, S. E., Davidson, E. A., Vicca, S., Janssens, I., 2015. Sensitivity of decomposition rates of soil organic matter with respect to simultaneous changes in temperature and moisture. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 7(1), 335-356. <https://doi.org/10.1002/2014MS000358>
- Silva, L. I. D., Pereira, M. C., Carvalho, A. M. X. D., Buttrós, V. H., Pasqual, M., Dória, J., 2023. Phosphorus-Solubilizing Microorganisms: A Key to Sustainable Agriculture. *Agriculture*, 13(2), 462. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020462>
- Simranjit, K., Kanchan, A., Prasanna, R., Ranjan, K., Ramakrishnan, B., Singh, A. K., Shivay, Y. S., 2019. Microbial inoculants as plant growth stimulating and soil nutrient availability enhancing options for cucumber under protected cultivation. *World*

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

- Journal of Microbiology and Biotechnology, 35, 1-14.
<https://doi.org/10.1007/s11274-019-2623-z>
- Singh, H. B., 2014. Management of plant pathogens with microorganisms, in: Bagyaraj, D. J. (Eds.), Proceedings of the Indian National Science Academy, Indian National Science Academy, India, pp. 443-454,
<https://doi.org/10.16943/ptinsa/2014/v80i2/55120>
- Singh, P., Singh, A., Singh, V.K., Singh, O., 2022. Green Manuring for Sustainable Agriculture, in: Baskar, C., Ramakrishna, S., Daniela La Rosa, A. (Eds.), Encyclopedia of Green Materials. Springer, Singapore, pp. 1-6.
https://doi.org/10.1007/978-981-16-4921-9_261-1
- Singh, T. B., Ali, A., Prasad, M., Yadav, A., Shrivastav, P., Goyal, D., Dantu, P. K., 2020. Role of Organic Fertilizers in Improving Soil Fertility. in: Naeem, M., Ansari, A., Gill, S. (Eds.), Contaminants in Agriculture. Springer, Cham, pp. 61-77.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-41552-5_3
- Smith, P., House, J. I., Bustamante, M., Sobocká, J., Harper, R., Pan, G., ... Pugh, T. A., 2016. Global change pressures on soils from land use and management. Global change biology, 22(3), 1008-1028. <https://doi.org/10.1111/gcb.13068>
- Sofo, A., Zanella, A., Ponge, J. F., 2022. Soil quality and fertility in sustainable agriculture, with a contribution to the biological classification of agricultural soils. Soil Use and Management, 38(2), 1085-1112. <https://doi.org/10.1111/sum.12702>
- Solly, E. F., Weber, V., Zimmermann, S., Walthert, L., Hagedorn, F., Schmidt, M. W., 2020. A critical evaluation of the relationship between the effective cation exchange capacity and soil organic carbon content in Swiss forest soils. Frontiers in Forests and Global Change, 3, 98 <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.00098>
- Spohn, M., 2016. Element cycling as driven by stoichiometric homeostasis of soil microorganisms. Basic and Applied Ecology, 17(6), 471-478.
<https://doi.org/10.1016/j.baae.2016.05.003>
- Srivastava, P., Kumar, A., Behera, S. K., Sharma, Y. K., Singh, N., 2012. Soil carbon sequestration: an innovative strategy for reducing atmospheric carbon dioxide concentration. Biodiversity and Conservation, 21, 1343-1358.
<https://doi.org/10.1007/s10531-012-0229-y>
- Stefanis, C., Alexopoulos, A., Voidarou, C., Vavias, S., Bezirtzoglou, E., 2013. Principal methods for isolation and identification of soil microbial communities. Folia Microbiologica, 58(1), 61-68. <https://doi.org/10.1007/s12223-012-0179-5>
- Sun, W., Canadell, J. G., Yu, L., Yu, L., Zhang, W., Smith, P., Fischer, T., Huang, Y., 2020. Climate drives global soil carbon sequestration and crop yield changes under conservation agriculture. Global Change Biology, 26(6), 3325-3335.
<https://doi.org/10.1111/gcb.15001>
- Sunish, K.S., Thazeem, B., 2023. Microbial Biomass, in: Thomas, S., Hosur, M., Pasquini, D., Jose Chirayil, C. (Eds.), Handbook of Biomass. Springer, Singapore, pp. 1-24.
https://doi.org/10.1007/978-981-19-6772-6_6-1

- Tahat, M. M., M. Alananbeh, K., A. Othman, Y., I. Leskovar, D., 2020. Soil health and sustainable agriculture. *Sustainability*, 12(12), 4859.
- Tandon, S., Sharma, A., Singh, S., Sharma, S., Sarma, S. J., 2021. Therapeutic enzymes: discoveries, production and applications. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 63, 102455. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2021.102455>
- Tao, J., Liu, X., Liang, Y., Niu, J., Xiao, Y., Gu, Y., Ma, L., Meng, D., Zhang, Y., Haung, W., Peng, D., Yin, H., 2017. Maize growth responses to soil microbes and soil properties after fertilization with different green manures. *Applied microbiology and biotechnology*, 101, 1289-1299. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7938-1>
- Terang, B., Baruah, D. C., 2023. Techno-economic and environmental assessment of solar photovoltaic, diesel, and electric water pumps for irrigation in Assam, India. *Energy Policy*, 183, 113807. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113807>
- Thangarajan, R., Bolan, N. S., Tian, G., Naidu, R., Kunhikrishnan, A., 2013. Role of organic amendment application on greenhouse gas emission from soil. *Science of the Total Environment*, 465, 72-96. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.01.031>
- Tian, J., Ge, F., Zhang, D., Deng, S., Liu, X., 2021. Roles of phosphate solubilizing microorganisms from managing soil phosphorus deficiency to mediating biogeochemical P cycle. *Biology*, 10(2), 158. <https://doi.org/10.3390/biology10020158>
- Timofeeva, A. M., Galyamova, M. R., Sedykh, S. E., 2023. Plant Growth-Promoting Soil Bacteria: Nitrogen Fixation, Phosphate Solubilization, Siderophore Production, and Other Biological Activities. *Plants*, 12(24), 4074. <https://doi.org/10.3390/plants12244074>
- Trivedi, P., Delgado-Baquerizo, M., Anderson, I. C., Singh, B. K., 2016. Response of soil properties and microbial communities to agriculture: implications for primary productivity and soil health indicators. *Frontiers in Plant Science*, 7, 990. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00990>
- Vaughan, D., Malcolm, R. E., 2012. Soil organic matter and biological activity (Vol. 16). Springer Science Business Media.
- Verma, B. C., Pramanik, P., Bhaduri, D., 2020. Organic fertilizers for sustainable soil and environmental management, in: Meena, R. (Eds.), *Nutrient dynamics for sustainable crop production*, Springer, Singapore, pp. 289-313. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8660-2_10
- Verma, K., Sharma, P., Bhardwaj, D. R., Kumar, R., Kumar, N. M., Singh, A. K., 2023. Land and environmental management through agriculture, forestry and other land use (AFOLU) system. *Land and Environmental Management through Forestry*, 247-271. <https://doi.org/10.1002/9781119910527.ch10>
- Virk, A. L., Liu, W. S., Chen, Z., Yves, N., Bohoussou, D., Cheema, M. A., Khan, K. S., Zhao, X., Zhang, H. L., 2022. Effects of different tillage systems and cropping sequences on soil physicochemical properties and greenhouse gas

- emissions. *Agriculture, Ecosystems Environment*, 335, 108010.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108010>
- Vocciante, M., Grifoni, M., Fusini, D., Petruzzelli, G., Franchi, E., 2022. The role of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in mitigating plant's environmental stresses. *Applied Sciences*, 12(3), 1231. <https://doi.org/10.3390/app12031231>
- Walz, J., Knoblauch, C., Böhme, L., Pfeiffer, E. M., 2017. Regulation of soil organic matter decomposition in permafrost-affected Siberian tundra soils-Impact of oxygen availability, freezing and thawing, temperature, and labile organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*, 110, 34-43.
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.03.001>
- Wang, J., Azam, W., 2024. Natural resource scarcity, fossil fuel energy consumption, and total greenhouse gas emissions in top emitting countries. *Geoscience Frontiers*, 15(2), 101757. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2023.101757>
- Wang, Y., Li, Q., Li, C., 2023. Organic fertilizer has a greater effect on soil microbial community structure and carbon and nitrogen mineralization than planting pattern in rainfed farmland of the Loess Plateau. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1232527. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1232527>
- Wolka, K., Biazin, B., Martinsen, V., Mulder, J., 2021. Soil and water conservation management on hill slopes in Southwest Ethiopia. I. Effects of soil bunds on surface runoff, erosion and loss of nutrients. *Science of The Total Environment*, 757, 142877. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142877>
- Xia, Q., Rufty, T., Shi, W., 2020. Soil microbial diversity and composition: Links to soil texture and associated properties. *Soil Biology and Biochemistry*, 149, 107953.
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107953>
- Xu, J., Si, L., Zhang, X., Cao, K., Wang, J., 2023. Various green manure-fertilizer combinations affect the soil microbial community and function in immature red soil. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1255056.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1255056>
- Yu, Y., Gui, Y., Li, Z., Jiang, C., Guo, J., Niu, D., 2022. Induced systemic resistance for improving plant immunity by beneficial microbes. *Plants*, 11(3), 386.
<https://doi.org/10.3390/plants11030386>
- Zhalnina, K., Dias, R., de Quadros, P. D., Davis-Richardson, A., Camargo, F. A., Clark, I. M., McGrath, S. P., Hirsch, P. R., Triplett, E. W., 2015. Soil pH determines microbial diversity and composition in the park grass experiment. *Microbial ecology*, 69, 395-406. <https://doi.org/10.1007/s00248-014-0530-2>
- Zhang, X., Zhang, R., Gao, J., Wang, X., Fan, F., Ma, X., Yin, H., Zhang, C., Feng, K., Deng, Y., 2017. Thirty-one years of rice-rice-green manure rotations shape the rhizosphere microbial community and enrich beneficial bacteria. *Soil Biology and Biochemistry*, 104, 208-217. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.10.023>
- Zhang, Y., Gao, W., Ma, L., Luan, H., Tang, J., Li, R., Huang, S., Wang, L., 2023. Long-term partial substitution of chemical fertilizer by organic amendments influences

soil microbial functional diversity of phosphorus cycling and improves phosphorus availability in greenhouse vegetable production. *Agriculture, Ecosystems Environment*, 341, 108193. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108193>

Zhou, Z., Wang, C., Luo, Y., 2020. Meta-analysis of the impacts of global change factors on soil microbial diversity and functionality. *Nature communications*, 11(1), 3072. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16881-7>

Zhou, G., Fan, K., Gao, S., Chang, D., Li, G., Liang, T., Liang, H., Li, S., Zhang, J., Che, Z., Cao, W. (2023). Green manuring relocates microbiomes in driving the soil functionality of nitrogen cycling to obtain preferable grain yields in thirty years. *Science China Life Sciences*, 67, 596–610. <https://doi.org/10.1007/s11427-023-2432-9>

Zhu, X. G., Tong, S. M., Ying, S. H., Feng, M. G., 2018. Antioxidant activities of four superoxide dismutases in *Metarhizium robertsii* and their contributions to pest control potential. *Applied microbiology and biotechnology*, 102, 9221-9230. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9302-0>

Zytynska, S. E., Eicher, M., Rothballer, M., Weisser, W. W., 2020. Microbial-mediated plant growth promotion and pest suppression varies under climate change. *Frontiers in plant science*, 11, 573578. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.573578>

BİTKİLERDE AZOT KULLANIM ETKİNLİĞİ VE BİYOTEKNOLOJİK YAKLAŞIMLAR

Sümevra UÇAR¹, Esmâ YİĞİDER², Emre İLHAN¹, Prof. Dr. Murat AYDIN^{2*}

¹ Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü / Erzurum Teknik Üniversitesi, Türkiye

² Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü / Atatürk Üniversitesi, Türkiye

*e-mail: maydin@atauni.edu.tr

Özet

Azot (N), bitki büyümesi ve gelişimi için kritik bir makro besin elementidir ve tarımda en çok kullanılan gübredir. N, proteinlerin, enzimlerin, nükleik asitlerin ve bitki büyüme düzenleyicilerin bir bileşeni olarak bitkilerde birçok fizyolojik ve biyokimyasal süreçte yer almaktadır. Bitkilerin N'yi verimli bir şekilde kullanma kabiliyeti sınırlıdır ve uygulanan N'nin yalnızca %30-50'si bitkiler tarafından kullanılır bu da önemli miktarda N'nin çevreye kaybına neden olur. Bu durum, hem ekonomik maliyetleri artırır hem de çevreye zararlı etkileri beraberinde getirir. Bu nedenle, bitkilerin azot kullanım etkinliğini (AKE) artırmak, tarımsal sürdürülebilirliği ve çevresel sağlığı destekleme açısından hayati öneme sahiptir. Bu derlemede, bitkilerde AKE'yi artırmak için azot alımında, taşınımında ve metabolizmasında yer alan genlerde yapılan genetik mühendisliği çalışmaları incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Amonyum, genetik mühendisliği, nitrat, azot metabolizması

NITROGEN USE EFFICIENCY IN PLANTS AND BIOTECHNOLOGICAL APPROACHES

Abstract

Nitrogen (N) is a critical macronutrient for plant growth and development and is the most widely used fertilizer in agriculture. It's involved in numerous physiological and biochemical processes in plants as a component of proteins, enzymes, nucleic acids, and plant growth regulators. However, plants have a limited capacity to efficiently utilize nitrogen, with only 30-50% of the applied nitrogen used by the plants. This inefficiency results in significant nitrogen loss, increasing economic costs, and harmful environmental effects. Therefore, enhancing plants' nitrogen use efficiency (NUE) is crucial for promoting agricultural sustainability and environmental health. To this end, this review delves into the potential of genetic engineering in improving NUE by targeting genes involved in plants' nitrogen uptake, transport, and metabolism.

Keywords: Ammonium, genetic engineering, nitrate, nitrogen metabolism

GİRİŞ

Azot (N), bitki büyümesi ve gelişimi için hayati öneme sahip olup dünyadaki tarım alanlarının çoğunda bitkisel üretim için en sınırlayıcı makro besin maddesidir (Sandhu et al., 2021). Azot, proteinlerin, enzimlerin, nükleik asitlerin ve bitki büyüme düzenleyicilerin bir bileşeni olarak birçok fizyolojik ve biyokimyasal süreçte yer almaktadır (Maathuis et al., 2009).

Hızla artan küresel nüfus, birim alan başına daha fazla gıda ve enerji üretmek için tarım arazileri üzerinde önemli bir baskı oluşturmaktadır. Sürdürülebilir üretim için tarımsal uygulamalar hem verimliliği artırmalı hem de çevreyi, insan ve hayvan sağlığını korumalıdır. Küresel ölçekte N, tarımda en yaygın kullanılan gübre besin maddesidir. FAO verilerine göre 2021 yılında dünya genelinde 109 milyon ton azot gübresi kullanılmıştır. Ancak bitkiler türlere ve toprak tipine bağlı olarak uygulanan N'nin bitkiler tarafından yalnızca %30-50'si kullanmakta olup, geri kalanı çevreye salınmaktadır (McAllister et al., 2012). Sürdürülebilir bir üretim ve çevre için azot kullanım etkinliğinin (AKE) geliştirilmesi bu bakımdan oldukça önemlidir (Govindasamy et al., 2023). Bu nedenle, AKE besin maddesi kayıplarını ve çevredeki su, hava ve ekosistemler üzerindeki olumsuz etkileri en aza indirmenin yanı sıra aşırı gübre girdileri ile ilişkili maliyetleri azaltmaya yönelik çevresel ve ekonomik hedefler için ıslahçılar tarafından bir metrik olarak kullanılabilir.

AKE, çok sayıda gen ve çevresel faktörler tarafından kontrol edilen çok karmaşık bir özelliktir (Xu et al., 2012). Bu metriğin farklı hesaplama yöntemleri ve amaçlarına dayanan çeşitli tanımları vardır. Özellikle AKE'yi değerlendirmek için uygun yöntemin seçimi mahsule, hasat ürün kısmına ve incelenen fizyolojik sürece bağlıdır (Good et al., 2004). Genel olarak, AKE dikotiledon ve monokotiledon türler için ayrı ayrı değerlendirilir, çünkü nihai ürün, sırasıyla ya biyokütle ya da tanedir (Brauer et al., 2010). AKE, birim toprak ve gübre azotu başına elde edilen ürün miktarı olarak tanımlanır (Congreves et al., 2021). N'nin bitkiler tarafından kullanımı, alım, asimilasyon, translokasyon/remobilizasyon olmak üzere çeşitli adımları içerir (Masclaux-Daubresse et al., 2010).

Bu nedenle, bu terim azot alım etkinliği ve AKE olmak üzere iki biyolojik bileşene ayrılabilir. Azot alım etkinliği bitkinin topraktan N absorbe etme yeteneği olarak tanımlanırken, AKE ise biyokütle veya tohum üretmek için absorbe edilen N'yi kullanma yeteneği olarak tanımlanır (Congreves et al., 2021). N alımı ve kullanımı bağımsız olarak kalıtılan özellikler olup; bu nedenle, yüksek bir AKE elde etmek için uygun aleller ıslah yoluyla birleştirilebilir (Brauer et al., 2010).

AKE'yi iyileştirmek için geliştirilen stratejiler arasında gübrelerin rasyonel kullanımı, ekim nöbeti ve topraktan azotu daha verimli bir şekilde alabilen veya kullanabilen AKE'si yüksek bitki çeşitlerinin kullanımı yer almaktadır (Chen et al., 2014). Fenolojik evreler, toprak ve bitki türü dikkate alınarak, N gübrelemesinin zamanlaması, dozları ve stratejileri değiştirilerek, büyüme mevsimi boyunca N arzı ile mahsulün N talebi daha iyi senkronize edilebilir (Chen et al., 2014). Geliştirilmiş AKE'ye sahip çeşitler, klasik ıslahın yanı sıra biyoteknolojik yöntemler kullanılarak da elde edilebilir. Dahası N beslenmesinin biyolojisinin daha iyi anlaşılması, genetik yöntemlerle AKE'nin iyileştirilmesi için bir anahtardır (Lebedev et al., 2021). Bu nedenle bu derlemede bitkilerde

N metabolizmasından ve metabolizmalara yönelik genetik mühendisliği çalışmalarından bahsedilmiştir.

Bitkilerde Azot Metabolizması ve Genetik Mühendisliği

N formunun AKE'yi etkileyebileceği bilinmektedir (Andrews et al., 2013). Bitkiler, başta suda çözünen inorganik nitratlar (NO_3^-) ve amonyum (NH_4^+) olmak üzere, amino asitler, peptitler ve proteinler gibi organik olanları da içeren çeşitli N formlarını kullanabilir. Topraktaki N mevcudiyeti büyük ölçüde yağış, sıcaklık, toprak tipi ve pH gibi faktörlere bağlı olabilir (Masclaux-Daubresse et al., 2010). Bitki toprak çözeltilisindeki NO_3^- konsantrasyonu (1-5 mM) NH_4^+ konsantrasyonundan (20-200 μM) daha yüksek olmakla birlikte, NO_3^- iyonları daha hareketlidir ve bu nedenle bitki kökleri tarafından daha kolay kullanılabilir (Miller et al., 2005). NO_3^- aerobik (ekili) topraklarda inorganik N'nin ana formuyken, NH_4^+ su altında kalmış ve asidik topraklarda N'nin ana formudur (Xu et al., 2012).

Bitkiler NO_3^- almak için hem yüksek afiniteli hem de düşük afiniteli taşıyıcıları kullanır. Bitkilerde N alımıyla ilişkili çok sayıda gen bulunmaktadır. Bitki kökleri tarafından NO_3^- alımı, en az dört farklı taşıma sistemini içeren karmaşık bir süreç içermektedir: (a) yapısal yüksek afiniteli taşıyıcılar (cHATS); (b) nitrata bağlı yüksek afiniteli taşıyıcılar (iHATS); (c) yapısal düşük afiniteli taşıyıcılar (cLATS); ve (d) nitrata bağlı düşük afiniteli taşıyıcılar (iLATS) (O'Brien et al., 2016). Bitkilerde, nitrat taşıyıcıları üreten iki gen ailesi tanımlanmıştır: NRT1 ve NRT2. NRT 2 ailesi yüksek afiniteli alım sistemine taşıyıcıları kodlarken, NRT 1 ailesi çift afiniteli veya düşük afiniteli nitrat taşıyıcılarını içeren daha karmaşıktır (You et al., 2022; Javed et al., 2022). Nitratin aksine, bitkiler genellikle aşırı miktarda amonyum iyonu almamaktadır (Javed et al., 2022). NH_4^+ 'ün alımına amonyum taşıyıcıları (AMT'ler) aracılık eder (Hao et al., 2020). Diğer taraftan, bitkiler çeşitli organik azot formlarını absorbe edebilmelerine rağmen, ana çalışmalar amino asitlere odaklanmaktadır. Amino asit taşıyıcıları günümüzde üç büyük aileye ayrılmıştır: ATF veya AAAP (sekiz alt aileyi içeren amino asit taşıyıcı ailesi), APC (üç alt aileyi içeren amino asit-poliamin-kolin taşıyıcı ailesi) ve yeni tanımlanan UMAMIT (genellikle çoklu asitlerin içeri ve dışarı taşındığı taşıyıcılar) ailesi (Yang et al., 2020). En iyi çalışılmış amino asit taşıyıcıları ATF ailesinin amino asit permeaz alt ailesidir (AAP).

Bitkilerde azot alımının taşıyıcılarını tespit etmek için daha fazla çalışma yapılmış olup, azot taşıyıcı genlerin aşırı ifadesinin köklerin topraktan azot alım etkinliğini artıracak şekilde düşünülmektedir (Javed et al., 2022). Genetik mühendisliği yöntemleriyle biyokütle ve bitki azot durumunu test etmek için azot alımı ile ilgili kritik aday genler aşırı ifade edilmiştir (Tablo 1). Çeltikte OsNRT2.1 geni ubiquitin- (pUbi) ve OsNAR2.1 promotörleri ile aktarılmıştır. Her bir promotör altındaki OsNRT2.1 gen ifadesi, tarla şartlarında biyokütle ve verimi önemli ölçüde artırmıştır. Yine AKE, pUbi'li bitkilerde önemli ölçüde azalırken; NAR2.1 promotörü olan bitkilerde önemli ölçüde artmıştır (Chen et al., 2016). Yine çeltikte nitrat taşıyıcı proteinlerin izoformlarından olan OsNRT2.3b geninin aşırı ifadesinin tane verimini ve AKE artırdığı belirlenmiştir (Fan et al., 2016). Diğer taraftan, çeltikte yapılan bir çalışmada bitkiler, düşük (30 μM), optimum (300 μM) ve yüksek (3000 μM) NH_4^+

seviyelerinde hidroponik koşullarda yetiştirilmiş, bu bitkilerin verimleri kontrole göre düşük ve optimum NH_4^+ seviyelerinde OsAMT1;1 genini aşırı ifade seviyesi sırasıyla %30'dan fazla ve %20 artış göstermiştir. Yine çeltikte peptit taşıyıcı geni olan OsPTR9 geninin (OsNPF8.20) aşırı ifadesinin tarla şartlarında biyokütle ve ürün verimini artırdığı belirlenmiştir (Fan et al., 2016). Diğer taraftan, amino asit taşıyıcısı olan AAP1 geninin aşırı ekspresyonunun etkisi baklagillerde daha yoğun bir şekilde çalışılmıştır. Özellikle, baklagillerin tohuma özgü bir promotörü olan LeB4'ün kontrolü altında *Vicia faba*'dan bir VfAAP1 geni *Pisum sativum* ve *Vicia narbonensis*'e aktarılmıştır. Serada yetiştirilen transgenik bitkilerde, tohum verimi ve toplam serbest amino asit içeriği değişmediği, ancak Asn, Asp, Gln ve Glu'nun içeriği ile tohum protein içeriği, tohum boyutu ve vejetatif biyokütlenin arttığı belirlenmiştir (Rolletschek et al., 2005).

Tablo 1. AKE'yi artırmak için N alım genlerinin manipülasyonu (Lebedev et al., 2021)

Gen Adı	Gen Kaynağı/Ürün	Promotör	Teknoloji	N Koşulu/Seviye	AKE Tipi	Kaynak
Nitrat Taşıyıcıları						
<i>NRT2.1</i>	Çeltik	CaMV 35S	Overekspresyon	2×2 N	AKE	Katayama et al., 2009
<i>NAR2.1</i>	Çeltik	-	RNAi	3 N	AKE	Yan et al., 2011
<i>NRT1.1B</i>	Çeltik	CaMV 35S NRT1.1b	Overekspresyon	3 NO_3 2 NO_3	AKE	Hu et al., 2015
<i>NRT2.3</i>	Domates	CaMV 35S	Overekspresyon	3 NO_3	-	Fu et al., 2015
<i>NRT2.3a</i> / <i>NRT2.3b</i>	Çeltik	CaMV 35S Ubiquitin	Overekspresyon	2 N 4 üre	AKE	Fan et al., 2016a
<i>NRT1.1a</i> / <i>NRT1.1b</i>	Çeltik	Ubiquitin	Overekspresyon	6 N	-	Fan et al., 2016b
<i>NRT2.1</i>	Çeltik	Ubiquitin	Overekspresyon	3 üre	ANUE PNUE	Chen et al., 2016
<i>NAR2.1</i>	Çeltik	NAR2.1	Overekspresyon	3 N	ANUE PNUE	Chen et al., 2017
<i>NPF1.11</i>	Patates	CaMV35S	Overekspresyon	1 N	-	Klaassen et al., 2020
Amonyum Taşıyıcıları						
<i>AMT1.1</i>	Çeltik	Ubiquitin	Overekspresyon	2 NH_4	-	Kumar et al., 2016
<i>AMT1-1</i>	Çeltik	Ubiquitin	Overekspresyon	3 N	-	Hogue et al., 2006

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

AMT1;1	Çeltik	Ubiquitin	Overekspresyon	6 NH ₄	-	Ranathunge et al., 2014
AMT1-3	Çeltik	CaMV 35S	Overekspresyon	4NH ₄ NO ₃ 4 N	-	Bao et al., 2015
AMT1;1a	Mısır	Ubi-1	Overekspresyon	2 NH ₄	-	Zhao et al., 2015

Bitkilerde AKE'ye yönelik transgenik yaklaşımlardan biri de azot özümlemesine yöneliktir (Tablo 2). Bitki tarafından emilen nitrat, NH₄⁺'a indirgenir. İlk olarak, NO₃⁻ nitrat redüktaz (NR) tarafından NO₂⁻'ye dönüştürülür. Bu dönüşüm, kök ve sürgün hücrelerinin sitozolünde gerçekleşir ve çoğu bitki türü NADH'yi indirgeyici olarak kullanır. İkinci aşama plastidlerde/kloroplastlarda gerçekleşir. Burada, NO₂⁻ nitrit redüktaz (NiR) tarafından NH₄⁺'a indirgenir ve ferredoksin (Fd) indirgeyici olarak kullanılır (Andrews et al., 2013).

NR genlerinin aşırı ifadesi çoğunlukla AKE'ni artırmaktan ziyade NO₃⁻ içeriğini azaltmak için kullanılmıştır. Sera koşullarında, tütün NR genine sahip transgenik patates bitkilerinin yumrularındaki NO₃⁻ içeriğinde, besin solüsyonundaki içeriğe bağlı olarak %90-98 oranında azalma olduğu aynı zamanda hem toplam hem de yumrulara biyokütle birikiminde bir artış olduğu belirlenmiştir (Djennane et al., 2004). Buğdayda NR genin aşırı ifadesinin transgenik bitkilerin tane protein içeriğinde ve 1000 tane ağırlığında önemli bir artışa neden olduğu belirlenmiştir (Zhao et al., 2013). Diğer taraftan, NiR genleriyle ilgili çok daha az çalışma bulunmaktadır. CERV promotörünün kontrolü altındaki Arabidopsis NiR genine sahip transgenik tütün bitkileri yapraklardaki kalıntı nitrit seviyesini azaltmak aşırı ifade edilmiştir (Davenport et al., 2015).

Tablo 2. AKE'yi artırmak için N asimilasyon genlerinin manipülasyonu (Lebedev et al., 2021)

Gen Adı	Gen Kaynağı/Ürün	Promotör	Teknoloji	N Koşulu/Seviye	AKE Tipi	Kaynak
Nitrit ve Nitrat Redüktaz						
<i>Nia</i>	Tütün/Lahana	CaMV 35S	Overekspresyon	n.d	-	Curtis et al., 1999
<i>Nia2</i>	Tütün/Patates	CaMV 35S	Overekspresyon	1 NO ₃	-	Djennane et al., 2004
<i>Nia2</i>	Tütün/Lahana	CaMV 35S	Overekspresyon	3 NO ₃	-	Dubois et al., 2005
<i>Nia</i>	Tütün/Buğday	CaMV 35S	Overekspresyon	1 NO ₃	-	Zhao et al., 2018
<i>NiR</i>	Arabidopsis/Tütün	CERV	Overekspresyon	2 NO ₃	-	Davenport et al., 2015
<i>ICDH</i>	Tütün	CaMV 35S	Overekspresyon	n.d	-	Lu et al., 2016

NR2	Çeltik	NR2 Ubi	Overekspresyon RNAi	1 NO ₃	AKE	Gao et al., 2019
Nia2	Tütün	CaMV 35S	Overekspresyon	2 NO ₃ 2 N		Lu et al., 2021
Glutamin Sentetaz						
GS15	Soya Fasulyesi/ <i>Lotus corniculatus</i>	CaMV 35S	Overekspresyon	2 NH ₄	-	Vincet et al., 1997
GS15	Soya Fasulyesi/ <i>Lotus japonicus</i>	rolD	Overekspresyon	1 NO ₃	-	Limami et al., 1999
GS1	Soya Fasulyesi/ Buğday	rbcS	Overekspresyon	n.d	-	Habash et al., 2001
GS	<i>Lotus japonicus</i>	LBC3	Antisense	2 N	-	Harrison et al., 2003
GS15	Soya Fasulyesi/ Bezelye	CaMV 35S	Overekspresyon	4 NO ₃	-	Fei et al., 2003
GS1	Yonca/Lotus <i>japonicus</i>	CaMV 35S	Overekspresyon	2 N	-	Ortega et al., 2004
GS1;2	Çeltik	ubiquitin	Overekspresyon	3 N	AKE	Brauer et al., 2011
GS1;1	Çeltik	CaMV 35S	Overekspresyon	4 NH ₄ NO ₃	-	Bao et al., 2014
Gln1	Sorgum	Ubiquitin	Overekspresyon	2 N	-	Urriola et al., 2015
GS2	Çin Lahanası	CaMV 35S	Overekspresyon	7 N	-	Sun et al., 2015
GS2	Buğday	-	Overekspresyon	2 Üre	-	Hu et al., 2018
GS1-1	Arpa	GS1-1	Overekspresyon	3NH ₄ NO ₃	AKE	Gao et al., 2019
Glutamat Sentaz						
NADH-GOGAT	Çeltik	NADH-GOGAT	Overekspresyon	n.d	-	Yamaya et al., 2002
AMT1;2/ GOGAT 1	Çeltik	NA	T-DNA	1 N	AKE	Lee et al., 2020
NADH-GOGAT	Buğday/Mısır	actin1	Overekspresyon	1 NH ₄ + NO ₃	-	Canas et al., 2020
GOGAT + IDH	Sorgum	CsVMV	Overekspresyon	-		
Glutamat Dehidrojenaz						
GDH	<i>E. coli</i> /Mısır	ubiquitin	Overekspresyon	3 NH ₄ NO ₃	-	Lightfoot et al., 2007

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

GDH	<i>A. niger</i> / Çeltik	CaMV 35S	Overekspresyo n	2 NH ₄ 1 N		Abiko et al., 2007
GDH	<i>A. nidulans</i> /Patates	CaMV 35S	Overekspresyo n	2 N	AKE	Egami et al., 2012
GDH	<i>S. sclerotiorum</i> / Çeltik	ubiquiti n	Overekspresyo n	3 NH ₄ NO ₃		Du et al., 2014
GDH	<i>P. cystidiosus</i> / Çeltik	ubiquiti n	Overekspresyo n	3 NH ₄ 3 üre	-	Zhou et al., 2014
GDH	Trichurus	ubiquiti n	Overekspresyo n	3 NH ₄ 3 üre	-	Du et al., 2018

Yüksek bitkilerde, nitratlardan indirgenmiş, doğrudan topraktan emilmiş, fotorespirasyon ve diğer süreçlerde salınmış ve N₂ fiksasyonu ile elde edilmiş tüm amonyum, glutamin sentaz/glutamat sentaz (GS/GOGAT) döngüsü tarafından katalize edilen reaksiyonlar yoluyla amino asitlere asimile edilir. Glutamin sentaz (GS; EC 6.3.1.2), amonyum ve glutamat (Glu)'dan glutaminin (Gln) ATP'ye bağlı sentezini katalize eder. Bilinen iki GS izoformu vardır: sitozolik (GS1) ve plastid (GS2) olanlar. Sitosolik izoformlar küçük bir gen ailesi tarafından kodlanır ve esas olarak çeşitli organların vasküler elemanlarında bulunur. Yaprak senesensi gibi belirli gelişim aşamalarında amonyum geri dönüşümünde ve taşıma için Gln sentezinde rol oynarlar (Lebedev et al., 2021).

Gln ve Glu, diğer amino asitler, nükleik asit bazları, poliaminler ve klorofiller dahil olmak üzere bitkilerde temel N bileşiklerinin biyosentezi için N donörleridir ve bu nedenle, bu enzimler N metabolizmasında önemli bir rol oynar ve AKE artırılması için kullanılır (Cantón et al., 2005) (Tablo 3). Farklı kombinasyonlara sahip promotörler (RoID, CaMV 35S ve Rubisco alt birimi) ile GS1 genlerinin aşırı ekspresyonunun, bitki biyokütlesi ve tane verimini artırdığı bildirilmiştir (Yanagisawa et al., 2004). Diğer taraftan NADH-GOGAT'ın aşırı ekspresyonu, transgenik çeltikte tane verimini artırmıştır (Garnett et al., 2015).

N remobilizasyonu ve translokasyonunda yer alan genler AKE'yi artırmak için ıslahçılar tarafından ele alınmış ve bu genlerde manipülasyon çalışmaları yürütülmüştür (Tablo 3). Asparagin, bitkilerde N'nin uzun mesafeli taşınması için en önemli amino asitlerden biridir; diğer amino asitlere göre daha yüksek bir N:C oranına ve daha iyi bir stabiliteye, çözünürlüğe ve hareketliliğe sahiptir (Luo et al., 2019). Lam et al., (2003) Arabidopsis'te ASN1 geninin aşırı ifade edilmesinin, N-sınırlayıcı ortamda daha iyi büyüme ile toplam protein içeriği ve çözünür tohum protein içeriğini artırdığını göstermiştir. Diğer taraftan, Alanin, N metabolizmasında anahtar amino asit olarak nadiren görülse de, belirli stresler (örn. hipoksi) altında ana depolama amino asidi olabilir ve N depolamasında önemli bir rol oynayabilir (Good ve Muench, 1993). Bu nedenle, glutamat ve piruvatın alanin ve 2-oksoglutarat'a geri dönüşümlü dönüşümünü katalize eden bir enzim olan alanin aminotransferazın (AlaAT) [EC 2.6.1.2] aşırı ekspresyonu AKE'yi artırma girişimleri yapılmıştır (McAllister et al., 2013). Çeltikte AlaAt geninin aşırı ifadesi transgenik çeltikte azot kullanım etkinliğini artırmıştır (Beatty et al., 2023).

Tablo 3. N remobilizasyon ve translokasyon genlerinin manipülasyonu (Lebedev et al., 2021)

Gen Adı	Gen Kaynağı/Ürün	Promotör	Teknoloji	N Koşulu/Seviye	AKE Tipi	Kaynak
Asparajin Sentetaz						
<i>asnA</i>	<i>E. coli</i> / <i>Lotus corniculatus</i>	rbcS	Overekspresyon	n.d.	-	Bellucci et al., 2004
<i>asnA</i>	<i>E. coli</i> / <i>Oilseed rape</i>	CaMV 35S	Overekspresyon	2 NO ₃	-	Seiffert et al., 2004
<i>asnA</i>	<i>E. coli</i> /Marul	MAC	Overekspresyon	1 NH ₄ + NO ₃	-	Giannino et al., 2007
<i>asnA</i>	<i>E. coli</i> /Domates	Pcpea	Overekspresyon	2 NH ₄ + NO ₃	-	Martinez-Andujar et al., 2013
<i>ASN1</i>	Çeltik	NA	CRISPR/Cas9	2 NH ₄	-	Luo et al., 2018
<i>ASN1</i>	Çeltik	Ubiquitin	Overekspresyon	1 N	-	Lee et al., 2020
Alanin Aminotransferaz						
<i>AlaAT</i>	Arpa/Kanola	btg26/ CaMV 35S	Overekspresyon	1 NH ₄ NO ₃	-	Goog et al., 2007
<i>AlaAT</i>	Arpa/Çeltik	Ant1	Overekspresyon	3 NH ₄	AKtE	Beatty et al., 2013
<i>AlaAT</i>	Arpa/Buğday-Sorgum	Ant1 UBI4	Overekspresyon	2 NO ₃ 2 N	-	Pena et al., 2017
<i>AlaAT</i>	Biber/Çeltik	Ant1	Overekspresyon	3 N	AKtE	Sisharmini et al., 2019
Aspartat Aminotransferaz						
<i>AAT1</i> , <i>AAT2</i> , <i>AAT3</i>	Çeltik	CaMV 35S	Overekspresyon	1 N	-	Zhou et al., 2009
<i>AAT</i>	<i>E. coli</i> /Çeltik	CaMV 35S	Overekspresyon	n.d.	-	
<i>AAT</i>	Yonca/Kanola	btg26	Overekspresyon	1 N 2 üre	-	McAllister et al., 2016
Amino Asit Taşıyıcıları						
<i>AAP1</i>	Patates	CaMV 35S	Overekspresyon Antisense	n.d.	-	Koch et al., 2003
<i>AAP1</i>	<i>Vicia faba</i> / <i>Vicia narbonensis</i>	LeB4	-	1 NH ₄ + NO ₃	-	Rolletschek et al., 2005
<i>AAP1</i>	<i>Vicia faba</i> /Bezelye	LeB4	Overekspresyon	n.d.	-	Weigelt et al., 2008
<i>MMP1</i>	Maya/Bezelye	AAP1	Overekspresyon	1 N	-	Tan et al., 2010

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

<i>AAP6a</i>	Çeltik	CaMV 35S	Overekspresyon/ RNAi	n.d.	-	Peng et al., 2014
<i>AAP1</i>	Bezelye	AAP	Overekspresyon	1 N	-	Zhang et al., 2015
<i>AAP3</i>	Çeltik	CaMV 35S	Overekspresyon/ CRISPR/Cas9	5 NH ₄ NO ₃	-	Lu et al., 2018
<i>LHT1</i>	Çeltik	NA	CRISPR/Cas9	1 N	AKtE	Guo et al., 2020

Azot Kullanım Etkinliği ve Transkripsiyon Faktörleri

Transkripsiyon faktörleri (TF'ler), hedef genlerin promotör bölgesiyle etkileşime giren ve gen ifadesini düzenleyen diziye özgü DNA bağlayıcı proteinlerdir. TF'ler, DNA bağlayıcı alanlara ve diğer korunan özelliklere göre farklı gen ailelerine sınıflandırılabilir. Aynı aileden gelen TF'ler, çok farklı bitki türleri arasında bile genellikle benzer fizyolojik işlevleri düzenler. Bitki hücreesindeki çoğu biyolojik sürecin düzenlenmesi bir veya daha fazla TF ailesine bağlanabilir (Century et al., 2008). Yapılan çalışmalar, bir dizi genin N alımını ve asimilasyonunu düzenlediğini ve bunlardan bazılarının tarımsal bitkilerde AKE'ni iyileştirmek için kullanıldığını göstermiştir (Tablo 4).

Tablo 4. AKE'yi artırmak için transkripsiyon faktörlerinin manipülasyonu (Lebedev et al., 2021)

Gen Adı	Gen Kaynağı/Ürün	Promotör	Teknoloji	N Koşulu/Seviye	AKE Tipi	Kaynak
<i>CPK12</i>	Çeltik	NA	Overekspresyon	2 NH ₄ NO ₃	-	Asano et al., 2010
<i>Dof1</i>	Mısır/Çeltik	Ubi-1	Overekspresyon	6 N	-	Kurai et al., 2011
<i>NAC2-5A</i>	Buğday	Ubiquitin	Overekspresyon	2 NO ₃	-	He et al., 2015
<i>NAC-5</i>	Buğday	Ubiquitin	Overekspresyon	n.d	-	Zhao et al., 2015
<i>Dof1</i>	Mısır/ Buğday- Sorgum	UBI4 rbcS1	Overekspresyon	2 NO ₃	AKE	Peña et al., 2017
<i>ESL4</i>	Çeltik	NA	-	4 N	AKE	Xing et al., 2018
<i>GRF4</i>	Çeltik/ Çeltik-Buğday	actin GRF4 CaMV 35S	Overekspresyon RNAi	4 NH ₄ NO ₃	-	Li et al., 2018
<i>nac7</i>	Mısır	Ubiquitin	RNAi	1 NO ₃	-	Zhang et al., 2019
<i>ZIP60 GOGAT</i>	Buğday	Ubiquitin	Overekspresyon RNAi	-	-	Yang et al., 2019
<i>NLP4</i>	Çeltik	actin	Overekspresyon CRISPR/Cas9	3 NO ₃ + NH ₄ 3 Üre	-	Wu et al., 2021

Kalsiyum bağımlı protein kinazlar (CPK'lar) kalsiyum sensörleri olarak görev yapar ve N metabolizması dahil olmak üzere çeşitli biyolojik süreçlerde yer alır. OsCPK12 geninin aşırı ekspresyonu, düşük N hidroponik koşullar altında çeltik bitkilerinin biyokütlesinde önemli bir artışa neden olmuştur (Asano et al., 2010).

NAC süper ailesi, en büyük bitkiye özgü TF ailelerinden biridir. He et al., (2005) N taşıma ve N asimilasyon genlerindeki promotör bölgelerine bağlanabilen buğday nitrat kaynaklı TF TaNAC2-5A'yı izole etmişler ve TaNAC2-5A genini aşırı ifade eden buğday bitkilerinin, düşük N uygulaması altında tarlada verimi ve tane N içeriğinin önemli ölçüde yüksek olduğunu belirlemişlerdir.

Mısır çinko parmak proteini Dof1, bitkilere özgü Dof TF ailesine aittir ve amino asit sentezi için gerekli karbon iskeleti üretiminde yer alan koordineli gen ifadesinde önemli bir düzenleyicidir (Yanagisawa et al., 2004). ZmDof1 geninin pUbi altında çeltiğe aktarılması, N-yeterli koşullar altında biyokütlede hiçbir değişiklik olmaksızın N-eksik hidroponik koşullar altında bitki biyokütlesinde büyük bir artışa yol açtığı belirlenmiştir (Kurai et al., 2010).

SONUÇ

Artan küresel nüfus ve artan gıda talebi, tarımsal üretimin sürdürülebilirliği ve verimliliği konusunda yeni stratejiler geliştirmeyi zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, AKE'yi artırmak, çevresel etkileri azaltırken tarımsal verimliliği artırmanın anahtar yollarından biridir. Genetik mühendislik ve biyoteknolojik yaklaşımlar, bitkilerin N alımını ve kullanımını optimize ederek bu hedeflere ulaşmayı vaat etmektedir. Genetik olarak modifiye edilmiş bitki çeşitleri, geliştirilmiş N alım ve asimilasyon kapasiteleri sayesinde daha az gübre ile daha yüksek verim elde etme potansiyeline sahiptir. Ayrıca, N metabolizmasını düzenleyen genlerin manipülasyonu, bitkilerin azotu daha verimli kullanmalarını sağlayarak tarımsal girdilerin maliyetini düşürür ve çevresel zararları azaltır. Bu yaklaşımların geniş çapta benimsenmesi, gelecekteki tarımsal uygulamaları dönüştürebilir ve küresel gıda güvenliğine önemli katkılarda bulunabilir. Böylece, bitkilerde AKE'nin artırılması hem ekonomik hem de ekolojik açıdan sürdürülebilir bir tarımın temel taşlarından biri haline gelmektedir.

REFERANSLAR

- Abiko, T., Wakayama, M., Kawakami, A., Obara, M., Kisaka, H., Miwa, T., ... & Ohsugi, R. (2010). Changes in nitrogen assimilation, metabolism, and growth in transgenic rice plants expressing a fungal NADP (H)-dependent glutamate dehydrogenase (gdhA). *Planta*, 232, 299-311.
- Andrews, M., Raven, J. A., & Lea, P. J. (2013). Do plants need nitrate? The mechanisms by which nitrogen form affects plants. *Annals of Applied Biology*, 163(2), 174-199.
- Asano, T., Wakayama, M., Aoki, N., Komatsu, S., Ichikawa, H., Hirochika, H., & Ohsugi, R. (2010). Overexpression of a calcium-dependent protein kinase gene enhances growth of rice under low-nitrogen conditions. *Plant biotechnology*, 27(4), 369-373.

- Bao, A., Liang, Z., Zhao, Z., & Cai, H. (2015). Overexpressing of OsAMT1-3, a high affinity ammonium transporter gene, modifies rice growth and carbon-nitrogen metabolic status. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(5), 9037-9063.
- Bao, A., Zhao, Z., Ding, G., Shi, L., Xu, F., & Cai, H. (2014). Accumulated expression level of cytosolic glutamine synthetase 1 gene (OsGS1; 1 or OsGS1; 2) alter plant development and the carbon-nitrogen metabolic status in rice. *PLoS One*, 9(4), e95581.
- Beatty, P. H., Carroll, R. T., Shrawat, A. K., Guevara, D., & Good, A. G. (2013). Physiological analysis of nitrogen-efficient rice overexpressing alanine aminotransferase under different N regimes. *Botany*, 91(12), 866-883.
- Bellucci, M., Ederli, L., De Marchis, F., Pasqualini, S., & Arcioni, S. (2004). Transformation of *Lotus corniculatus* plants with *Escherichia coli* asparagine synthetase A: effect on nitrogen assimilation and plant development. *Plant cell, tissue and organ culture*, 78, 139-150.
- Brauer, E. K., & Shelp, B. J. (2010). Nitrogen use efficiency: Re-consideration of the bioengineering approach. *Botany*, 88(2), 103-109.
- Brauer, E. K., Rochon, A., Bi, Y. M., Bozzo, G. G., Rothstein, S. J., & Shelp, B. J. (2011). Reappraisal of nitrogen use efficiency in rice overexpressing glutamine synthetase1. *Physiologia plantarum*, 141(4), 361-372.
- Cañas, R. A., Yesbergenova-Cuny, Z., Belanger, L., Rouster, J., Brulé, L., Gilard, F., ... & Hirel, B. (2020). NADH-GOGAT overexpression does not improve maize (*Zea mays* L.) performance even when pyramiding with NAD-IDH, GDH and GS. *Plants*, 9(2), 130.
- Cantón, F. R., Suárez, M. F., & Cánovas, F. M. (2005). Molecular aspects of nitrogen mobilisation and recycling in trees. *Photosynthesis Research*, 83(2), 265-278.
- Century, K. S., Reuber, T. L., & Ratcliffe, O. J. (2008). Regulating the regulators: The future prospects for transcription-factor-based agricultural biotechnology products. *Plant Physiology*, 147(1), 20-29.
- Chen, J., Fan, X., Qian, K., Zhang, Y., Song, M., Liu, Y., ... & Fan, X. (2017). pOsNAR 2.1: Os NAR 2.1 expression enhances nitrogen uptake efficiency and grain yield in transgenic rice plants. *Plant Biotechnology Journal*, 15(10), 1273-1283.
- Chen, J., Zhang, Y., Tan, Y., Zhang, M., Zhu, L., Xu, G., & Fan, X. (2016). Agronomic nitrogen-use efficiency of rice can be increased by driving Os NRT 2.1 expression with the Os NAR 2.1 promoter. *Plant Biotechnology Journal*, 14(8), 1705-1715.
- Chen, X. P., Cui, Z. L., Fan, M. S., Vitousek, P., Zhao, M., Ma, W. Q., ... & Zhang, F. S. (2014). Producing more grain with lower environmental costs. *Nature*, 514(7523), 486-489. <https://doi.org/10.1038/nature13609>
- Congreves, K. A., Otchere, O., Ferland, D., Farzadfar, S., Williams, S., & Arcand, M. M. (2021). Nitrogen use efficiency definitions of today and tomorrow. *Frontiers in Plant Science*, 12, 637108.

- Curtis, I. S., Power, J. B., De Laat, A. M. M., Caboche, M., & Davey, M. R. (1999). Expression of a chimeric nitrate reductase gene in transgenic lettuce reduces nitrate in leaves. *Plant Cell Reports*, *18*, 889-896.
- Davenport, S., Le Lay, P., & Sanchez-Tamburrino, J. P. (2015). Nitrate metabolism in tobacco leaves overexpressing Arabidopsis nitrite reductase. *Plant physiology and biochemistry*, *97*, 96-107.
- Djennane, S., Quilleré, I., Leydecker, M. T., Meyer, C., & Chauvin, J. E. (2004). Expression of a deregulated tobacco nitrate reductase gene in potato increases biomass production and decreases nitrate concentration in all organs. *Planta*, *219*, 884-893.
- Du, C., Lin, J., Yang, Y., Liu, H., Li, C., Zhou, Y., ... & Liu, X. (2014). Molecular cloning, characterization and function analysis of a GDH gene from *Sclerotinia sclerotiorum* in rice. *Molecular biology reports*, *41*, 3683-3693.
- Dubois, V., Botton, E., Meyer, C., Rieu, A., Bedu, M., Maisonneuve, B., & Mazier, M. (2005). Systematic silencing of a tobacco nitrate reductase transgene in lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of experimental botany*, *56*(419), 2379-2388.
- Egami, T., Wakayama, M., Aoki, N., Sasaki, H., Kisaka, H., Miwa, T., & Ohsugi, R. (2012). The effects of introduction of a fungal glutamate dehydrogenase gene (*gdhA*) on the photosynthetic rates, biomass, carbon and nitrogen contents in transgenic potato. *Plant Biotechnology*, *29*(1), 57-64.
- Fan, X., Feng, H., Tan, Y., Xu, Y., Miao, Q., & Xu, G. (2016). A putative 6-transmembrane nitrate transporter OsNRT1.1b plays a key role in rice under low nitrogen. *Journal of Integrative Plant Biology*, *58*(6), 590-599.
- Fan, X., Tang, Z., Tan, Y., Zhang, Y., Luo, B., Yang, M., ... & Xu, G. (2016a). Overexpression of a pH-sensitive nitrate transporter in rice increases crop yields. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *113*(26), 7118-7123.
- Fang, Z., Xia, K., Yang, X., Grotemeyer, M. S., Meier, S., Rentsch, D., Xu, X., & Zhang, M. (2013). Altered expression of the PTR/NRT1 homologue OsPTR9 affects nitrogen utilization efficiency, growth, and grain yield in rice. *Plant Biotechnology Journal*, *11*(4), 446-458. <https://doi.org/10.1111/pbi.12032>
- Fei, H., Chaillou, S., Hirel, B., Mahon, J. D., & Vessey, K. J. (2003). Overexpression of a soybean cytosolic glutamine synthetase gene linked to organ-specific promoters in pea plants grown in different concentrations of nitrate. *Planta*, *216*(3), 467-474.
- Fu, Y., Yi, H., Bao, J., & Gong, J. (2015). LeNRT2.3 functions in nitrate acquisition and long-distance transport in tomato. *FEBS letters*, *589*(10), 1072-1079.
- Gao, Y., de Bang, T. C., & Schjoerring, J. K. (2019). Cisgenic overexpression of cytosolic glutamine synthetase improves nitrogen utilization efficiency in barley and prevents grain protein decline under elevated CO₂. *Plant biotechnology journal*, *17*(7), 1209-1221.
- Gao, Z., Wang, Y., Chen, G., Zhang, A., Yang, S., Shang, L., ... & Qian, Q. (2019). The indica nitrate reductase gene OsNR2 allele enhances rice yield potential and nitrogen use efficiency. *Nature Communications*, *10*(1), 5207.

- Garnett, T., Plett, D., Heuer, S., & Okamoto, M. (2015). Genetic approaches to enhancing nitrogen-use efficiency (NUE) in cereals: Challenges and future directions. *Functional Plant Biology*, 42(10), 921-934. <https://doi.org/10.1071/FP15124>
- Giannino, D., Nicolodi, C., Testone, G., Frugis, G., Pace, E., Santamaria, P., ... & Mariotti, D. (2008). The overexpression of asparagine synthetase A from E. coli affects the nitrogen status in leaves of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and enhances vegetative growth. *Euphytica*, 162, 11-22.
- Good, A. G., & Muench, D. G. (1993). Long-term anaerobic metabolism in root tissue. *Plant Physiology*, 101(4), 1163-1168.
- Good, A. G., Johnson, S. J., De Pauw, M., Carroll, R. T., Savidov, N., Vidmar, J., ... & Stroehrer, V. (2007). Engineering nitrogen use efficiency with alanine aminotransferase. *Botany*, 85(3), 252-262.
- Good, A. G., Shrawat, A. K., & Muench, D. G. (2004). Can less yield more? Is reducing nutrient input into the environment compatible with maintaining crop production? *Trends in Plant Science*, 9(12), 597-605.
- Govindasamy, P., Muthusamy, S. K., Bagavathiannan, M., Mowrer, J., Jagannadham, P. T. K., Maity, A., ... & Tiwari, G. (2023). Nitrogen use efficiency—a key to enhance crop productivity under a changing climate. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1121073.
- Guo, N., Gu, M., Hu, J., Qu, H., & Xu, G. (2020). Rice OsLHT1 functions in leaf-to-panicle nitrogen allocation for grain yield and quality. *Frontiers in Plant Science*, 11, 562280.
- Habash, D. Z., Massiah, A. J., Rong, H. L., Wallsgrove, R. M., & Leigh, R. A. (2001). The role of cytosolic glutamine synthetase in wheat. *Annals of Applied Biology*, 138(1), 83-89.
- Hao, D. L., Zhou, J. Y., Yang, S. Y., Qi, W., & Yang, K. J. (2020). Function and regulation of ammonium transporters in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(10), 3557.
- Harrison, J., Pou de Crescenzo, M. A., Sené, O., & Hirel, B. (2003). Does lowering glutamine synthetase activity in nodules modify nitrogen metabolism and growth of *Lotus japonicus*?. *Plant physiology*, 133(1), 253-262.
- He, X., Qu, B., Li, W., Zhao, X., Teng, W., Ma, W., ... & Tong, Y. (2015). The nitrate-inducible NAC transcription factor TaNAC2-5A controls nitrate response and increases wheat yield. *Plant physiology*, 169(3), 1991-2005.
- Hoque, M. S., Masle, J., Udvardi, M. K., Ryan, P. R., & Upadhyaya, N. M. (2006). Overexpression of the rice OsAMT1-1 gene increases ammonium uptake and content, but impairs growth and development of plants under high ammonium nutrition. *Functional Plant Biology*, 33(2), 153-163.
- Hu, B., Wang, W., Ou, S., Tang, J., Li, H., Che, R., ... & Chu, C. (2015). Variation in NRT1.1B contributes to nitrate-use divergence between rice subspecies. *Nature Genetics*, 47(7), 834-838.

- Hu, M., Zhao, X., Liu, Q., Hong, X., Zhang, W., Zhang, Y., ... & Tong, Y. (2018). Transgenic expression of plastidic glutamine synthetase increases nitrogen uptake and yield in wheat. *Plant biotechnology journal*, 16(11), 1858-1867.
- Javed, T., Iqbal, I., Singhal, R. K., Shabbir, R., Shah, A. N., Kumar, P., ... & Siuta, D. (2022). Recent advances in agronomic and physio-molecular approaches for improving nitrogen use efficiency in crop plants. *Frontiers in Plant Science*, 13, 877544. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.877544>
- Katayama, H., Mori, M., Kawamura, Y., Tanaka, T., Mori, M., & Hasegawa, H. (2009). Production and characterization of transgenic rice plants carrying a high-affinity nitrate transporter gene (OsNRT2. 1). *Breeding Science*, 59(3), 237-243.
- Klaassen, M. T., Dees, D. C., Garrido, R. M., Báez, J. A., Schrijen, M., Mendoza, P. G. B., & Trindade, L. M. (2020). Overexpression of a putative nitrate transporter (StNPF1. 11) increases plant height, leaf chlorophyll content and tuber protein content of young potato plants. *Functional Plant Biology*, 47(5), 464-472.
- Koch, W., Kwart, M., Laubner, M., Heineke, D., Stransky, H., Frommer, W. B., & Tegeder, M. (2003). Reduced amino acid content in transgenic potato tubers due to antisense inhibition of the leaf H⁺/amino acid symporter StAAP1. *The Plant Journal*, 33(2), 211-220.
- Kumar, A., Kaiser, B. N., Siddiqi, M. Y., & Glass, A. D. (2006). Functional characterisation of OsAMT1. 1 overexpression lines of rice, *Oryza sativa*. *Functional plant biology*, 33(4), 339-346.
- Kurai, T., Wakayama, M., Abiko, T., Yanagisawa, S., Aoki, N., & Ohsugi, R. (2011). Introduction of the ZmDof1 gene into rice enhances carbon and nitrogen assimilation under low-nitrogen conditions. *Plant Biotechnology Journal*, 9(8), 826-837.
- Lam, H. M., Wong, P., Chan, H. K., Yam, K. M., Chen, L., Chow, C. M., & Coruzzi, G. M. (2003). Overexpression of the ASN1 gene enhances nitrogen status in seeds of *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 132(2), 926-935.
- Lebedev, V. G., Popova, A. A., & Shestibratov, K. A. (2021). Genetic engineering and genome editing for improving nitrogen use efficiency in plants. *Cells*, 10(12), 3303. <https://doi.org/10.3390/cells10123303>
- Lee, S., Marmagne, A., Park, J., Fabien, C., Yim, Y., Kim, S. J., ... & Nam, H. G. (2020). Concurrent activation of OsAMT1; 2 and OsGOGAT1 in rice leads to enhanced nitrogen use efficiency under nitrogen limitation. *The Plant Journal*, 103(1), 7-20.
- Lee, S., Park, J., Lee, J., Shin, D., Marmagne, A., Lim, P. O., ... & Nam, H. G. (2020). OsASN1 overexpression in rice increases grain protein content and yield under nitrogen-limiting conditions. *Plant and Cell Physiology*, 61(7), 1309-1320.
- Li, S., Tian, Y., Wu, K., Ye, Y., Yu, J., Zhang, J., ... & Fu, X. (2018). Modulating plant growth–metabolism coordination for sustainable agriculture. *Nature*, 560(7720), 595-600.

- Lightfoot, D. A., Mungur, R., Ameziane, R., Nolte, S., Long, L., Bernhard, K., ... & Young, B. (2007). Improved drought tolerance of transgenic Zea mays plants that express the glutamate dehydrogenase gene (gdhA) of E. coli. *Euphytica*, 156, 103-116.
- Limami, A., Phillipson, B., Ameziane, R., Pernollet, N., Jiang, Q., Roy, R., ... & Hirel, B. (1999). Does root glutamine synthetase control plant biomass production in Lotus japonicus L.?. *Planta*, 209, 495-502.
- Lu, J., Chandrakanth, N. N., Lewis, R. S., Andres, K., Bovet, L., Goepfert, S., & Dewey, R. E. (2021). Constitutive activation of nitrate reductase in tobacco alters flowering time and plant biomass. *Scientific Reports*, 11(1), 4222.
- Lu, J., Zhang, L., Lewis, R. S., Bovet, L., Goepfert, S., Jack, A. M., ... & Dewey, R. E. (2016). Expression of a constitutively active nitrate reductase variant in tobacco reduces tobacco-specific nitrosamine accumulation in cured leaves and cigarette smoke. *Plant biotechnology journal*, 14(7), 1500-1510.
- Lu, K., Wu, B., Wang, J., Zhu, W., Nie, H., Qian, J., ... & Fang, Z. (2018). Blocking amino acid transporter Os AAP 3 improves grain yield by promoting outgrowth buds and increasing tiller number in rice. *Plant Biotechnology Journal*, 16(10), 1710-1722.
- Luo, L., Qin, R., Liu, T., Yu, M., Yang, T., & Xu, G. (2018). OsASN1 plays a critical role in asparagine-dependent rice development. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(1), 130.
- Maathuis, F. J. (2009). Physiological functions of mineral macronutrients. *Current Opinion in Plant Biology*, 12(3), 250-258.
- Martínez-Andújar, C., Ghanem, M. E., Albacete, A., & Pérez-Alfocea, F. (2013). Response to nitrate/ammonium nutrition of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants overexpressing a prokaryotic NH₄⁺-dependent asparagine synthetase. *Journal of Plant Physiology*, 170(7), 676-687.
- Masclaux-Daubresse, C., Daniel-Vedele, F., Dechorgnat, J., Chardon, F., Gaufichon, L., & Suzuki, A. (2010). Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: Challenges for sustainable and productive agriculture. *Annals of Botany*, 105(7), 1141-1157.
- McAllister, C. H., Beatty, P. H., & Good, A. G. (2012). Engineering nitrogen use efficient crop plants: The current status. *Plant Biotechnology Journal*, 10(9), 1011-1025.
- McAllister, C. H., Facette, M., Holt, A., & Good, A. G. (2013). Analysis of the enzymatic properties of a broad family of alanine aminotransferases. *PLOS ONE*, 8(2), e55032.
- McAllister, C. H., Wolansky, M., & Good, A. G. (2016). The impact on nitrogen-efficient phenotypes when aspartate aminotransferase is expressed tissue-specifically in *Brassica napus*. *New negatives in plant science*, 3, 1-9.
- Miller, A. E., Schimel, J. P., Meixner, T., Sickman, J. O., & Melack, J. M. (2005). Episodic rewetting enhances carbon and nitrogen release from chaparral soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(12), 2195-2204.

- O'Brien, J. A., Vega, A., Bouguyon, E., Krouk, G., Gojon, A., Coruzzi, G., & Gutiérrez, R. A. (2016). Nitrate transport, sensing, and responses in plants. *Molecular Plant*, 9(6), 837-856.
- Ortega, J. L., Temple, S. J., Bagga, S., Ghoshroy, S., & Sengupta-Gopalan, C. (2004). Biochemical and molecular characterization of transgenic Lotus japonicus plants constitutively over-expressing a cytosolic glutamine synthetase gene. *Planta*, 219, 807-818.
- Peña, P. A., Quach, T., Sato, S., Ge, Z., Nersesian, N., Changa, T., ... & Clemente, T. E. (2017). Expression of the maize Dof1 transcription factor in wheat and sorghum. *Frontiers in Plant Science*, 8, 434.
- Peña, P. A., Quach, T., Sato, S., Ge, Z., Nersesian, N., Dweikat, I. M., ... & Clemente, T. (2017). Molecular and phenotypic characterization of transgenic wheat and sorghum events expressing the barley alanine aminotransferase. *Planta*, 246, 1097-1107.
- Peng, B., Kong, H., Li, Y., Wang, L., Zhong, M., Sun, L., ... & He, Y. (2014). OsAAP6 functions as an important regulator of grain protein content and nutritional quality in rice. *Nature communications*, 5(1), 4847.
- Ranathunge, K., El-Kereamy, A., Gidda, S., Bi, Y. M., & Rothstein, S. J. (2014). AMT1; 1 transgenic rice plants with enhanced NH₄⁺ permeability show superior growth and higher yield under optimal and suboptimal NH₄⁺ conditions. *Journal of experimental botany*, 65(4), 965-979.
- Rolletschek, H., Hosein, F., Miranda, M., Heim, U., Götz, K. P., Schlereth, A., ... & Weber, H. (2005). Ectopic expression of an amino acid transporter (VfAAP1) in seeds of Vicia narbonensis and pea increases storage proteins. *Plant Physiology*, 137(4), 1236-1249.
- Sandhu, N., Sethi, M., Kumar, A., Dang, D., Singh, J., & Chhuneja, P. (2021). Biochemical and genetic approaches improving nitrogen use efficiency in cereal crops: A review. *Frontiers in Plant Science*, 12, 657629.
- Seiffert, B., Zhou, Z., Wallbraun, M., Lohaus, G., & Möllers, C. (2004). Expression of a bacterial asparagine synthetase gene in oilseed rape (Brassica napus) and its effect on traits related to nitrogen efficiency. *Physiologia Plantarum*, 121(4), 656-665.
- Sisharmini, A., Apriana, A., Khumaida, N., Trijatmiko, K. R., & Purwoko, B. S. (2019). Expression of a cucumber alanine aminotransferase2 gene improves nitrogen use efficiency in transgenic rice. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 17(1), 9.
- Sun, F., Wang, Z., Mao, X., Zhang, C., Wang, D., Wang, X., & Hou, X. (2015). Overexpression of BcGS2 gene in non-heading Chinese cabbage (Brassica campestris) enhanced GS activity and total amino acid content in transgenic seedlings. *Scientia Horticulturae*, 186, 129-136.

- Tan, Q., Zhang, L., Grant, J., Cooper, P., & Tegeder, M. (2010). Increased phloem transport of S-methylmethionine positively affects sulfur and nitrogen metabolism and seed development in pea plants. *Plant Physiology*, 154(4), 1886-1896.
- Urriola, J., & Rathore, K. S. (2015). Overexpression of a glutamine synthetase gene affects growth and development in sorghum. *Transgenic Research*, 24, 397-407.
- Vincent, R., Fraiser, V., Chaillou, S., Limami, M. A., Deleens, E., Phillipson, B., ... & Hirel, B. (1997). Overexpression of a soybean gene encoding cytosolic glutamine synthetase in shoots of transgenic *Lotus corniculatus* L. plants triggers changes in ammonium assimilation and plant development. *Planta*, 201, 424-433.
- Weigelt, K., Küster, H., Radchuk, R., Müller, M., Weichert, H., Fait, A., ... & Weber, H. (2008). Increasing amino acid supply in pea embryos reveals specific interactions of N and C metabolism, and highlights the importance of mitochondrial metabolism. *The Plant Journal*, 55(6), 909-926.
- Wu, J., Zhang, Z. S., Xia, J. Q., Alfatih, A., Song, Y., Huang, Y. J., ... & Xiang, C. B. (2021). Rice NIN-LIKE PROTEIN 4 plays a pivotal role in nitrogen use efficiency. *Plant Biotechnology Journal*, 19(3), 448-461.
- Xing, Y., Guo, S., Chen, X., Du, D., Liu, M., Xiao, Y., ... & Wang, N. (2018). Nitrogen metabolism is affected in the nitrogen-deficient rice mutant *esl4* with a calcium-dependent protein kinase gene mutation. *Plant and Cell Physiology*, 59(12), 2512-2525.
- Xu, G., Fan, X., & Miller, A. J. (2012). Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annual Review of Plant Biology*, 63, 153-182.
- Yamaya, T., Obara, M., Nakajima, H., Sasaki, S., Hayakawa, T., & Sato, T. (2002). Genetic manipulation and quantitative-trait loci mapping for nitrogen recycling in rice. *Journal of experimental botany*, 53(370), 917-925.
- Yan, M., Fan, X., Feng, H., Miller, A. J., Shen, Q., & Xu, G. (2011). Rice OsNAR2. 1 interacts with OsNRT2. 1, OsNRT2. 2 and OsNRT2. 3a nitrate transporters to provide uptake over high and low concentration ranges. *Plant, Cell & Environment*, 34(8), 1360-1372.
- Yanagisawa, S., Akiyama, A., Kisaka, H., Uchimiya, H., & Miwa, T. (2004). Metabolic engineering with Dof1 transcription factor in plants: Improved nitrogen assimilation and growth under low-nitrogen conditions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(20), 7833-7838.
- Yang, G., Wei, Q., Huang, H., & Xia, J. (2020). Amino acid transporters in plant cells: A brief review. *Plants*, 9(8), 967.
- Yang, J., Wang, M., Li, W., He, X., Teng, W., Ma, W., ... & Tong, Y. (2019). Reducing expression of a nitrate-responsive bZIP transcription factor increases grain yield and N use in wheat. *Plant biotechnology journal*, 17(9), 1823-1833.
- You, L., Wang, Y., Zhang, T., Zhu, Y., Ren, N., Jiang, X., ... & Xie, K. (2022). Genomewide identification of nitrate transporter 2 (NRT2) gene family and functional analysis of MeNRT2.2 in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Gene*, 809, 146038.

- Zhang, J., Fengler, K. A., Van Hemert, J. L., Gupta, R., Mongar, N., Sun, J., ... & Shen, B. (2019). Identification and characterization of a novel stay-green QTL that increases yield in maize. *Plant biotechnology journal*, 17(12), 2272-2285.
- Zhang, L., Garneau, M. G., Majumdar, R., Grant, J., & Tegeder, M. (2015). Improvement of pea biomass and seed productivity by simultaneous increase of phloem and embryo loading with amino acids. *The Plant Journal*, 81(1), 134-146.
- Zhao, D., Derkx, A. P., Liu, D. C., Buchner, P., & Hawkesford, M. J. (2015). Overexpression of a NAC transcription factor delays leaf senescence and increases grain nitrogen concentration in wheat. *Plant Biology*, 17(4), 904-913.
- Zhao, X. Q., Nie, X. L., & Xiao, X. G. (2013). Over-expression of a tobacco nitrate reductase gene in wheat (*Triticum aestivum* L.) increases seed protein content and weight without augmenting nitrogen supplying. *PloS one*, 8(9), e74678.
- Zhao, Y., Liu, Z., Duan, F., An, X., Liu, X., Hao, D., ... & Yuan, L. (2018). Overexpression of the maize *ZmAMT1; 1a* gene enhances root ammonium uptake efficiency under low ammonium nutrition. *Plant biotec*
- Zhou, Y., Cai, H., Xiao, J., Li, X., Zhang, Q., & Lian, X. (2009). Over-expression of aspartate aminotransferase genes in rice resulted in altered nitrogen metabolism and increased amino acid content in seeds. *Theoretical and Applied Genetics*, 118, 1381-1390.
- Zhou, Y., Liu, H., Zhou, X., Yan, Y., Du, C., Li, Y., ... & Liu, X. (2014). Over-expression of a fungal NADP (H)-dependent glutamate dehydrogenase *Pc GDH* improves nitrogen assimilation and growth quality in rice. *Molecular breeding*, 34, 335-349.

TARIMSAL ÜRETİMDE AZOT YÖNETİM ARAÇLARI

Hayriye İBRİKÇİ^{1*}, Mahmut ÇETİN², Hande SAĞIR³

¹ Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Adana

² Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Adana

³ Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi Müdürlüğü (UTAEM), Menemen,
İzmir

*hayriyeibrikci@gmail.com

Özet

Azot (N) atmosferde oldukça fazla bulunan ve aynı zamanda bitkisel üretimi ve ürün kalitesini destekleyen bir besin elementidir. Azot toprakta birçok farklı formda bulunmakta olup, yalnız nitrat (NO₃) and amonyum (NH₄) formları bitkiler tarafından alınabilmektedir. Tüm dünyada, çiftçilerin fazla miktarlarda N'lu gübre kullanım alışkanlıkları olsa da, özellikle azotun nitrat formu toprak profili boyunca yıkanarak drenaj ve taban sularına karışmakta ve dolayısıyla insan sağlığı ve çevre kirlenmesi üzerinde ciddi riskler oluşturmaktadır. Bu nedenlerle, N yönetimi ve uygun yönetim araçlarının seçimi sürdürülebilir bitkisel üretim ve ürün kalitesi için önemlidir. Geleneksel N yönetiminin yanısıra, gübre kullanımını ve dozlarını kontrol eden modern ve güncel yönetim araçları vardır. "Mineral N" (Nmin) (NO₃-N + NH₄-N) analizleri, hızlı doku nitrat testleri, N-bütçesi hesaplamaları, modellerle tahminler, karar verme mekanizmaları ve yapay zeka yaklaşımları çiftçi ekonomisi ve çevre koruma açısından N yönetimini destekleyen modern tekniklerden bazılarıdır.

Anahtar Kelimeler: Azot yönetimi, azot yönetim araçları

NITROGEN MANAGEMENT TOOLS IN AGRICULTURAL PRODUCTION

Abstract

Nitrogen (N) is one of the common element in the atmosphere, and also the main plant nutrient supporting the plant growth, yield and quality. Even though nitrogen as a plant nutrient is found in different forms in soil, only nitrate (NO₃) and ammonium (NH₄) forms can be taken up by the plants. There is a habit of farmers using excessive amount of inorganic N fertilizers worldwide, however, especially the nitrate form can be leached down to deeper horizons of the soil profile and reaches to drainage and groundwater resources causing serious risks to human health and environmental pollution. Therefore, N management and selection of proper management tools are important for a sustainable crop production and yield quality. Besides conventional N management practices, there are recent and modern management techniques controlling the N fertilizer use and its rates. "Mineral N" (Nmin) (NO₃-N + NH₄-N) analysis, quick nitrate tissue tests, N-budget calculations, model predictions, decision-making mechanisms and artificial intelligence approaches are some of these modern practice tools to support N management for farmers' economy environmental protection.

Keywords: Nitrogen management, nitrogen management tools

GİRİŞ

Azot (N), atmosferde %78 oranında azot gazı (N₂) formunda bulunmakta olup, endüstriyel üretimde birçok ürünün ana bileşenini oluşturmaktadır. Azotun atmosferdeki gaz formu, toprak, su kaynakları, toprak organik maddesi ve mikroorganizmalarca bağlanmış N formları ile denge halini sürdürmekte olup, atmosferdeki bu rakamsal oran yıllar içerisinde değişmemektedir. Bitkisel üretimde ve bitki beslemede çok önemli bir girdi olan N'lu gübrelerin üretiminde de atmosferde bulunan N gazı tek kaynak olarak kullanılmaktadır. Azot, atmosferde yüksek oranda bulunmasına rağmen bitkilerce doğrudan kullanılamaması nedeniyle, gübre üretim potansiyeli en yüksek olan besin elementidir. Azotlu gübrelerin tarımsal üretimde çok fazla kullanılmalarına karşın, bitkilerde noksanlığı en çok görülen besin elementlerinden birisi yine azottur. Bu nedenle, sürdürülebilir tarımsal üretimde N'un organik veya inorganik formlarını kullanmak bir gelenek olarak yıllardır devam etmektedir. Günümüz modern tarımında, özellikle hibrit çeşitlerin yetiştirilmesiyle, ürün verimini ve kalitesini gübre kullanımı ile arttırmak hedeflenirken, aşırı N kullanımından kaçınmak da bir gereklilik haline gelmiştir. Öte yandan, son yıllarda öz kaynak ve gübre üretimindeki artışların güncel gübre fiyatlarına yansması, gübre kullanım potansiyelini hatta üretimini ve ithalatını sınırlandırmaktadır. Dolayısıyla, ekosistemde azotun varlığı, döngüsü ve dinamikleri; tarımsal üretimdeki yeri ve yönetimi, kullanım potansiyeli, farklı formlarının kayıpları, çevresel kirlenmeye etkileri, üretimdeki ve kullanımındaki ekonomik koşullar göz önünde bulundurulduğunda, N bütüncül olarak incelenmesi gereken bir besin elementi ve gübrelerin ana bileşeni olmuştur.

Toprakta azot yönetiminde, geleneksel olan toprak ve bitki analizlerine göre uygun ve yeterli gübre dozlarının oluşturulması; kalibrasyon çalışmalarının yapılmasının yanı sıra, pratik ve yaklaşımsal uygulamalar olan *toprak analizleri*, *hızlı doku testleri*, *N-bütçe çalışmaları*, *model yaklaşımları*, *karar verme mekanizmaları* ve *yapay zeka uygulamaları* güncel olarak kullanılabilir hale gelmiştir. Günümüzde Türkiye tarımı açısından, bölgesel ve bitkisel bazda azot yönetim stratejilerinin oluşturulması ekonomik, çevresel ve sosyal açıdan önemli olacaktır.

Çukurova yöresinde N yönetimine yönelik yapılan çalışmalar, bu derlemede örnekler verilerek gösterilmektedir. Bu kapsamda, 1994-2023 yılları arasında tarla, sera, laboratuvar ve model çalışmaları ile gerçekleştirilmiş projelerin sonuçlarına göre kullanılacak gübre dozlarının belirlenmesinin yanı sıra, aynı zamanda su kaynaklarına yıkanan azot miktarları ve kayıpları da yıllar içerisinde ölçülerek kaydedilmiştir. Dolayısıyla, N yönetimine yönelik kullanılan yönetim araçları aşağıdaki bölümlerde özetlenmektedir.

Toprakta Azot

Atmosferde %78 oranında var olan N₂ gazı, toprakta hem gaz formunda hem de farklı organik ve inorganik formlarda bulunmaktadır. Azotun topraktaki miktarı ve bulunma formları başta toprağın tekstürü, organik madde içeriği, topraktaki mikroorganizma faaliyetleri olmak üzere, toprağın birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri ile

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

yakından ilişkilidir. Toprakta bulunan N'un gaz, organik ve inorganik formlarda bulunması nedeniyle, miktarı her türlü iklim, toprak ve bitkisel faktörler tarafından etkilenmektedir. Özellikle, organik ve inorganik formlar arasındaki geçiş ve dönüşümler ortamdaki mikrobiyal ayrışmaya ortam sağlayan C/N oranı tarafından yönetilmektedir.

Çizelge 1'den görüleceği üzere, toprağın mineral kısmındaki toplam N, ekosistemdeki toplam azotun ancak %0.0038'ini oluşturmaktadır (Güzel ve ark., 2002). En büyük oran ise, %99.38 ile atmosfere ait olmakta ve ekosistemdeki mükemmel bir denge nedeniyle de bu oran kolayca değişmemektedir.

Çizelge 1. Ekosistemde azotun yaklaşık dağılımı (Güzel ve ark., 2002).

Yerkürenin Bölümleri	Azot Miktarı (Mg)	Toplamdaki Oranı (%)
Atmosfer	3.9×10^{15}	99.384
Sular	2.4×10^{13}	0.6116
Toprak (mineral kısım)	1.5×10^{11}	0.0038
Bitkiler	1.5×10^{10}	0.00038
Toprak mikroorganizmaları	6×10^9	0.00015
Hayvanlar	2×10^8	0.000005
İnsanlar	1×10^7	0.00000025

Toprak azotunun başlıca kaynaklarını, baklagillerin köklerinde simbiotik olarak yaşayan bakteriler ve diğer mikro organizmalarca N'un bağlanması, endüstriyel yollarla N'lu gübrelerin üretimi ve toprağa uygulanması, bitkisel atık ya da artıklar ile toprakta kalan organik atıkların parçalanması sonucunda toprağa N verilmesi ve atmosferdeki elektriksel olaylar sonucunda N oksitlerin oluşması ve bunların toprağa bağlanması oluşturmaktadır. Bu kaynaklar içerisinde, tarımsal üretime ticari ve ekonomik katkısı en fazla olan, inorganik gübrelerin üretilmesi ve toprağa/bitkiye uygulanmasıdır. Ayrıca, sürdürülebilir toprak verimliliği açısından organik N içeren kaynaklar olarak yeşil gübre, kompost, organik atık ve artıkların topraklara periyodik olarak uygulanması da bir gereklilik haline gelmiştir.

Topraktaki toplam N, organik ve inorganik N formlarından oluşmaktadır. Bunlar içerisinde de inorganik formlar olan nitrat (NO_3) ve amonyum (NH_4) formları bitki kökleri tarafından alınabilmektedirler. Dolayısıyla, bitki besleme açısından topraktaki total N miktarına bakılmaksızın, özellikle NO_3 ve NH_4 miktarlarını bilmek ve bu formların varlığını desteklemek önemlidir. Bu iki iyon, elektriksel yükleri gereği ya NH_4^+ formunda killer tarafından bağlanabilmekte ya da NO_3^- iyonu şeklinde ortamın nemine bağlı olarak yıkanabilmektedir. Önemli olan, bitki kullanımı açısından daha fazla NO_3^- -N'unun toprak çözeltisinde varlığını sağlamaktır.

Azot, doğası ve rolü gereği bir taraftan bitki beslenmesini sağlarken, diğer taraftan da fazla kullanımı nedeniyle çevre ve insan sağlığını tehdit eder duruma gelmektedir. Toprak çözeltisinde yüksek konsantrasyonlarda bulunan NO_3^- -N'u, toprağın tekstür (bünye) ve nem içeriği gibi özellikle fiziksel özelliklerine bağlı olarak hızla bitki kök bölgesinden toprağın alt katmanlarına taşınabilmekte; buradan da taban ve drenaj sularına yıkanmakta

ve bazen de kořullara baęlı olarak yzey akıřı ile toprak yzeyinden tařınabilmektedir (Sšnmez ve ark., 2008; etin ve ark., 2012; Ibriki ve ark., 2015).

Azot Dšnüşümleri

Birçok bitki besin elementinden ayrıcalıklı olarak N'un toprakta ve havada bulunması; organik, inorganik ve gaz formlarında olması bu elementin toprakta sürekli bir dšnęü ve dšnüşüm içerisinde olmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla, topraklarda var olan N, çok yšnlnü ve bütüncül bir bakış açısıyla çalışılmaktadır. Toprağın iskelet ve mineral yapısında N bulunmasa da, farklı kaynaklardan toprak ortamına katılıp çeşitli değişikliklere uğrayarak toprakta organik ve inorganik N formları oluşur. Örneęin, toprakta organik kaynak olarak tanımlanan yeşil gübrede, kompostta, organik içerikli çeşitli endüstriyel atıklarda, sap-saman artıklarında, baklagillerce biyolojik fiksasyonda, kanalizasyon çamur atığında ve topraktaki her türlü canlı ve cansız organizma ve mikroorganizmaların yapısında bulunan N, topraktaki toplam azotun %50-75 kadarını oluşturmaktadır (Güzel ve ark., 2002). Topraktaki organik N, mineralizasyona uğramadan yani inorganik forma ve bitkinin alabileceği amonyum ve nitrat azotu formlarına dšnüşmeden bitki tarafından toprak çözeltisinden alınmamaktadır. Topraktaki N mineralizasyonu, organik azotun sırasıyla NH₄ ve NO₃'a dšnüşümünü ifade eder. Bu bağlamda, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri, bitkisel üretimin türü ve iklim koşullarına da bağlı olarak yıl içerisinde mevsimsel olarak değişikliklerin olması, N mineralizasyonuna etki etmektedir. Mineralizasyonla yarayışlı hale dšnüşen N formları miktar olarak az olsalar da bitki tarafından kolaylıkla kullanılmaktadırlar; özellikle organik tarımda kullanılan ve N içeriği yüksek materyallerin mineralizasyonu sonucunda daha fazla mineral azot açığa çıkmaktadır.

Azot mineralizasyonu nasıl ki toprağa ve bitkiye N'un bir kazanım süreci ise, immobilizasyon, denitrifikasyon, toprağa fiksasyon, volatilizasyon ve yıkanma da topraktan N'un kayıp yollarıdır. Bitkiye N yarayışlılığının sürdürülebilirliği açısından, N kayıplarının daha az olması istenen bir durumdur.

Topraklarda N'un mineralizasyon ve immobilizasyonunda C/N oranı etkili olmaktadır. Birçok toprak organik maddesinin ve humus yapısının N içeriği yaklaşık %5 – 5.5 ve karbon içeriğinin %50 -58 dolayında olduğu dikkate alındığında C/N oranının en ideali 9-12 olmaktadır. Genellikle, C/N oranının yüksek olduğu (>30/1) organik maddeler toprağa katıldığında toprak azotu immobilize olmaktadır. Ancak, C/N oranı 20-30 arasında olduğunda immobilizasyon ve mineralizasyon olmazken, C/N oranının <20/1 olduğunda ise çoğunlukla mineral azotun serbest duruma geçişi gerçekleşir (Güzel ve ark., 2002). Organik maddenin mineralizasyonu sürecinde ortamda bulunan uygun mikroorganizma popülasyonu ve bunların N'u kullanım miktarları da C/N oranını etkilemektedir. Genel olarak, işlenmemiş toprakların yzey horizonlarında C/N oranı ortam koşulları ile denge durumunda olup, yaklaşık olarak 10/1–12/1 arasında değişmektedir. Dolayısıyla, toprak organik maddesi ve C/N oranındaki değişmeler mineralize olan N miktarını ve N'un bitkilere olan yarayışlılığını etkilemektedir. Mineralizasyon sürecinde, C/N oranı kadar topraktaki uygun mikroorganizma popülasyonu, toprağın nem ve havalanma koşulları da

bir o kadar önemli ve gereklidir. Öte yandan, mineralizasyonla açığa çıkan mineral N miktarı optimum düzeyde verimi sağlamak için yeterli olamamakta ve profesyonel üretim için inorganik kaynaklı gübrelerin üretilmesi ve kullanılması kaçınılmaz hale gelmektedir. Bu nedenle, organik kaynaklı gübreler, inorganik kaynaklı gübrelerin alternatifi olarak değil, tamamlayıcısı olarak kullanılmalıdır.

Bitkisel Üretimde Azot Yönetim Araçları

Azotun tarımsal üretimdeki özellikle de bitki beslemedeki zorunluluğu ve önemi yadsınamaz bir gerçektir. Ancak, N'un çevreye ve insan sağlığına olan olumsuz etkileri de bir o kadar önemlidir. Tarımda bitki beslemeyle beraber, N ve dozları uygulanmaya başlanmış, daha sonraları hibrit çeşitlerin modern tarıma tanıtılmasıyla uygulanan N dozlarının kullanımı hızla artmış ve kirletici boyutlara ulaşmıştır. Bu nedenle, yapılan parsel boyutundaki kalibrasyon çalışmaları sonucunda doz azaltımına gidilse de esas hedef büyük havzalar ve sulama alanları düzeyinde etkili bir N yönetimi olmuştur (Liu ve ark., 2003; Isidoro ve ark., 2004; Çetin ve ark., 2012; Ibrikci ve ark., 2015). Bu nedenle, yoğun sulu tarımın yapıldığı Çukurova yöresinde 1994-2023 yılları arasında yürütülen birçok tarla, sera ve laboratuvar denemelerinde N dozunu optimize etmeye yönelik araştırmalar yurt içi ve yurtdışı destekli projeler ve tez çalışmaları kapsamında yürütülmüştür. Bu çalışmaların bir kısmı örnek alan olarak seçilen *Akarsu Sulama Birliği Sahasında* (Akarsu SS) yürütülmüştür. Bu araştırmalarda;

- Toptakta mineral azotun belirlenmesi,
- Hızlı doku testleri,
- Azot bütçesinin oluşturulması,
- Model çalışmaları,
- Karar verme mekanizmaları (DPSIR yaklaşımı),
- Çiftçi eğitimleri, vb. yönetim araçları test edilmiş ve kullanılmıştır.

Örnek çalışma alanı (Akarsu Sulama Birliği Sahası):

Çukurova yöresinde gerçekleştirilen N yönetimi ve kullanılan yönetim araçları, Akarsu SS özelinde bu bölümde açıklanmaktadır. Akarsu SS, Aşağı Seyhan Ovası (ASO) sol sahil sulama alanında bulunmakta ve hidrolojik olarak sınırları gayet iyi tanımlanmış bir alanda yer almaktadır (Şekil 1). Araştırma alanının doğu ve kuzeydoğusu, Ceyhan nehri sağ sahil taşkın seddesi ile sınırlandırılmıştır. Coğrafi bakımdan 36° 51' 46"-36° 57' 00" kuzey enlemleri ve 35° 24' 10"-35° 36' 34" doğu boylamları arasında yer alan çalışma alanı 9 495 ha olup, Akdeniz iklimi etkisi altındadır.



Şekil 1. Akarsu Sulama Birliği Sahasının Türkiye’deki yeri ve konumu (Çetin ve ark., 2012).

Çalışma alanının toprakları genelde killidir; kireç içerikleri ve pH’ları yüksektir. Ekim alanları değişse de başlıca bitkiler buğday, narenciye, birinci ve ikinci ürün mısır, pamuk ve çeşitli tek yıllık sebzelerdir. Sulama, ürün türüne bağlı olarak genelde salma, yağmurlama ve damla sulama şeklinde gerçekleştirilmektedir.

Toprak Mineral Azotu

Kavram olarak “*mineral azot*” (N_{min}), toprağın farklı derinliklerdeki veya etkili kök derinliğindeki (0-90 cm) NO₃-N’u ve NH₄-N’u toplamına eşit ve bitki kökünün hemen alabileceği miktar/form olarak kabul edilmektedir (Wehrmann ve Scharpf, 1986). Gerek gübrelerin çözünürlüğü gerekse organik azotun mineralizasyonu sonucunda toprakta bulunan NO₃-N ve NH₄-N, bitkiler tarafından toprak çözeltisinden doğrudan alınıp kullanılmaktadırlar. Toprak çözeltisinde bu iki formun varlığını desteklemek ve sürdürülebilir kılmak, N yönetiminin en önemli hedeflerinden birisi olmaktadır. Bu nedenle, toprak analizlerinde total N yerine N’un özellikle bu iki formunu ölçmek hedeflenmelidir. Birçok laboratuvarda çiftçilere N’lu gübre önerisi yapmak amacıyla ölçülen toplam N miktarı çok anlamlı olmamaktadır. Çünkü, bu toplam miktarın %80’den fazlası bitkilerin kullanamayacağı organik N ve N’un diğer formundadırlar. Bilindiği üzere, organik N’un mineralizasyonu ve bitkiye yararlı hale gelmesi toprak ortamında birçok faktöre bağlı olarak bir zaman ve mikroorganizmaların da dahil olduğu bir süreç gerektirmektedir.

Ancak, topraklarda N_{min} analizleri rutin çiftçi analizlerinde sınırlı olarak kullanılmaktadır. Çoğu çiftçi analizleri toprağın üst katmanı için toplam N ölçümü olarak yapılmakta olup, etkili bir gübre önerisine yardımcı olmamaktadır. Ayrıca, hızlı bir şekilde farklı kitler kullanılarak da genelde üst toprak katmanı için NO₃ analizleri yapılmaktadır. Her ne kadar, toprak çözeltisinde N’un bulunma formu NO₃ olsa da, bazı toprak ve iklim koşullarına bağlı olarak NH₄ da bulunabilmektedir. Örneğin, Çukurova’da Akarsu SS’inde yürütülen bir çalışmada, 2007 yılında buğday ekimi öncesinde 0-30 cm toprak derinliğinde ölçülen NO₃ konsantrasyonu 0-30 cm derinlikte 3.05-96.56 mg NO₃/kg iken, aynı derinlikteki NH₄ konsantrasyonu 0.30-8.06 mg NH₄/kg olarak ölçülmüştür (Koca,

2013). Mısır ekim alanları dikkate alındığında ise ekim öncesinde 0-30 cm derinlikteki NH_4 konsantrasyonu 3.9-5.2 mg NH_4/kg arasında bulunmuştur (Karnez, 2010). Bu değerler, tüm profil derinlikleri veya "etkili kök derinliği" (0-90 cm) dikkate alındığında ve kg/da olarak hesaplandığında belli bir miktarda NH_4 'un profile bulunduğu ortaya çıkmaktadır. Topraklarda mineral azot hesaplanırken, NH_4 değerlerinin düşük olmasından dolayı çoğu zaman göz ardı edilmiştir (Wehrmann ve Scharpf, 1979; Liu ve ark., 2003). Akarsu SS çalışma alanında $\text{NH}_4\text{-N}$ değerleri belli bir düzeyde ölçülmüş ve bu nedenle de Nmin hesaplamalarında dikkate alınmıştır. Toprağın killi yapıda olması, mevsimsel toprak suyu koşullarına bağlı olarak nitrifikasyonu/denitrifikasyonu etkileyerek toprakta NH_4 'un varlığını sağlamış olabilecektir. Bu nedenle, her iki N formunun amaca uygun olarak ya yüzey toprağında ya da toprak profilinde ölçülmesi ve gübreleme programında kullanılması en uygun yaklaşım olmaktadır.

Öte yandan, gübre önerileri amacıyla yapılan Nmin analizleri, toprak çözeltisinde aktif olan $\text{NO}_3\text{-N}$ ve $\text{NH}_4\text{-N}$ 'unu ölçmek açısından toprak hazırlığı veya ekimden çok kısa süre önce yapılmalı ve toprakta bitki kullanımı için var olan azotu yansıtmalıdır. Bu süre, birkaç hafta ile sınırlı tutulmalıdır. Azot formları sürekli değişim halinde olduğundan, aylar öncesinden yapılan Nmin analizleri gübre önerileri açısından çok da hassas ve anlamlı olmayacaktır.

Akarsu SS'ında, FP6 (QUALIWATER, Avrupa Birliği Projesi) ve diğer uluslararası projeler kapsamında yapılan toprak örneklemeleri tek ve çok yıllık bitkiler için toprağın 0-30, 30-60 ve 60-90 cm derinliklerinden alınmış ve Nmin ölçümleri yapılmıştır. Mineral azot miktarları üst toprak katmanında (0-30 cm) daha fazla olup, derinlikle beraber azalsa da, etkili kök derinliği olan 0-90 cm'de önemli miktarlarda Nmin bulunmuştur. Örneğin, 2007 ve 2008 yıllarında buğday ve mısır ekili alanlardaki Nmin değerleri 7.2 -12.0 kg Nmin/da arasında değişkenlik gösterirken (Çizelge 2) (Karnez, 2010); 2009, 2010 ve 2011 yıllarında etkili kök derinliğinde ölçülen Nmin değerleri sırasıyla 11.0, 10.6 ve 16.3 kg Nmin/da olarak kaydedilmiştir (Çizelge 3) (Çetin ve ark., 2012). Alansal dağılımlara bakıldığında, 5.0-20.0 kg N/da arasındaki Nmin miktarlarının alansal olarak büyük bir yüzdeye sahip oldukları görülmektedir. Bu değerler, İbrikci ve ark. (2001) tarafından bölgede daha önce buğday ekili alanlarda yapılan çalışmalarla da doğrulanmıştır. Yıllar arasında farklılıkların olması, yıllık yağış miktarı ve değişen bitki desenine bağlı olarak uygulanan gübre miktarındaki değişkenliklerden kaynaklanmaktadır. Bu miktarlar dikkate alınarak özellikle buğday, 1. ve 2. ürün mısır, pamuk, narenciye ve diğer bitkilerin olduğu üretim alanlarında önerilen gübre dozları profile var olan Nmin değerlerinin üzerine eklemeye yapılmıştır. Böylece, Nmin'deki N'un N'lu gübreye çevrilmesi, uygulanacak toplam alan ve gübre birim fiyatı dikkate alındığında büyük bir ekonomik kazanım ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, ileri ki bölümlerde de açıklanacağı üzere, fazla gübre kullanımından kaynaklı N'un taban suyuna yıkanması, dolayısıyla da drenajla taşınması önlenmiş olacaktır. Örneğin, yine Çukurova yöresinde 8 farklı lokasyonda iki yıl süre ile yürütülen denemelerde buğdaya uygulanan N dozları, Nmin miktarlarına bağlı olarak önerilen dozun azaltılmışı olarak verilmiş ve ürün miktarında bir azalmaya neden olmamıştır (İbrikci ve ark., 1999).

Çizelge 2. Akarsu SS'ında toprak profilinde etkili kök derinliğinde Nmin değerleri (Karnez, 2010).

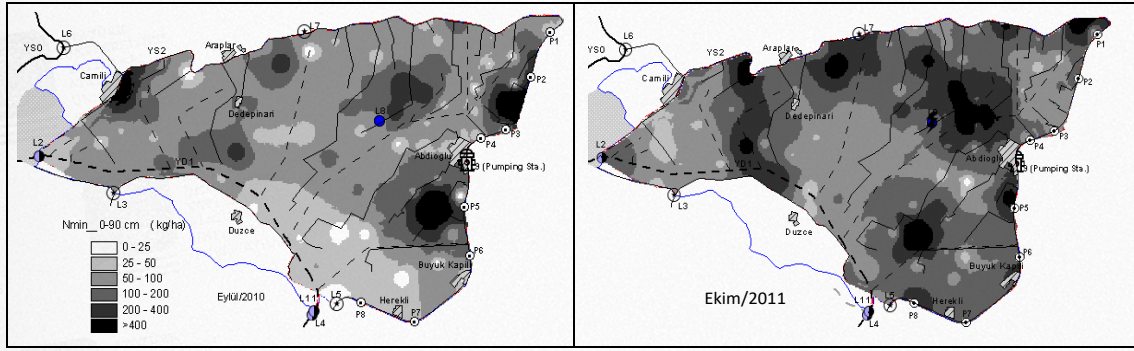
Bitkiler	Yıllar	Nmin (kg N/da)
Buğday	2007	8.6
	2008	8.3
1. Ürün Mısır	2007	7.2
	2008	8.5
2. Ürün Mısır	2007	11.1
	2008	12.0

Çizelge 3. Hidrolojik su yılı sonunda toprak profilindeki mineral azot (Nmin) yüklerinin alansal dağılım yüzdeleri (Çetin ve ark., 2012).

Yıllar	Derinlik (m)	Alansal toplam Nmin ortalaması (kg Nmin/da)	Toprakta Nmin (kg/da)				
			<2.5	2.5-5.0	5.0-10.0	10.0-20.0	20.0<
			Alansal dağılım (%)				
Eylül, 2009	0-0.9	11.01±7.66	0.0	4.7	54.5	34.3	6.5
Eylül, 2010		10.66±13.77	1.2	19.5	50.7	20.7	8.0
Eylül, 2011		16.39±13.01	0.0	2.7	32.3	41.5	23.5

Ayrıca Şekil 2'de, ekim öncesi dönemlerde toprak profillerindeki Nmin içeriklerinin yersel ve zamansal dağılımı görülmektedir. 2010 ve 2011 su yıllarındaki bu değişkenlikler bitki deseni ve dolayısıyla gübreleme programlarından kaynaklanmaktadır. Toprak tekstürü, yağış ve sulama durumu, ürün deseni ve gübreleme programlarına bağlı olarak genelde Nmin üst toprak katmanında daha yüksek bulursa da, tek yıllık bitkiler için etkili kök derinliğindeki Nmin miktarı, bitkilerin yetiştirme süreleri ve köklerin dağılımı dikkate alındığında önemli olmaktadır. Örneğin, çalışma alanının doğu tarafında bulunan ve Ceyhan Nehri boyunca uzanan narenciye alanlarında fazla N ve damla sulama uygulamaları nedeniyle profildeki Nmin miktarının daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 2) (Çetin ve ark., 2012). Toprak tekstürünün kil ve kile yakın kesimlerde, toprak neminin az olduğu koşullarda, profil derinliklerine NO₃ yıkanması daha az olduğundan, Nmin yoğunluğu üst katmanlarda daha fazladır. Kırdı ve ark. (2001) tarafından yine Çukurova yöresinde killi topraklarda ve susuz koşullarda yapılan bir buğday denemesinde, bitkinin gelişme döneminde N yıkanmasının olmadığı ve hasat sonunda üst toprak profilinde önemli ölçüde N'un kaldığı saptanmıştır. Farklı yıllarda yapılan araştırma bulguları tutarlı olup, bir birine paralellik arz etmektedir.

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

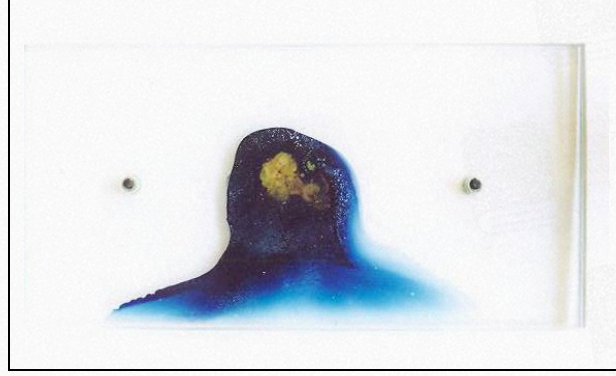


Şekil 2. Toprak profilinde etkili kök derinliğinde (0-90 cm) Nmin içeriklerinin yersel ve zamansal dağılımı (Çetin ve ark., 2012).

Türkiye genelinde yapılan çalışmalarda, Tarım ve Orman Bakanlığına bağlı kuruluşlar toprakların N içeriklerinin belirlenmesine yönelik çeşitli saha çalışmaları yürütmüş ve yürütmektedirler. Örneğin, gezici toprak analiz laboratuvarları ile çiftçi arazilerinden çok sayıda örnek toplanmış ve analiz edilmiştir. Toprak ve su analiz sonuçlarına göre nitrate hassas bölgeler belirlenmiş; sürdürülebilir tarım için NO_3 kirlenmesini bertaraf edecek kodlar oluşturulmuş ve yürürlüğe konulmuştur (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021). Bu çalışmalar, N kullanımının kontrol altına alınmasını sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda çiftçilerin gübre kullanımındaki alışkanlıklarını değiştirmekte de etkili olmuştur.

Hızlı Doku Nitrat Testleri

Genelde tek yıllık bahçe, sera ve tarla bitkilerinin dokularındaki (çoğu durumda ksilem özsuyu) NO_3 içeriğini belirlemek amacıyla arazi koşullarında çeşitli doku testleri hızlı bir şekilde yapılmaktadır. Dokulardaki NO_3 içeriğine bağlı olarak oluşturulan mavi renk intensitesine bağlı bir yaklaşımla, bitkilere uygulanacak N'lu üst gübre miktarları belirlenebilmektedir (Webermann ve ark., 1982). Örneğin, Çukurova yöresinde yürütülen bir çalışmada, tarla koşullarında buğdaya uygulanacak üst gübreden önce özellikle de kardeşlenme döneminde bitkinin gövdesindeki ilk boğumun hemen üzerinden alınan doku segmentlerinde hızlı nitrat doku analizleri yapılarak mavi renk oluşturulmuştur (Şekil 3) (Korkmaz ve ark., 2008). Oluşan mavi rengin intensitesi, buğdayda ksilem özsuysundaki NO_3 'ün bir göstergesi olarak alınmış ve bu mavi renk tonlarına göre uygulanacak gübre dozları belirlenmiştir. Mavi tonun artması dokularda daha fazla NO_3 olduğunu, dolayısıyla üst gübre döneminde hedeflenen veya planlanandan daha az N'lu gübre verilmesi gerektiğini göstermektedir. Korkmaz ve ark. (2008)'nın bildirdiğine göre, 15 kg N/da geleneksel N uygulaması, 9 kg N/da Nmin dikkate alınarak uygulama ve 12 kg N/da mavi renk intensitesine göre gübre uygulaması yapıldığında buğday dane verimleri sırasıyla 590, 630 ve 670 kg/da olarak kaydedilmiştir. Anlaşılacağı üzere, söz konusu çalışmada yapılan üst gübre N uygulamaları bu mavi renk tonlarına göre genelde azaltılarak verilmiş ve önemli bir verim kaybına neden olmamıştır. Mavi renk intensitesine göre verilen gübre miktarları azaltılabildiği gibi, aynı zamanda gübre uygulama zamanları da ertelenebilmektedir.



Şekil 3. Çukurova’da yürütülen buğday tarla denemelerinde, buğday gövdesinden alınan örneklerde hızlı nitrat doku testi kullanılmasıyla oluşan mavi renk.

Böylesi bir çalışma, ksilem özsuundaki NO_3 miktarını ölçmeye yönelik olması nedeniyle, herhangi bir laboratuvar çalışması, yoğun kimyasal madde ve işgücü gerektirmeden özellikle üst gübre ihtiyacı olan ve doku testlerinin kolaylıkla yapılabileceği bitkiler için kullanılabilir (Knowles ve ark., 1991; Harada ve ark., 2001). Örneğin, serada, bahçe bitkileri üretiminde ve fertigasyonun yapıldığı koşullarda nitrat doku testlerinin yapılması ve N’lu gübrenin periyodik olarak sulama suyu ile birlikte uygulanması ve zamanlanması için iyi bir yaklaşım olabilecektir.

Ayrıca, bitkinin azot durumu ve beslenmesinin bir göstergesi olan yeşil renk intensitesine göre de gübre önerileri yapılabilmektedir. Örneğin; SPAD okumaları, fotosentez ölçerler, refraktometreler vd. gibi çeşitli cihazlar kullanılarak bitkinin N durumu tahmin edilebilmektedir. Genel olarak, yeşil rengin koyuluğunun, bitki dokularında yeterli derecede azotun varlığını gösterdiği kabul edilmektedir.

Azot Bütçesinin Oluşturulması

Tarımsal üretimde bitki besin elementlerine ait bütçe hesaplamaları, genelde atmosfer, toprak, su ve bitki ortamları bir bütün/ekosistem olarak dikkate alınır, söz konusu besin elementinin sisteme toplam girdi ve çıktılarının hesaplanması esasına dayanmaktadır. Bütçe hesaplamalarında, teorik olarak bilinen her türlü girdi ve çıktılar dikkate alınmakla beraber, ölçülemeyen bazı parametreler hesaplama dışında kalabilmektedir. Sistemin bizzat kendisindeki belirsizlikler ve rast gele tavrı, azot bütçesinin kesin bir şekilde oluşturulmasına olanak vermemektedir. Özellikle havza bazlı çalışmalarda bu husus önem arz etmektedir.

Bitki besleme açısından bitkilerin N dahil diğer makro ve mikro besin elementleri ile beslenmeleri mutlak bir gereklilik olup, bu besleme kaynakları da ya inorganik gübreler ya da organik kökenli materyallerdir. Özellikle modern tarımın bir sonucu olarak daha fazla ürün miktarını sağlayan hibrit çeşitler üretime dahil edilmekte ve fazlasıyla gübre ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Ekonomik olarak gübre maliyetinin kolaylıkla karşılandığı ülke veya alanlarda gereğinden fazla N’lu gübre kullanılabilir ve çiftçiler açısından “gübre ürünün sigortasıdır” olarak görülmektedir.

Oysa ki, bitki besleme açısından mutlak gerekli olan azotun/gübrenin fazla kullanımı, ekonomik boyutu kadar hatta daha fazlasıyla toprak-su-atmosfer sisteminde kirlenmeye neden olması ile sorun yaratmaktadır. Bitkilerin N beslenmesi ve bunun ürün miktar ve kalitesine etkileri üzerine araştırmalar yapılsa da, büyük tarımsal alanlar veya üretim havzaları bazında yapılan araştırmalar oldukça sınırlı kalmıştır. Özellikle çevre bilincinin olduğu son çeyrek asırdır ekosistem boyutunda N'un girdi ve çıktıların dengelenmesi gerçeği üzerinde durulmaktadır. Bu dengeyi anlayabilmek N'un girdi ve çıktıların ölçerek bir bütçe hesabı yapmakla ancak sağlanabilmektedir. Öte yandan N, toprak-su-atmosfer bütününde sürekli geçişli ve formlarında dönüşüm halinde olması nedeniyle çalışılması ve anlık ölçümlerinin yapılması oldukça zor bir besin elementidir. Bu nedenle, N-bütçesi araştırmaları ve hesaplamaları oldukça sınırlı sayıda gerçekleştirilmektedir. Oysa ki, bu tür bütçe oluşturmaya yönelik araştırmalar, söz konusu spesifik alandaki gübre kullanım potansiyelinden, bitkinin N alımına ve N'un kayıplarına kadar bitkisel üretimde etkili olan birçok faktörü rakamsal ve gerçekçi olarak ortaya koyabilmektedir.

Ancak, bütçe çalışmalarında gerekli olan veya ölçülen parametreler amaca bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Çukurova yöresinde Avrupa Birliği FP6 kapsamında başlayan daha sonra TÜBİTAK'ın Almanya ve Slovenya ile ikili işbirliği kapsamında yürütülen projeler ile devam etmiş olan çalışmalarda 9495 ha'lık Akarsu SS'ında su, tuz ve N bütçe ögeleri 11 yıllık bir süre için gerçek parametre ölçümleri yapılarak her yıl için ayrı ayrı olacak şekilde hesaplanmış (Çetin ve ark., 2012, 2017); bu hesaplamalara göre su, tuz ve N bütçeleri yapılmıştır.

Aynı zamanda, söz konusu projeler kapsamında, Çukurova yöresinin belli başlı bitkileri (buğday, mısır, narenciye) için N kullanım potansiyeli ve bütçedeki etkili parametreleri detayları ile ortaya konulmuştur (Denklem 1).

$$(Ng + Nss + Ny + Ntp0 + Nts0) - (Nb + Ntph + Ntsh + Ntsd) = \pm Nk \quad (1)$$

Bütçe denklemi, girdiler ve çıktılar olmak üzere iki temel bileşenden oluşmaktadır (Karnez, 2010). Sağlıklı bir N bütçesinin gerçekleştirilebilmesi için, bu ögelerin her birinin ölçüm ve gözlemlerle belirlenmesi şarttır. Denklem 1'deki azot bütçesinin girdileri ve çıktıları aşağıda sıralanmıştır.

Bütçe Girdileri:

Ng : Çalışma alanında dikkate alınan bitkilere uygulanan azot miktarını (kg N ha^{-1}),

Nss : Bitkilerin yetişme süresinde sulama suyu ile ortama giren azotu (kg N ha^{-1}),

Ny : İlgili bitki alanına yağışla giren azotu (kg N ha^{-1}),

Ntp0 : Dikkate alınan bitkinin yetişme döneminde toprak profilinde (etkili kök derinliği) ekim öncesinde bulunan mineral azotu ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$) (kg N ha^{-1}),

Nts0: Her bitki için üretim başlangıcında taban suyundaki N miktarını (kg N ha^{-1}) göstermektedir.

Bütçe Çıktıları:

Ntph : Dikkate alınan bitki için hasat sonunda toprakta kalan mineral azotu (kg N ha^{-1}),

Nb : Bitkiler tarafından kaldırılan azot miktarını (kg N ha^{-1}),

Ntsh : Bitkilerin ekili olduğu alanlarda hasat sonunda taban suyunda kalan azot miktarını (kg N ha⁻¹),

Ntsd: Bitkilerin ekili olduğu alandan yetiştirme süreci içerisinde taban suyu ile alandan çıkan azot miktarını (kg N ha⁻¹),

Nk: Her bitki için sistemdeki azot miktarındaki değişimi (kg N ha⁻¹) göstermektedir.

Topraktaki N miktarı yukarıda belirtilen Nmin yöntemine göre ölçülmüş ve 0-90 cm için hesaplanmıştır. Ayrıca, yağış, sulama ve drenaj suları ile çalışma sahasına giren ve çıkan sulardaki N miktarları hidrolojik yıldaki –Türkiye’de su yılı (hidrolojik yıl) 1 Ekim tarihinde başlar ve gelecek yılın 30 Eylül tarihinde sona erer– su debilerine bağlı olarak hesaplanmıştır.

Denklemden verilen her bir parametre yersel ve zamansal olarak örnekleme, ölçüm ve hesaplama dayalı olarak elde edilmiştir. Örneğin, Denklem 1 ile gösterilen N bütçesi denklemine göre, 2007 ve 2008 su yıllarına ve bölgenin başlıca bitkileri olan buğday ve 1. ürün mısır alanlarına ait bütçe parametre değerleri verilmektedir (Çizelge 4).

Çizelge 4. 2007 ve 2008 hidrolojik yıllarında bitkiler için hesaplanan azot bütçesi (kg N ha⁻¹) (Karnez, 2010).

Parametre	2007		2008	
	Buğday	1. ürün mısır	Buğday	1. ürün mısır
Girdiler				
N_g	195 (63.3)*	340 (73.5)*	195 (63.1)*	340 (71.3)*
N_{ss}	0	3.85	0	3.35
N_y	7.21	2.84	5.72	1.84
N_{tp0}	85.8	76.2	82.5	96.7
N_{ts0}	20.00	39.46	25.63	35.18
Toplam	308.01	462.35	308.85	477.07
Çıktılar				
N_b	184.7 (69.1)**	306.6 (73.8)**	186.8 (72.0)**	274.9 (69.7)**
N_{tpH}	58.4	70.9	47.4	100.7
N_{tsH}	22.06	36.31	24.11	17.11
N_{tsd}	2.16	1.89	1.03	1.70
Toplam	267.32	415.70	259.34	394.41
Bütçe				
$\pm N_k$	40.7	46.65	49.51	82.66

*Toplam bütçe içerisinde gübre ile giren N miktarının % olarak payı

** Toplam bütçe içerisinde bitki tarafından kaldırılan N miktarının % olarak payı

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

Çizelge 4'deki bütçe parametrelerinin bir kısmı daha genel bir bütçe formülünde ilerleyen yıllar için kullanılmıştır (Denklem 2). Kullanılan N'lu gübre miktarına bağlı olarak her hidrolojik yıl sonunda çalışma alanında belli bir miktarda N'un sistem (toprak ve taban suyu) içerisinde kaldığı (Nk) kaydedilmiştir (Çizelge 4 ve 5).

$$(Ng + Nss + Ny) - (Nb + Nd) = \pm Nk \quad (2)$$

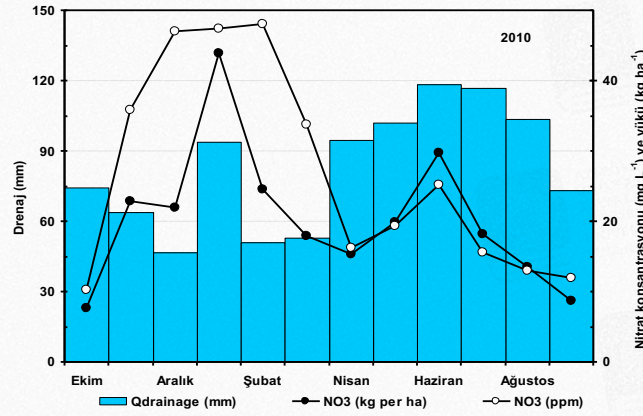
Ayrıca, bütçede hesaplama sonucunda (Denklem 1 ve 2) Nk değerini oluşturan faktörlerin neler olduğu Akarsu SS'ında yürütülen projeler kapsamında gerekli olmadığı için dikkate alınmamışlardır. Örneğin, bütçe hesaplamasında katkıları çok az olabilecek olan N'un mineralizasyonu, immobilizasyonu, mikroorganizmalarca bağlanma ve kullanımları, nitrifikasyon, amonyum fiksasyonu ve volatilizasyonu dikkate alınmamıştır.

Çizelge 5. 2014-2016 yılları arasında Akarsu SS'ında oluşturulmuş N bütçesi^a (Çetin ve ark., 2017)

Parametreler	2014	2015	2016
Yağış	11.7	7.7	7.2
Sulama	9.5	10.9	8.2
Drenaj	28.7	55.2	25.4
Gübre	297.3	299.5	320.4
Bitkice alım	185.9	189.5	198.1
$\pm Nk \text{ NO}_3\text{-N}^a$	103.8	73.3	112.3

^a Azot bütçesi (Girenler-Çıkanlar), tüm N birimleri kg N/ha olarak verilmiştir.

Azot bütçesinde en önemli girdiyi tüm bitkiler bazında (buğday, mısır, narenciye, pamuk, sebzeler, bostan vb.) yıllık ortalama uygulanan azotlu gübre miktarı oluştururken, en önemli çıktıyı da bitki ile kaldırılan ve drenaj sularına yıkanan N miktarları oluşturmuştur (Çetin ve ark., 2017). Drenaj sularına olan N kayıpları değerlendirildiğinde, mevsimsel dağılım dikkat çekmektedir; en fazla yıkanma kış yağışlarına bağlı olarak ocak, şubat aylarında olurken, sulamaya bağlı olarak da haziran ve temmuz aylarındaki yıkanma önemli olmuştur (Şekil 4). Sonbaharda buğdaya, ilkbaharda mısır ve sebzelere uygulanan N'lu gübreler bu iki dönemdeki yağış ve sulamaya bağlı olarak yıkanmaya uğramışlardır. Yıkanma nedenlerinden biri yağış ve sulamaya bağlı toprak su içeriği olurken, ürün deseni ve uygulanan N'lu gübre dozları da N'un yıkanma düzeyine etkide bulunmuşlardır. Kaldı ki, çalışma sahasındaki ürün deseninin %70 den fazlasını buğday, 1. ve 2. ürün mısır ve narenciye oluşturmaktadır. Benzer olarak, çoğu ülkede su kaynaklarının gübrelerce kirletilmesi birinci derecede azotlu gübrelerin yıkanması ve su kaynaklarına karışması ile gerçekleşmiştir (Isidoro ve ark., 2006; Li ve ark., 2009).



Şekil 4. Akarsu SS'ında 2010 yılında drenaj sularındaki nitrat konsantrasyonları ve yükleri (Çetin ve ark., 2012).

Avrupa Birliği, su kaynaklarına olan söz konusu yıkanmayı azaltmak amacıyla tüm Avrupa Birliği ülkelerine hitabeden “Nitrate Directive” (1991/69/EC) ve “The Water Framework Directive” (2000/60/EC) geliştirilmiştir. Bu direktiflerin zaman içerisinde birbirlerine entegre edildiği dikkati çekmektedir (O’Shea ve Wade, 2009). Yapılan çoğu çalışmada, su kaynaklarındaki kirlenmenin birinci derecede gübrelere kaynaklandığı belirlenmiştir (Liu ve ark., 2003; Liang ve ark., 2005; Bao ve ark., 2006; Isidoro ve ark., 2006; Ibrikci ve ark., 2015). Bu nedenle, çevre ve insan sağlığının sürdürülebilirliği açısından azotlu gübrelere kullanım ve yönetimi, uygulanması gereken önemli bir tarımsal strateji olmaktadır. Kullanılan N dozlarının, önerilen miktarları aşmaması için ciddi çabalar sarf edilmesine karşın, bu hususta başarılı olunduğu söylenemez. Dolayısıyla, bu yöndeki çabalara devam edilmesi gerektiği açıktır.

Yıllar içerisinde, Akarsu SS'ında üç farklı dönemde yapılan çiftçi anketlerine göre, kullanılan N’lu gübre miktarının önerilen dozdan daha fazla ve koşullara göre değişken olduğu dikkat çekmektedir. Örneğin, buğday ve mısır yapılan çiftçi uygulamaları önerilen dozların çok üzerinde bulunmuştur; uzmanlarca buğdaya 18 ve 1. ürün mısır 24 kg/da önerisi yapılmaktadır. Ancak, çiftçi uygulamaları sırasıyla 20 ve 34 kg N/da üzeri olarak anket sonuçlarına yansımıştır (Çizelge 6).

Çizelge 6. Anket çalışmalarına göre Akarsu SS'ında bitkilere uygulanan N dozları (kg N/da).

Ürün	1. Anket	2. Anket	3. Anket
Buğday	19.5	26.5	22.5
Narenciye	18.0	35.0	18.0
Birinci ürün mısır	34.0	38.0	41.0
İkinci ürün mısır	32.5	36.0	-
Birinci ürün pamuk	23.5	31.0	30.0
Kavun-karpuz	13.0	28.2	-
Patates	-	57.0	51.0
Yer fıstığı	-	16.0	21.5
Soya	-	16.0	11.5

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

Uzun yıllardır süregelen “gübre ürünün sigortasıdır” şeklinde olan genel kanı ve uygulama, Çukurova yöresindeki çiftçiler tarafından da kabul gördüğüne ve uygulandığına şahit olunmaktadır. Son yıllarda gübre ham madde ve üretimindeki maliyet artışlarının gübre kullanım miktarını nasıl etkilediği ya da azaltıp azaltmadığı konusunda yeni bir anket çalışması tarafımızca henüz yapılmamıştır. Bitki besleme bitkisel üretimde nasıl ki bir gereklilik ise çevre ile barışık bir gübre uygulama dozunun belirlenmesi de gerekli olmalıdır.

Türkiye’de azotun tarımsal amaçlı kullanımını ve yönetimini kontrol altında tutmak amacıyla Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığınca “Sularda Tarımsal Faaliyetlerden Kaynaklanan Nitrat Kirliliğinin Önlenmesine Yönelik İyi Tarım Uygulamaları Kodu Tebliği” (Tebliğ No: 2016/46) oluşturulmuş ve 12 Şubat 2017 tarihinde Resmi Gazetede yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu kod ile azotlu gübre kullanımının temel ilkeleri detayları ile tartışılmış ve yersel bazda uygulama önerilerinde bulunulmuştur.

Bitki besin elementlerinin yönetimine yönelik yapılan bütçe çalışmaları büyük alan veya havza bazında çok detaylı sonuçlar verse de, bu çalışmaların yapılması oldukça zaman alıcı, hassasiyet gerektiren ve maliyetli araştırmalardır. Özellikle N, kendi doğası gereği sürekli form değiştiren ve toprakta dinamik bir element olması nedeniyle de belirlenmesi zor bir bitki besin elementi durumundadır. Havza bazlı çalışmalarda, havzadaki su bütçesi öğelerinin stokastik yapısı ve içerdiği belirsizlikler, N bütçesi çalışmalarında da doğal olarak bir çok belirsizliğe neden olmaktadır. Bu nedenle, azot bütçesi çalışmaları daima izah edilemeyen bir hata terimi ile sonuçlanmak; bu bağlamda, N bütçesi kapanma hataları gündeme gelmekle birlikte, söz konusu belirsizlikler sistemin doğal bir sonucu olduğundan sorun oluşturmamaktadır. Ancak, bu hususun bütçe terimlerinde kantitatif olarak belirtilmesi yapılan çalışmalara özgün değer katmaktadır.

Azot bütçesine ek olarak, aynı yıllar için Akarsu SS’ında **su bütçesi** de başarı ile oluşturulmuştur (Çizelge 7). İklim değişikliğinden hızla ve fazlasıyla etkilenen günümüz tarımında özellikle de gübreleme ve bitki besleme programlarının oluşturulmasında ve drenaja olan N kayıplarının hesaplanmasında su bütçesinin hesaplanması mutlak gereklidir. Örneğin, Akarsu SS’ında 2009, 2010 ve 2011 yılları için su bütçesi hesaplamaları hidrolojik yıl (HY), sulama mevsimi (SM) ve sulama mevsimi dışı (SMD) dönemler için başarı ile gerçekleştirilmiştir. Su bütçesi elemanları olarak yağış, sulama suyu, drenaj, bitki su tüketimi ve etkin yağışın her birinin bütçe hesaplamasında önemli rol aldıkları görülmektedir. Δ Hata değerlerine göre su bütçesi hesaplamaları: HY için %2.88-15.05, tüm dönemler (HY, SM, SMD) için %-1.96-26.50 arasında bir hata ile gerçekleşmiştir. Akarsu SS gibi büyük havzalar dikkate alındığında, bu hata oranlarının kabul edilebilir düzeyde olduğu görülmektedir (Isidoro ve ark., 2004).

Çizelge 7. Akarsu SS'ında gerçekleştirilen su bütçesi sonuçları (Çetin ve ark., 2012)

Su bütçesi elemanları (mm)	Hidrolojik yıl (HY)	Sulama mevsimi (SM)	Sulama mevsimi dışı (SMD)	SMD'nın HY içinde %'si
Hidrolojik yıl	2009			
Yağış	856.4	254.8	601.6	70.2
Sulama suyu	1233	1098.8	134.2	10.9
Drenaj	953	588.1	364.9	38.3
Bitki su tüketimi (ET _c)	845.3	646.6	198.7	23.5
Etkin yağış (P ^{ef})	465.8	121.1	344.7	74
$\Delta Hata$	15.05	9.31	26.50	-
Hidrolojik yıl	2010			
Yağış	592	71	521	88
Sulama suyu	1291.7	1174.4	117.3	9.1
Drenaj	992.1	636.6	355.6	35.8
Bitki su tüketimi (ET _c)	840.1	635	205.1	24.4
Etkin yağış (P ^{ef})	321.4	22.8	298.6	92.9
$\Delta Hata$	2.88	-1.96	13.03	-
Hidrolojik yıl	2011			
Yağış	667.8	158.2	509.6	76.3
Sulama suyu	1215.1	1071.1	144	11.9
Drenaj	965.1	624.7	340.3	35.3
Bitki su tüketimi (ET _c)	836.8	622.7	214.1	25.6
Etkin yağış (P ^{ef})	350.2	57.8	292.4	83.5
$\Delta Hata$	4.51	-1.34	16.51	-

Model Çalışmaları

Azotun ekosistemdeki dinamizmi ve etkileşim faktörlerinin çokluğu dikkate alındığında, N çalışmalarını kolaylaştırmak amacıyla model çalışmaları etkin bir şekilde kullanılabilir olmuştur. Çok çeşitli ve amaca yönelik olan bu modeller, aslında N'un dinamizmi ve bitki beslemede kullanılan parametrelerin etkilerinin bir algoritma yardımı ile ortaya konması gerçeğine dayanmaktadır. Modeller, tek başına ya da çoklu olarak iklim, toprak, bitki, su, tarımsal yönetim faktörlerinin ve bu faktörlerin birbirleri arasındaki etkileşimlerinin bir ekosistem üzerindeki etkilerini ve bu etkilerin derecesini araştırmaya sayısal değer olarak sunabilen sistemlerdir. Havza içerisinde kesintisiz olarak gerçekleşen hidrolojik döngüye ek olarak süreklilik arz eden besin elementi döngüsü gibi belirli süreç ve mekanizmaların alansal ve zamansal olarak nasıl çalıştığını gösterebilen araçlar olup bu döngüleri tüm detayları ile simüle edebilme kapasiteleri de bulunmaktadır. Modeller; yüzey altı akımların ölçümü, denitrifikasyonun ve volatilizasyonun takibi gibi araştırmacılar için zahmetli ve maliyetli olan çalışmalarda oldukça faydalı araçlar olarak kullanılmaktadırlar. Ancak, araştırmacıların sağlıklı bir model çalışması yürütebilmesi ve

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

doğru tahmin değerlerine ulaşabilmesi için doğruluğu onaylanmış verilere ihtiyacı bulunmaktadır. Modellemede kullanılan veriler genelde iki grupta toplanabilir: a) Söz konusu çalışma için deneysel olarak ölçülen gerçek değerler, b) Ölçülemeyen, ancak uygunluğu kanıtlanmış literatür değerleri ve dolaylı olarak hesaplanan değerlerdir. Akarsu SS'ında yapılan çalışmalarda kullanılan modeller J2000-S ve SWAT (Soil and Water Assessment Tool) modelleri olmuştur.

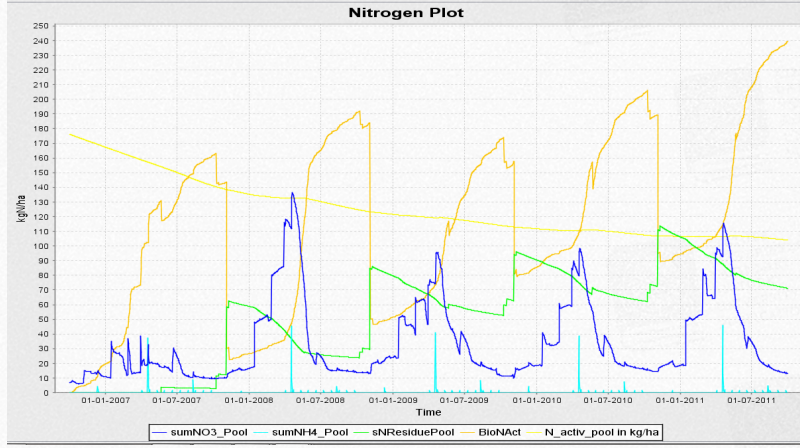
SWAT modeli, su havzalarındaki tarımsal uygulamaların su, sediment, bitki besin elementi ve pestisitler üzerindeki etkisini tahmin edebilen, sürekli zamanlı, fiziksel tabanlı bir simülasyon modelidir (Arnold ve ark., 1998). SWAT modeli, tüm dünyada iklim değişikliği gibi sorunların tespiti, kirleticilerden gelen yüklerin hesaplanması ve en iyi yönetim uygulamalarının değerlendirilmelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Arnold ve ark., 1998; Akgül, 2015; Karnez ve ark., 2017). Ayrıca, SWAT modeli azot mineralizasyonu, denitrifikasyonu, nitrifikasyon, volatilizasyon, fiksasyon, N-yıkanması ve diğer döngü süreçlerini inceleyen bir model olup, N kaynağı olarak organik ve inorganik tüm azot kaynaklarını ve mineralizasyonda etkili olan C/N oranını dikkate almaktadır (Breuer ve ark., 2008). Model, ölçümü çok zor olan değişkenlerin alacağı olası değerlerin tahminine olanak verdiğinden, uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin, Fransa'da yapılan bir çalışmada topraktaki nitrat dinamikleri SWAT modeli yardımıyla başarı ile simüle edilmiştir (Ferrant ve ark., 2011). SWAT modeli Akarsu SS'ında N bütçesi için kullanılmış olup, 2009-2014 yılları arasındaki başlıca bütçe parametrelerinin zamansal değişimindeki simülasyon değerleri, ölçülmüş gerçek bütçe parametreleri ile karşılaştırıldığında oldukça yakın ve anlamlı değerler bulunmuştur. Özellikle, bütçe hesaplamalarında göz ardı edilen N mineralizasyonu, immobilizasyonu, fiksasyon, volatilizasyon, mikrobiyolojik faaliyetler vd. gibi parametreler de dikkate alındığında, model sonuçlarının oldukça başarılı olduğu görülmektedir (Çizelge 8) (Karnez ve ark., 2017). Ayrıca, aynı model Akarsu SS'ındaki N'lu gübre senaryolarını gerçekleştirmek ve sonuçlarının N'kayıpları üzerine etkilerini görmek amacıyla kullanım aşamasındadır (Sağır Yaltır, 2024. Doktora çalışması (devam)).

Çizelge 8. SWAT modeli kullanılarak Akarsu SS'ındaki bazı N bütçesi parametrelerinin zamansal değişimleri belirlenmesi (Karnez ve ark., 2017).

Yıllar	Azot Bütçesi Değişkenleri (kg/ha/yıl)		
	N_APP*	NO3L	NUP
2009	329.1	196.8	270.0
2010	368.1	212.8	228.3
2011	310.9	234.7	181.3
2012	368.1	256.3	175.1
2013	329.2	159.2	277.7
2014	368.1	249.3	254.6

*N_APP (uygulanan N), NO3L (yıkanan nitrat), NUP (bitkice N alımı)

J2000-S modeli kullanılarak da Akarsu SS'ında toprak N'u ile drenaj suyu bileşenlerindeki N simüle edilmiştir (Şekil 5) (Çetin ve ark., 2012). Gerçek ölçüm değerlerine benzer olarak toprakta NH₄ yükü az bulunurken, NO₃ yükünün mevsimsel olarak yağış, ürün deseni ve gübrelemeden kaynaklı değiştiği görülmektedir.



Şekil 5. Akarsu SS'ında J2000-S modeli kullanılarak N parametrelerinin zamansal simülasyonu.

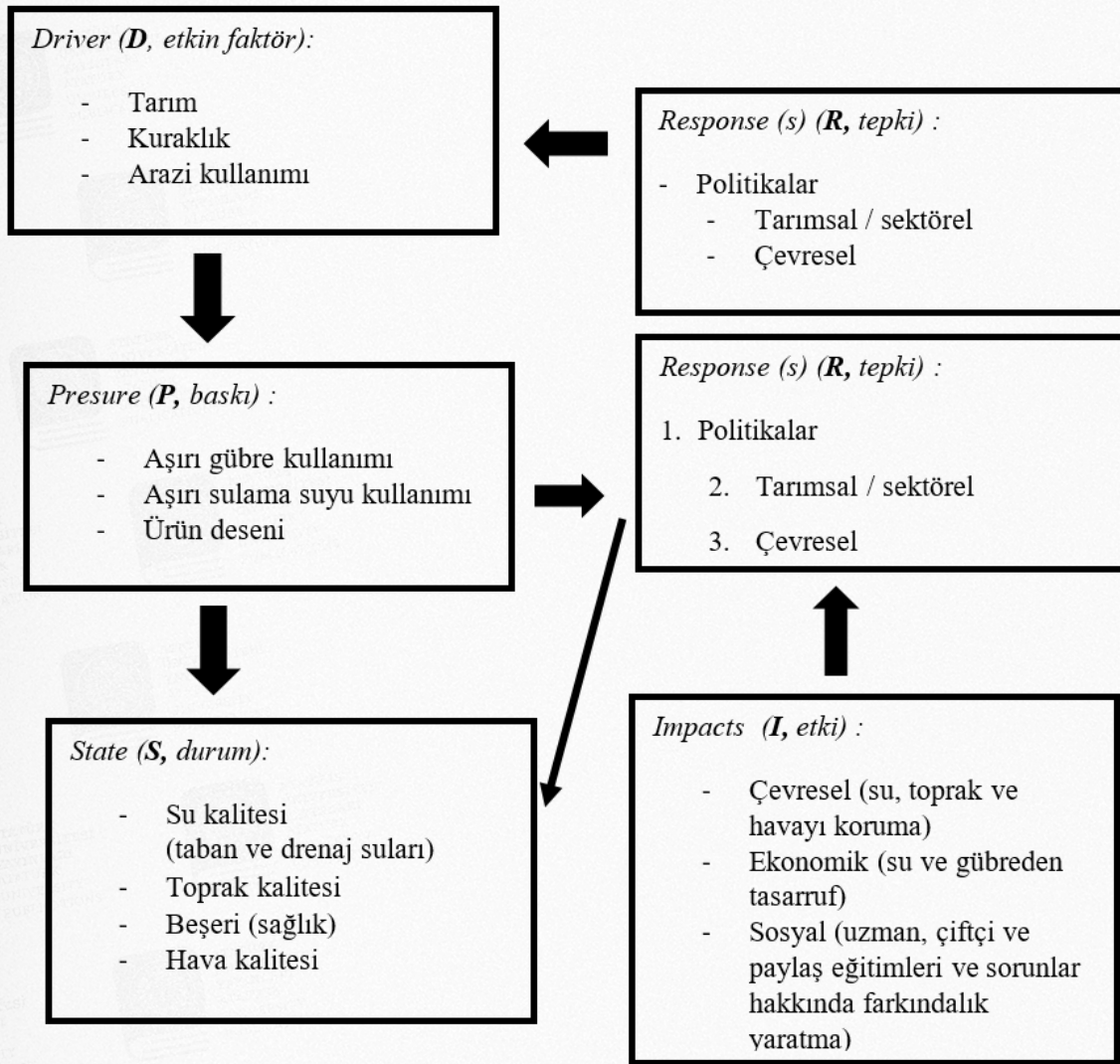
Modeller, senaryo yapmaya olanak verdiği için bu tür çalışmalarda hem gübre dozları hem de sahaya giren su miktarlarında azalma ve artma koşulları test edilebilmektedir. Hatta yapılan bu senaryolar karar destek mekanizmalarının; örneğin, **DPSIR** yaklaşımları sonucunda geliştirilebilen geniş kapsamlı politikaların oluşturulmasında kullanılmışlardır (Carr ve ark, 2007; Ness ve ark., 2010; Harmancıoğlu ve ark., 2013).

DPSIR Yaklaşımı

Akarsu Sulama Sahasında yıllar içerisinde yapılan çalışmalardan elde edilen bulgular, model çıktıları ve tarımsal faaliyetler de göz önünde bulundurularak **DPSIR** [sürücü güç (**D** – driving forces), baskı (**P** - pressure), durum (**S** - state), etki (**I** - impact) ve tepki (**R** - response)] kavramı (Harmancıoğlu, 2004) çerçevesinde ayrı ayrı değerlendirilmiş ve her bir faktörün birbirleri ile etkileşimleri model sonuçları ile bütünleştirilerek tartışılmıştır. DPSIR yaklaşımının ögeleri ve bu ögeler arasındaki ilişkiler Şekil 6 ve Çizelge 9'da sunulmuştur. Şekil 6'dan görüleceği gibi, DPSIR kavramı "özelde, gübre kullanımı ve etkileri" için kullanılsa da diğer tarımsal faaliyetlerdeki karar verme mekanizmalarına ve tarımsal politikaların oluşturulmasına yardımcı olacak potansiyeldedir.

Çoğu DPSIR yaklaşımlarının ögeleri kullanılan model çalışmaları ve bunlara bağlı yapılan senaryolar sonucunda gerçekleşse de (Çetinkaya ve Barbaros, 2008; Harmancıoğlu ve ark., 2013), Akarsu SS gibi üzerinde uzun yıllar çalışılan, ölçülen ve hesaplanan gerçek verilerin olduğu ve hassas bir şekilde azot bütçelerinin yapıldığı alanlarda DPSIR yaklaşımını model senaryolarından bağımsız tartışmak da oldukça uygun ve yeterli olacaktır.

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)



Şekil 6. DPSIR öğeleri etkileşimi

Gübre dozları için yapılan model senaryoları dikkate alındığında, gübre dozunun %20 artırılması ve %10 azaltılması azot yıkanmasını sırasıyla %21.2 arttırmış ve %10.2 azaltmıştır. Aynı oranda gübre artması ve azalması ürün miktarını %1.3 arttırmış ve %0.98 oranında azaltmıştır (Çizelge 10). Gübre artışı ve azalışı ürün miktarı üzerine önemli bir etkide bulunmamıştır. Dolayısıyla, DPSIR yaklaşımına göre değerlendirme yapıldığında, *Pressure (baskı)* faktörü olarak azotlu gübre uygulama dozu ve sulamanın azot yıkanmasında etkili olduğu ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 9. Akarsu Sulama Sahası için oluşturulmuş DPSIR yaklaşımı ögeleri (Çetin ve ark., 2017; İbrikçi ve ark., 2017).

Driver / Neden	Pressure / Baskı	State / Durum	Impact / Etki	Response / Yanıt
Tarım	Gübre kullanımı, su kullanımı, otlama, arazi kullanımı, toprak işleme	Su kalitesi (sudaki tuz miktarı, NO ₃ konsantrasyonu, EC, pH, toplam çözülmüş tuzlar); Toprakta birikim (mineral azot, tuz), çiftçiler düzeyinde gübre ve sulama uygulamaları	Toprakta tuz ve azot birikimi; drenaj sularında mevsimsel tuz ve NO ₃ konsantrasyonları nda ve yüklerinde artışlar	Uzman ve sulama birlikleri ile sulama ve gübreleme konularında eğitim çalışmaları, bulguların Tarım Bakanlığı düzeyine taşınması
İklim	Yağış, kuraklık, evapotranspirasyon	Yıllık yağış, sıcaklık, evapotranspirasyon, radyasyon	Ürün deseninde değişiklik, gübre ve sulama suyu kullanımında artış, üründe/verimde değişiklik	İklimle bağlı tarımsal faaliyetlerin ve bitkisel adaptasyonların önerilmesi
Beşeri Yerleşim	Yerleşim alanlarındaki nüfusa bağlı septik katkıları	Yüzey ve yer altı sularındaki kirlenici konsantrasyonları	Kirlenici konsantrasyonları nda artışlar, toprak ve çevrede bozunum	Kalite ve kantitede degradasyon; kaynak israfı

Örneğin, *Response (R - tepki)*, olarak çeşitli politikaların ve sosyal değişimlerin olması gereği ortaya çıkmıştır; bunların başında tarım ve çevre politikaları gelmektedir. Tarımsal üretimin yanı sıra çevreyi ve insan sağlığını da korumak da öncelikli olmuştur. Son yıllarda Tarım ve Orman Bakanlığının geliştirip yürürlüğe koyduğu *Nitrat Direktifleri* (<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2016/07/20160723-2.htm>) bu politikaların en somutu olmuştur. Bu kapsamda, bölgesel ve bitkisel bazda kodlar oluşturulmuş ve eğitim çalışmaları ile üreticilerin ve potansiyel kullanıcıların hizmetine sunulmaktadır.

Çizelge 10. 2009-2015 yılları arasında gübre dozunun değişimi durumunda bazı seçilmiş parametrelerin % değişimleri (İbrikçi ve Çetin, 2017).

Gübre miktarı	Bitkice alınan ortalama N	Drenaja yıkanan ortalama N	Ortalama biomass	Ortalama verim
%20 artış	5.35	21.25	1.48	1.35
%10 azalış	-2.98	-10.19	-1.07	-0.98

Çiftçi Eğitimleri

Çukurova yöresi ve Aşağı Seyhan Ovası içerisinde yer alan Akarsu SS'ında 1994-2023 yılları arasında yürütülen çeşitli projelerde, bitkilerin N ile beslenmelerinin yanı sıra,

gübre kullanımına ve çevre korumaya yönelik N yönetim araçları yukarıdaki bölümlerde açıklandığı üzere başarıyla test edilmişlerdir. Söz konusu projelerin bulgu ve sonuçları yıllar içerisinde yurt içi ve yurtdışı yayınlar, bildiriler, sunumlar ve çeşitli iletişim araçları kullanılarak ilgili uzmanlar, paydaşlar ve üreticiler ile paylaşılmıştır. Ayrıca, sonuçlar uzman ve paydaşların katıldığı çalıştay ve panellerde detaylıca tartışılmış ve konu hakkında fikir alışverişinde bulunulmuştur.

Ancak, toprakta, drenaj sularında ve taban suyu gözlem kuyularındaki N konsantrasyonları ve yüklerinin, üretim sistemi içerisinde hala bir N fazlalığının olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, çiftçilerle yapılan anket çalışmaları sonuçları ile doğrulanıp, desteklenmiştir. Dolayısıyla, söz konusu araştırmaların çıktıklarına bağlı olarak, iklim koşulları, lokasyon, bitki çeşidi, gübreleme ve sulama pratikleri ve sosyolojik yapı da göz önünde bulundurularak N'lu gübreleme programlarının oluşturulup, N yönetim araçları hakkındaki bilgilendirmelerin ve paylaşımların sürekli olarak yapılması bir gereklilik olarak karşımıza çıkmaktadır.

SONUÇ

Azot beslenmesi ve azotlu gübrelerin kullanımı bitkisel üretimin bir vazgeçilmezidir. Ancak, fazla kullanımı, insan ve çevre sağlığı açısından ciddi riskler oluştururken, çiftçi ekonomisi açısından da önemli kayıplara neden olmaktadır. Bu nedenle, üretim alanlarının yersel ve zamansal boyutu da göz önünde bulundurularak, güncel ve modern yönetim araçları başarı ile uygulanabilmektedir. Toprak ve bitki analiz yöntemlerinin birer yönetim aracı olarak kullanılmasının yanısıra, bütçe hesaplamalarının yapılması, model çalışmaları ve karar verme mekanizmalarının eğitim ve yayım faaliyetleri ile çiftçi ve paydaşlar boyutuna taşınması sürdürülebilir tarımsal üretim açısından önemli olacaktır.

KAYNAKLAR

- Akgül, M.A. 2015. Aşağı Seyhan Ovası sol sahil sulaması, su ve nitrat bütçesinin modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 97 s.
- Arnold, J., Srinivasan, R., Muttiah, R., Williams, J., 1998. Large-area hydrologic modeling and assessment: Part i. Model development. Journal of American Water Resource Association 34: 73–89.
- Bao, X., Watanabe, M., Wang, Q., Hayashi, S. and Liu, J. 2006. Nitrogen budgets of agricultural fields of the Changjiang River Basin from 1980 to 1990. Science of the Total Environment 363: 136-148.
- Breuer, L., Vache, K.B., Julich, S., Frede, H.G. 2008. Current concepts in nitrogen dynamics for mesoscale catchments. Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques, 53(5) October 2008 Special issue: Advances in Ecohydrological Modelling with SWAT. pp.1059-1074.

- Carr, E.R., Wingard, P.M., Yorty, S.C., Thompson, M.C., Jensen, N.K. and Roberson, J. 2007. Applying DPSIR to sustainable development. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 14:543–555.
- Çetin, M., İbrikçi, H., Berberoğlu, S., Gültekin, U., Karnez, E., Selek, B. 2012. Analysis and Optimization of Irrigation Efficiencies in Order to Reduce Salinization Impacts in Intensively Used Agricultural Landscapes of the Semiarid Mediterranean Turkey (MedSalin). Project Final Report, Funded by TÜBİTAK-BMBF, Program Code: 2527, Project #: TUBITAK 108O582, pp. 186.
- Çetin, M., İbrikçi, H., Berberoğlu, S., Karnez, E. **2017**. *Monitoring and multi-scale modelling of irrigation return flow and its nutrient load in an agricultural area of Turkey (IRAFLUT)*. Project Final Report, Funded by TÜBİTAK-BMBF, Program Code: 2527, Project #: TUBITAK 113O151, pp. 153.
- Çetin, M., İbrikçi, H., Karnez, E. **2017**. *Assessment and improvement of existing irrigation water and nitrogen management in an irrigation district in the Mediterranean Region (AIMMED)*. Project Final Report, Funded by TÜBİTAK- Slovenian Research Agency (ARRS), Program Code: 2508, Project #: TUBITAK 213O057, pp. 109.
- Çetinkaya, C.P. ve Barbaros, N.B. 2008. TMMOB 2. Su politikaları kongresi . 2: 323- 334.
- Ferrant, S., Oehler, F., Durand, P., Ruiz, L., Salmon-Monviola, J., Justes, E., Dugast, P., Probst, A., Probst, J.L. and Sanchez-Perez, J.M. 2011. Understanding nitrogen transfer dynamics in a small agricultural catchment: Comparison of a distributed (TNT2) and a semi distributed (SWAT) modeling approaches. *Journal of Hydrology*. 406: 1-15.
- Güzel, N., Gülüt, K.Y., ve Büyük, G. 2002. Toprak Verimliliği ve Gübreler. Ç.Ü. Ziraat Fak. Genel Yayın No: 246. Adana.
- Harada, H., Sunaga, Y., Yoshimura, Y. and Hatanaka, T. 2001. A simple method for estimating the nitrate nitrogen concentration based on dry matter in standing sorghum (*Sorghum bicolor* Moench) using stem juice test and dry matter content. *Soil Sci. Plant Nutr.* 47:601–609.
- Harmancioglu, N.B., Barbaros, F. and Cetinkaya, C.P. 2013. Sustainability Issues in Water Management. *Water Resour Manage.* 27:1867–1891.
- İbrikçi, H., Yağbasanlar, T., Keklikçi, Z., Toklu, F. ve Aktaş, H. 1999. Cukurova Bölgesinde insan sağlığı ve çiftçi ekonomisi açısından buğdayda azot gübrelemesinin optimizasyonu. DPT projesi. Adana.
- Ibrikci, H., Buyuk, G., Yağbasanlar, T., Keklikci, Z., Toklu, F., Guzel, N. and Ozkan, H. 2001. Contribution of soil mineral nitrogen (Nmin) in wheat production. *Journal of Plant Nutr.* 24:1871-1883.
- Ibrikci, H., Cetin, M., Karnez, E., Wolfgang, A.F., Tilkici, B., Bulbul, Y., Ryan, J. 2015. Irrigation induced nitrate losses assessed in a Mediterranean irrigation. *Agric. Water Manag.*; 148: 223–231.

- İbrikçi, H. ve Çetin, M., 2017. Çukurova Bölgesinde sulu tarımın yapıldığı alanlarda azot yönetiminde DPSIR yaklaşımının kullanılması. Çukurova Üniversitesi, BAP Projesi (Proje No: FBA-2017-9252). Adana.
- Isidoro, D., Quilez, D. and Aragués, R. 2004. Water Balance and Irrigation Performance Analysis: La Violada Irrigation District (Spain) as a Case Study, *Agricultural Water Management* 64:123–142.
- Isidoro, D., Quilez, D. and Aragués, R. 2006. Environmental impact of irrigation in La Violada District (Spain): II. Nitrogen fertilization and nitrate expeot in darinage water. *J. Environ. Qual.* 35:776-785.
- Karnez, E. 2010. Evaluation of nitrogen budget inputs and outputs in wheat and corn growing areas in Lower Seyhan Plain. Cukurova University, Adana, Turkey (Ph.D. Dissertation) (in Turkish).
- Karnez, E., Sagir, H., Glavan, M., Golpınar, M.S., Cetin, M., Akgül, M.A., Ibrikci, H. and Pintar, M. 2017. "Modeling Agricultural Land Management to Improve Understanding of Nitrogen Leaching in an Irrigated Mediterranean Area in Southern Turkey. In *Water Quality. Intech Open*, 2017. P.135-158
- Kirda, C., Derici, M.R. and Schepers, J.S. 2001. Yield response and N-fertilizer recovery of rainfed wheat growing in the Mediterranean region. *Field Crops Res.*; 71: 113-122.
- Koca, G. 2013. Çukurova koşullarında ekim öncesi topraktaki mineral azotun birinci ürün mısır gübreleme programında kullanım potansiyeli. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Adana.
- Korkmaz, K., Ibrikci, H., Ryan, J., Buyuk, G., Guzel, N., Karnez, E., Oguz, H. and Yagbasanlar, T. 2008. Optimizing Nitrogen Fertilizer Use Recommendations for Winter Wheat in a Mediterranean-type Environment Using Tissue Nitrate Testing. *Commun in Soil Testing and Plant Anal. Volume 39 Issue 9*, 1352-1366.
- Knowles, T.C., Doerge, T.A. and Ottman, M.J. 1991. Improved nitrogen management in irrigated Durum wheat using stem nitrate analysis, II. Interpretation of nitrate nitrogen concentrations. *Agron. J.* 83:353–356.
- Liang, L., Nahumo, T. and Hatano, R. 2005. Nitrogen cycling with respect to environmental load in farm systems in Southwest China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 73:119-134.
- Liu, X., Ju, X., Zhang, F., Pan, J. and Christie, P. 2003. Nitrogen dynamics and budgets in a winter wheat-maize cropping system in the North China Plain. *Field Crops Research*, 83: 111-124.
- Ness, B., Anderberg, S. and Olsson, L. 2010. "Structuring problems in sustainability science: The multi-level DPSIR framework", *Geoforum*, 41, 479-488.
- O'Shea, L. and Wade, A. 2009. Controlling nitrate pollution: An integrated approach. *Land Use Policy*. 26: 799-808.
- Sönmez, İ., Kaplan, M. ve Sönmez, S. 2008. Kimyasal Gübrelerin Çevre Kirliliği Üzerine Etkileri ve Çözüm Önerileri. *Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Derim Dergisi*, 25(2): 24-34.

Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021. İyi Tarım Uygulamaları Kodu Raporu. TC. Tarım ve Orman Bakanlığı.

Wehrmann, J., Scharpf, H.C., Böhmer, M. and Wollring, J. 1982. Determination of nitrogen fertilizer requirements by nitrate analysis of the soil and of the plant. In Plant Nutrition: 9th Colloquium on Plant Nutrition, ed., M. Böhmer, 202-208.

Wehrmann, J. and Scharpf, H.C. 1979. Der Mineralstickstoffgehalt des Bones als Grundlage der Stickstoffdüngung bei Zuckerrüben. 43. Winterkongress d. Intern. Institut für Zuckerrübenforschung, Brüssel, (1979). Pp. 327-334.

Wehrmann, J. and Scharpf, H.C. 1986. The Nmin- method- an aid to integrating various objectives of nitrogen fertilization. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde. 149: 428-440.

AZOTLU GÜBRE SEKTÖRÜNÜN GELECEĞİNE GENEL BİR BAKIŞ: AMONYAK EKONOMİSİ

Kürşat KORKMAZ

Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ordu
korkmaz60@gmail.com

Özet

Kentleşme, nüfus artışı ve kişi başına düşen gelirdeki artışlar, beslenme alışkanlıklarının doğasını değiştirerek gıda ve tarım ürünlerine olan talebin artmasına yol açmıştır. Son yıllarda gıda talebinin nüfus artışından daha hızlı artması nedeniyle de küresel gıda güvenliği risk altındadır. Dünyada gıda güvenliğinin sağlanması amacıyla tarımsal üretimin artırılması için gübreler son derece önemlidir. Gübre, birim alandan daha çok ve kaliteli ürün alınması amacı ile kullanılan en önemli tarımsal girdilerden biridir. Dünyada kullanılan gübrelerin ağırlığını ise azotlu (N) gübreler oluşturmaktadır. Azotlu gübreler, bitkisel üretimi artırmak için tarım arazilerinde yüz yılı aşkın bir süredir giderek artan bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak, azotun artan üretim ve kullanımı ile ilgili öngörülemez şey, toprak, su ve hava kirliliğindeki artış ile sera gazı seviyelerindeki bozulmanın yanı sıra amonyak (NH_3) üretimi ve kullanımındaki devasa artıştan kaynaklanan biyolojik çeşitlilik kaybı da dahil olmak üzere art arda gelen çevresel değişikliklerdir. Bu çevresel kaygılara rağmen, artan nüfus nedeniyle azotlu gübreye yönelik küresel talep giderek artarak devam etmektedir. Azotlu gübre sektörünün geleceği bu noktada belirsizdir ve sektörü etkileyebilecek birçok faktör vardır. Gelecekteki azotlu gübre kullanımına ilişkin farklı senaryolara dayanarak, amonyak üretiminden kaynaklı çevresel baskıların giderek artacağı öngörülmektedir. Bununla birlikte, amonyağın tarım dışı sektörlerde (enerji) alternatif yakıt veya hidrojen depolama ortamı olarak kullanılmasına olan ilginin artmasıyla birlikte, amonyak üretiminin de katlanarak artması muhtemeldir. Bu nedenlerle amonyak ekonomisi kavramı dünya çapında giderek artan bir ilgi görmeye başlamış ve üzerinde durulması gereken önemli bir konu olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Azot bütçesi, azotlu gübre üretimi, gübre sektörü, yeşil amonyak

AN OVERVIEW ON THE FUTURE OF THE NITROGEN FERTILIZER INDUSTRY: AMMONIA ECONOMY

Abstract

Urbanization, population growth and increases in per capita income have changed the nature of dietary habits, leading to increased demand for food and agricultural production. In the recent years, global food security has been at risk as food demand has increased faster than population growth. For the purpose of ensuring food security around the world, fertilizers are extremely important for increasing agricultural production.

Fertilizer is one of the most important agricultural inputs used to obtain more and high-quality products from a unit area. Nitrogen (N) fertilizers constitute the majority of fertilizers used in the world. Nitrogen fertilizers have been increasingly used on agricultural lands for more than a hundred years to increase crop production. However, what cannot be foreseen with the increased production and use of nitrogen is the successive environmental changes, including the increase in soil, water, and air pollution and the deterioration in greenhouse gas levels, as well as the loss of biodiversity resulting from the massive increase in the production and use of ammonia (NH₃). Despite these environmental concerns, global demand for nitrogen fertilizers continues to grow steadily due to a growing population. The future of the nitrogen fertilizer sector is uncertain at this point, and there are many factors that can affect the sector. Based on different scenarios for future nitrogen fertilizer use, environmental pressures from ammonia production are projected to increase. Nonetheless, with increasing interest in the use of ammonia as an alternative fuel or hydrogen storage medium in non-agricultural sectors (energy), ammonia production is likely to increase exponentially. For these reasons, the concept of ammonia economics has attracted increasing interest worldwide and is an important topic to be emphasized.

Keywords: Nitrogen budget, nitrogen fertilizer production, fertilizer industry, green ammonia

Dünyada Gübreleme Sektöründeki Genel Durum

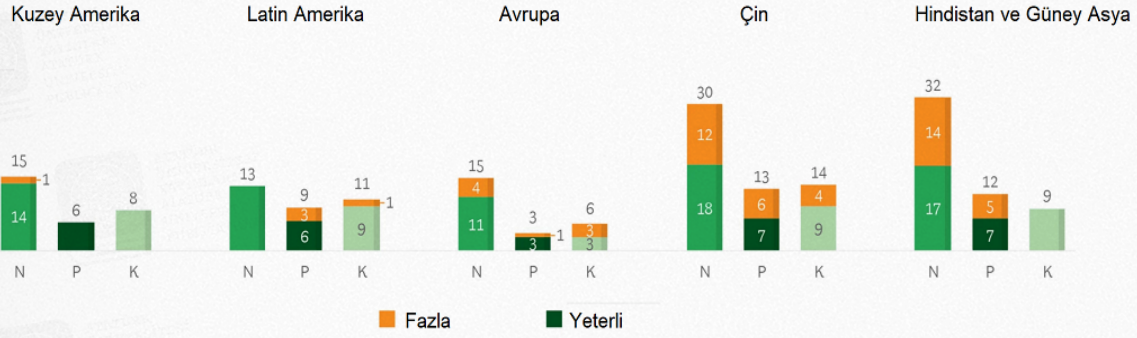
Son yıllarda, giderek artan nüfus, değişen beslenme alışkanlıkları ve kontrolsüz kentleşme nedeniyle artan gıda talebinin oluşturduğu baskılar dünyada gıda güvenliğinde risklerin artmasına yol açmıştır. Artan nüfus artışına bağlı olarak küresel gıda talebinin %70 oranında artacağı tahmin edilmektedir (Roell ve Zurbriggen, 2020). Geçtiğimiz 2 yılda iklim değişikliği, Covid-19 salgını ve Rusya-Ukrayna çatışması gibi küresel sorunlar ön plana çıkmıştır. Bu krizler kısa sürede sosyo-ekonomik, sağlık ve gıda sistemleri üzerinde yoğun bir baskıya yol açmıştır. Günümüzde, başta Rusya-Ukrayna savaşı olmak üzere, gıda güvenliği konularını ön plana çıkaran bu küresel krizlerin tarım-gıda sistemleri üzerindeki doğrudan sonuçlarıyla karşı karşıyayız. Ukrayna ve Rusya, buğday, arpa, mısır, kolza tohumu ve ayçiçeği de dahil olmak üzere çeşitli temel gıdaların küresel ihracatçıları arasında ilk üçte yer almaktadır (Neik ve ark., 2023). Kriz ve buna bağlı yaptırımlardan kaynaklı ihracatlarda meydana gelen aksamalar nedeniyle, küresel gıda pazarında fiyat istikrarsızlıklarına ve gıda güvenliğine ilişkin ciddi endişelere yol açmıştır (Behnassi ve El Haiba, 2022). Bu projeksiyonlara bağlı olarak, dünya nüfusunun beslenmesi, gıda güvencesinin ve güvenliğinin sağlanması için tarımsal üretimin artırılması gereklidir ve bu artışı sağlamak için de gübreleme kaçınılmazdır. Gübre, gıda ve tarım ürünlerinin karşılanması ve birim alandan daha çok ve kaliteli ürün alınması amacı ile kullanılan en önemli girdilerden biridir. Bitkilerin büyümesi ve gelişmesi için besin elementlerine ihtiyaçları vardır ve bu elementler arasında yalnızca karbon, hidrojen ve oksijen doğrudan sudan veya havadan elde edilirken; diğer elementlerin ise toprakta bulunması gerekir. Tarım topraklarının verimliliği ve sürekliliğinin sağlanması çeşitli şekillerde topraktan

kaybolan bitki besin elementlerinin gübreleme yoluyla toprağa geri verilmesi ile mümkündür. Azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K) ise bugün gübre sektörünün en önemli üç bileşenini oluşturmaktadırlar. Azotlu gübreler, yüksek basınç ve sıcaklıklarda havadaki azottan (N₂) amonyak üretmeye yönelik ana endüstriyel proseslerle üretilmekte ve bu prosesler başta doğal gaz olmak üzere fosil yakıtlarına dayanmaktadır. Doğal gazın varlığı, fiyatı ve küresel politikalar göz önüne alındığında, birçok ülke üretimde hammadde açısından bağımlı olmaktadır. Fosfor ve potasyum ise kayaç ve minerallerden elde edilirken; bu tür rezervler birçok ülkede mevcut değildir ve az sayıda ülke tarafından piyasa kontrol edilmektedir (Ben Hassen ve El Bilali, 2022). Fosfatlı gübrelerin hammaddesi olan fosfat kayası, başta Fas ve Batı Sahra (%72), Çin (%5) ve Cezayir ve Suriye (her biri %3) olmak üzere dünyanın sadece belirli bölgelerinde mevcuttur (Randive ve Jawadand, 2021). Fosforlu gübreler söz konusu olduğunda, küresel fosfat kayası rezervlerinin 69 milyar ton olduğu ve dünya çapında yaklaşık 240 milyar ton fosfat kayası çıkarıldığı tahmin edilmektedir. Fosforlu gübre üretimi açısından ise, Çin, dünyadaki fosforun üçte birinden fazlasını üretirken, onu sırasıyla ABD, Hindistan ve Fas izlemektedir. Potasyum üretiminde ise tüm potasyum rezervlerinin üçte ikisi Kanada, Rusya ve Beyaz Rusya tarafından sağlanmaktadır (Akmermer, 2023). Küresel potas rezervleri 5,8 milyar ton olup, Rusya (%34.3) ve Kanada (%20.6) rezervlerin en büyük payına sahiptir (Randive ve Jawadand, 2021). Dünya potas gübresi arzının yaklaşık altıda biri, azotlu gübre ihracatının onda birinden fazlası ve kompoze gübre ihracatının (azot, potasyum ve fosfattan iki veya daha fazlasını içeren) yaklaşık altıda biri Rusya tarafından ihraç edilmektedir (Benton ve ark., 2022). 2020 yılında Belarus ise 2.96 milyar dolarlık gübre ihraç ederek dünyanın en büyük altıncı ihracatçısı olmuştur. Aynı yıl, Belarus küresel potas üretiminin yaklaşık %17.6'sını gerçekleştirmiştir. Hem Rusya hem de Belarus, Kanada ve ABD ile birlikte dünya çapındaki küresel pazardaki potas fiyatını belirleyen kartelleşmiş potas pazarının önemli parçasıdır (Ben Hassen ve El Bilali, 2022). Buna ek olarak Rusya, azotlu gübrenin birincil hammaddesi olan büyük bir doğal gaz tedarikçisidir. Bu durum en çok, yerel N üretimi için büyük ölçüde ithal doğal gaza bağımlı olan AB ve Hindistan için oldukça önemlidir. Bugüne kadar, görüldüğü gibi gübre endüstrisi, üretimi ve talebi karşılayacak şekilde düzenleyebilecek piyasa fiyatlarını marjinal üretim maliyetlerinin çok üzerinde tutan bazı karteller tarafından yönetildiği görülmektedir, ancak son yıllarda global ölçekte yaşanan pandemi, ekonomik, siyasi krizler ve ortaya çıkan tarımsal ambargolar (Covid-19 salgını, Rusya-Ukrayna savaşı gibi) gübre girdilerini etkileyerek fiyat istikrarsızlığına yol açmıştır (Gutierrez-Moya ve ark., 2023). Gübrelerin tedarikiyle ilgili riskler, 2022'de Rusya'nın Ukrayna'yı işgal etmesi ve buna eşlik eden, küresel enerji arzını kesintiye uğratan ve küresel enerji maliyetlerini artıran yaptırımlar nedeniyle bugün daha belirgindir. Son yıllarda özellikle Ukrayna'daki çatışma, bunun tetiklediği ekonomik yaptırımlar ve Karadeniz ticaret yollarındaki aksaklıklar ticaret maliyetlerini ve Rusya ve Belarus'un ihracatına ilişkin belirsizliği daha da artırarak gübre ve tahıl fiyatlarının artmasına neden olmuştur. Son olarak, Avrupa'nın karşı karşıya olduğu doğal gaz kaynaklarında devam eden sıkıntılar, üretim maliyetlerinin tüm gübre tedarikçileri için yüksek kalmasına neden olarak gübre fiyatlarında yükselmeye yol açmıştır. Ukrayna krizi, Avrupa'da gaz fiyatlarının megawatt-saat (MWh) başına yaklaşık 20 Avro'dan 200 Avro'nun üzerine çıkmasını sağlayan büyük bir artışa neden

olarak enerji üretiminin de artmasına yol açmıştır. 2022'nin başlarındaki bu fiyat artışı, Avrupa amonyak üretim kapasitesinin %50'sinin kapanmasına ve azalmasına neden olmuştur (Saygın ve ark., 2023). Saygın ve ark., (2023) ayrıca amonyak için küresel spot fiyatlarının da 2022'de önemli ölçüde arttığını belirterek, Mart 2017'den Aralık 2020'ye kadar amonyak fiyatlarının ton başına 200-400 ABD doları aralığından 2022 yılının ilk çeyreğinde ton başına 1.300 ABD dolarına ulaştığını belirtmişlerdir. Ülkemiz açısından da durum benzerlik göstermektedir. Ülkemizin kimyasal gübre üretimi için gerekli hammadde kaynaklarına sahip olmaması da bu alandaki kısıtlamaların başında gelir. Şu anda doğalgaz, fosfat kayası ve potasyum tuzları gibi önemli bileşenleri yaklaşık %95'i yurtdışından temin edilmektedir. Bu dışa bağımlılık nedeniyle, gübre endüstrisini yakından etkileyen döviz kuru ve uluslararası piyasa koşulları büyük öneme sahiptir (Altuntepe ve Aşkan, 2023). Dolayısıyla meydana gelen bu artışlar gübre fiyatlarının da artışına yol açarak gıda üretimini ve gıda fiyatlarını doğrudan etkileyecektir. Gübre fiyatlarındaki %15'lik bir artış buğday tüketiminde tahmini %8'lik bir azalmaya yol açarak protein ve kalori alımı üzerindeki ciddi olumsuzlukları beraberinde getirecektir. (Snapp ve ark., 2023). Bugün mineral bazlı gübreler küresel gıda üretiminin %50'sini oluşturmaktadır. Bu nedenle, gıda güvenliğinin sağlanması ve korunması için gelecek yıllarda, tarım sektörünün paydaşları ve özellikle gübre üreticiler karşılaşacakları çeşitli arz ve talep yönlü zorluklara şimdiden hazırlanmaları gereklidir.

Gübrelemede önemli sorunlardan birisi de besin elementlerinin bitkiler tarafından kullanım etkinliğinin düşük olmasıdır. Tarımsal üretim sisteminde uygulanan gübrenin genel kullanım etkinliğine ilişkin tahminlerin N için yaklaşık %50 veya daha düşük, P için %10'dan az ve K için yaklaşık %40 olduğu rapor edilmiştir (Baligar ve Fageria 2001). Küresel ölçekte, çiftçiler her yıl yaklaşık 260 Mt besin maddesi kullanmakta ve bunun %20'sinin fazlalık olduğu gözükmektedir. Topraklarda sağlıklı bir besin dengesi, yaklaşık %80'lik bir besin elementi kullanım etkinliği (NUE) seviyesiyle temsil edilmektedir. Bu hedef seviyesi bile göz önüne alındığında, 2030 yılında küresel fazla besin elementi hacmi yaklaşık 56 Mt (33 Mt azot, 15 Mt fosfor ve 8 Mt potasyum) olacağı tahmin edilmektedir (Şekil 1). 2022 Montreal Biyoçeşitlilik (COP 15) konferansında, aşırı miktarın seviyesini neredeyse yarıya düşürme ve 2030 yılına kadar yaklaşık 29 Mt bir hacim azaltma hedefi belirlenmiştir (Subei ve ark., 2023). Bu, mevcut küresel piyasa hacminin %10'undan fazlası olarak gözükmektedir. Bu hedeflerin dışında var olan gerçek ise FAO (2019), 2017-2022 döneminde gübre kullanımına yönelik küresel N, P ve K talebinin sırasıyla %6.23, %8.73 ve %10.68 arttığını belirtmektedir. Uluslararası Gübre Birliği (IFA, 2020), önümüzdeki yıllarda küresel gübre kullanımının artmasında Güney Asya'nın lokomotif olacağını ve onu EECA, Latin Amerika ve Afrika'nın takip edeceğini belirtmektedir. Bu hedefler gübre sektöründe dengelerin değişmesine neden olacaktır. Mevcut durumda dünya çapında N, P ve K'lu gübre üretimi 2021 yılında yaklaşık 213.5 Mt'a ulaşırken bu toplamın %56'sı azotlu gübrelerden oluşmaktadır (FAO, 2023). 2021 yılında 118.5 milyon ton olan azotlu gübre üretiminin, tahminlere göre, 2050 yılında yaklaşık 324 milyon tona ulaşması beklenmektedir (Drescher et al. 2011).

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)



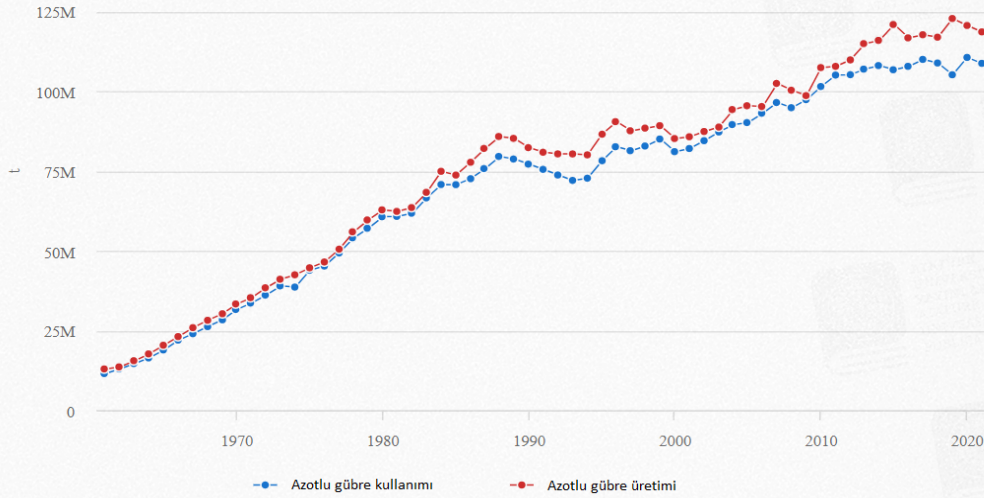
Şekil 1. 2030 yılında dünyada kullanılması tahmin edilen N, P ve K miktarı (Mt) (Subei ve ark., 2023).

Tarımda öngörülen küresel gübre sektörü kapasitesinin tarım endüstrisine önemli etkileri vardır. Gübre sektörü kapasitesindeki artış tarımsal verimliliğin artmasına yol açabilirken, aynı zamanda gübre talebinin artmasına ve çevresel kayıplara neden olabilir. Şu anda dünyanın karşı karşıya olduğu en ciddi sorunlardan bir diğeri de iklim değişikliğidir. Fosil yakıtların kullanılması, ormansızlaşma, tarımsal uygulamalar, endüstriyel süreçler ve arazi kullanımındaki yanlışlıklar bunun en önemli nedenlerini oluşturmaktadır. Bu insan faaliyetleri, atmosferdeki sera gazı konsantrasyonunun geçtiğimiz yüzyılda önemli ölçüde artmasına ve Dünya'nın iklim sisteminde değişikliklere yol açmasına neden olmuştur. Gıda sisteminden kaynaklanan sera gazı (GHG) emisyonlarının küresel antropojenik toplamın %39'unu oluşturduğu ve bu emisyonların %75'inin tarımsal faaliyetlerden geldiği bilinmektedir (Mohammed ve ark., 2021). Tarım sektörü bir taraftan iklim değişikliğine neden olurken, diğer taraftan da iklim değişikliğinden en çok etkilenen sektör olarak ön plana çıkmaktadır. İklim değişikliği üzerindeki bu çift yönlü etkisiyle, tarım sektörü hem sorunun bir parçası iken hem de gıda güvenliğinin sağlanması bakımından çözümün anahtarını oluşturmaktadır. Bu nedenle, tarım sektörünün, önümüzdeki yıllarda çevre üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için daha sürdürülebilir uygulamalar benimsemesi gerekecektir. Bu açıdan değerlendirildiğinde, gübreleme sektörü önem arz ederken, toplam kullanılan gübreler içerisinde de azotlu gübreler hem bitkisel verimin artırılması hem de çevresel kayıplar açısından değerlendirildiğinde en önemli yeri tutmaktadır. Küresel azotlu gübre pazarının büyüklüğü 2018 yılında 113.7 milyar ABD doları olarak gerçekleşmiştir ve tahminlere göre %2.73'lük bir artış sergileyerek 2026 yılına kadar 140.51 milyar ABD dolarına ulaşması beklenmektedir. Dünyanın gelecekteki gıda, hayvan yemi, biyoyakıt ve lif talebini karşılamak için tarımsal üretimin önemli ölçüde artması gerekmekte ve mevcut eğilimler devam ederse küresel boyutta azotlu gübre kullanımının 2050 yılına kadar iki katına çıkabileceği tahmin edilmektedir (Tilman ve ark., 2011). Azotun, iklim, çevre ve halk sağlığı üzerindeki etkisi nedeniyle, insanlığın ve gezegenin karşı karşıya olduğu en büyük beş tehditte biri olarak kabul edildiği (Congreves ve ark., 2021) düşünüldüğünde artan biyolojik ürün talebini karşılarken azotlu gübre kullanımının çevresel sınırlar içine nasıl çekileceği, önümüzdeki yüzyılda insanlığın karşılaşacağı en önemli zorluklardan birisi

olarak öne çıkmaktadır. Bu açıdan da azot ve azotun gelecekteki kaderi belirsizlik taşıırken, bu konun önemle üzerinde durulması gerekmektedir.

Azotlu gübrelerin üretimi, kullanımı ve oluşturduğu riskler

Bitkilerin büyümesi ve gelişmesi için ihtiyaç duyduğu en temel makro besin elementlerinden birisi olan azot, atmosferin büyük bir kısmını (%78-79) oluşturmasına rağmen, yüksek oranda reaktif olmayan inert formda (N_2) bulunur. Sadece bazı bakteriler ve onların konukçu bitkileri atmosferik N_2 'yi amonyağa (NH_3) dönüştürerek fikse edebilir. Nitrat (NO_3^-), amonyum (NH_4^+) ve organik N, bitkilerin N'den faydalanabileceği üç formdur. Azotlu gübrelerin üretimi toplam gübre sektörünün %90'ından fazlasını oluşturmaktadır (Tyagi ve ark., 2022). Tarımsal açıdan Dünyadaki azot kullanımı incelendiğinde 1961 yılında 11.5 Mt olan gübre kullanımı 2021 yılında 108.7 Mt'a yükselmiştir (Şekil 2). Azotlu gübre üretimi ise 1961 yılında 12.9 Mt'dan 2021 yılında 118.6 Mt'a yükselmiştir (FAO, 2023). Bu veriler son 50 yılda azotlu gübre üretim ve tüketiminin neredeyse 10 katlık bir artış gösterdiğini ortaya koymaktadır. Ancak, tarımsal faaliyetlerin son on yılda artması, iklim değişikliği, kaynak ve enerji tükenmesi şeklinde çevre üzerinde bir sıkıntı yaratmış ve bu durum sürekli gıda arzının sürdürülebilirliği üzerinde endişe verici bir baskıya yol açmıştır.

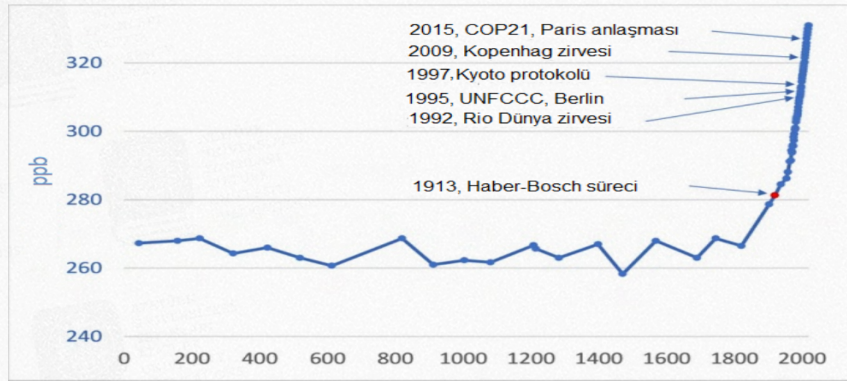


Şekil 2. Dünyada 1961-2021 yılları arası azotlu gübre kullanım ve üretim miktarı (FAO, 2023).

Azotlu gübreler, ürün verimliliğini artırmak için tarım arazilerinde yüz yılı aşkın bir süredir kullanılmaktadır. Reaktif azot bir toksin değildir ve yaşam ve sağlıklı ekosistemler için çok önemlidir. Ancak azot aynı sistemlere aşırı miktarda verildiğinde bir dizi sorunu tetikler. Azotlu gübrelerin bu kadar uzun süreli ve kontrolsüz kullanımı çevreyi toprak, su (yüzey ve yeraltı suyu) ve hava olmak üzere tüm kesimleri etkilemektedir. Azotlu gübrelerden meydana gelen kayıplar, atmosferik sera gazı emisyonuna, yeraltı sularının kirlenmesine ve yüzey sularının ötrofikasyonuna katkıda bulunarak tarımın olumsuz çevresel ayak izini artırmaktadır (Mahankale, 2023).

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

Azotlu gübreler kullanıldığında, düşük kullanım etkinliği nedeniyle bitkiler tarafından azot yalnızca %30-50 oranında tüketilirken, kalan azotun yaklaşık %2-10'luk kısmı yüzey ve yeraltı suyuna karışır kalan kısmı ise küresel ısınmaya neden olacak şekilde atmosfere salınır (Şekil 3). Azot bazlı gübrelerin fazlalığı, CO₂'den yaklaşık 300 kat daha fazla ısınmaya neden olan güçlü bir sera gazı olan nitroz oksit (N₂O) oluşumuna neden olabilir (Griffis ve ark., 2017). Küresel olarak insan ölümlerinin, ekosistem hasarının ve biyoçeşitlilik kaybının önde gelen nedenlerinden birisi olan azot oksitler (NO_x) hava kirliliğine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. NO_x atmosferde partikül madde (PM_{2.5}) miktarını, ozon (O₃) emisyonunu artırarak hava kalitesinin bozulmasına yol açarken, NO_x'in kendisinin doğrudan solunmasıyla da ciddi sağlık sorunlarına yol açmaktadır (NFU, 2022). Amonyak da benzer şekilde yalnızca atmosferik ince partiküllerin (PM 2.5) vazgeçilmez bir öncüsü olmakla kalmaz, aynı zamanda hava, su ve toprak üzerinde zararlı etkilere neden olarak atmosferik çökmeden sonra suyun ötrofikasyonuna ve toprağın asitlenmesine neden olur (Li ve ark., 2022). Amonyak ve azot oksitlerden kaynaklı emisyonlarının tamamı tarımda kullanılan gübrelerden kaynaklanmamakta, büyük bir kısmı da hayvansal gübrelerden kaynaklanmaktadır. Ancak kimyasal ve organik kaynakların yoğun bir şekilde kullanımının bir sonucu olarak da bu gübrelerin çevresel etkileri de çoğalmaktadır. Gübrelerin uygulanmasının yanı sıra, kimyasal gübre üretimi de endüstriler tarafından atık suların yüzey sularına ve yeraltı sularına deşarj edilmesiyle de su kirliliğine neden olmaktadır. Bu nedenle N kirliliği, ekosistemde, sera gazı dengesinde ve biyolojik çeşitlilikte bozulmanın yanı sıra su, hava ve toprak kalitesi için bir tehdit oluşturmaktadır (Sutton ve ark., 2019).



Şekil 3. Küresel atmosferik azot oksit konsantrasyonları (NFU, 2022)

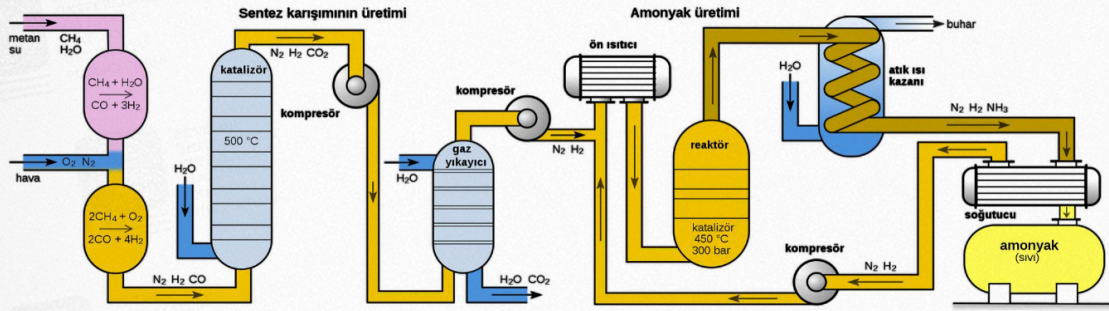
Azotlu gübrelerin yanlış kullanımı çevre kirliliğinin yanı sıra insan sağlığını da olumsuz etkilemektedir. Amerika Bileşik Devletleri, Çevre Koruma Ajansı'nın (EPA) düzenlemelerine göre, içme sularında N konsantrasyonunun maksimum kirletici düzeyi olarak NO₃-N'nun 10 mgL⁻¹ (45 mgL⁻¹ NO₃⁻)'den az olması gerektiğini bildirmiştir. Bu kritik sınır değer aşıldığında, bebekler mavi bebek sendromu olarak bilinen methemoglobinemia ölümcül hastalığının ortaya çıkma oranı artmaktadır. Özellikle kırsal alanlarda içme suyu kaynağı olarak kontrolsüz bir şekilde açılan kuyu sularında yüksek nitrat konsantrasyonlarından dolayı bebeklerin bu hastalığa yakalanma riski yüksektir.

Methemoglobinemin yanı sıra, kanserler, olumsuz üreme etkileri ve daha pek çok başka sağlık sorunu da N ile kirlenmiş içme suyunun tüketimiyle bağlantılıdır (Tyagi ve ark., 2022). Ülkemizde geçerli olan içme suyu temin edilen suların kalitesi ve arıtılması hakkında yönetmelik standartlarına (TS 266) göre nitrat (NO_3^-) için insani amaçlı içme sularında müsaade edilebilir maksimum değer 50 mgL^{-1} , nitrit ve amonyum için 0.50 mgL^{-1} olarak belirlenmiştir (RG, 2019).

Sentetik gübreler inorganik malzemelerden yapılır ve bitkilere büyümeleri için ihtiyaç duydukları besinleri sağlamak üzere tasarlanmıştır. Bu kapsamda azotlu gübreler, gıda üretiminin artırılmasında ve dünya nüfusunun yarısının yeterli düzeyde beslenmesinde önemli bir rol oynamıştır. Azotlu gübreler olmasaydı bugün dünya nüfusunun neredeyse yarısının hayatta olamayacağı öngörülürken, dünyanın pek çok yerinde onlarca yıldır aşırı azotlu gübre kullanımı, toprak, su ve hava kirliliğine yol açtığından dolayı da son yılların en güncel çevresel sorunlarından birisi olarak gözükmektedir. Bu oluşan kirliliğin bir ekonomik boyutu da yadsınamayacak düzeyde fazladır. 2011 yılında yayınlanan bir makalede 5 yıllık süreçte azot bütçesi değerlendirmesine göre, kirliliğin sadece Avrupa Birliği için yıllık 70 milyar Avro ile 320 milyar Avro arasında çevresel maliyete neden olduğu belirtilirken (Sutton ve ark., 2011), 2020 yılında N kirliliği nedeniyle yıllık tahmini küresel hasar maliyetinin 800 milyar ABD dolarının üzerinde olduğu belirtilmiştir (Sha ve ark., 2020). Benzer şekilde, yoğun gübrelenmiş mısır tarlalarında N'dan salınan NH_3 ile ilişkili hava kirliliği nedeniyle ABD'de yılda 4.300 insan ölümü ve buna bağlı olarak 39 milyar dolarlık ekonomik kaybın meydana geldiği bildirilmektedir (Hill ve ark., 2019). Bu sonuçlar azotlu gübre kullanımının sadece gıda güvenliği ve çevre açısından değil ekonomik maliyetler açısından da ilerleyen süreçlerde daha da üzerinde durulması gereken bir konu olarak ön plana çıkacağını göstermektedir.

Azotlu gübreler gübre pazarında hacim ve maliyet olarak en yüksek talebi olan grubu oluşturmaktadır. 20. yüzyıla gelindiğinde tarımsal üretimde gübre endüstrisinde 'mucizevi' bir oyun değişikliği yaşanmıştır. 1909 yıllarında, Almanya'nın önde gelen kimyagerlerinden Fritz Haber ve Carl Bosch, (kükürt, karbon ve nitrat azotundan oluşan) barut üretimini genişletmeye çalışırken, tesadüfen havadaki N_2 gazından reaktif azot üretmeyi başarmışlardır (Matassa ve ark., 2023). Haber-Bosch süreci, modern insanlık tarihinin en büyük icatlarından birisidir ve enerji kullanarak atmosferik N_2 'den endüstriyel ölçekte amonyak üretimine olanak sağlar. 1914 yılında Haber ve Bosch, azot ve hidrojen karışımlarından amonyak üretmek için demir bazlı bir katalizöre dayanan endüstriyel bir proses geliştirerek gübre sektöründe bir çığır açmıştır (Şekil 4). Bu, 1918'de Fritz Haber'e ve 1931'de Carl Bosch'a verilen iki Nobel Kimya ödülüyle tanınan tek bilimsel başarıdır.

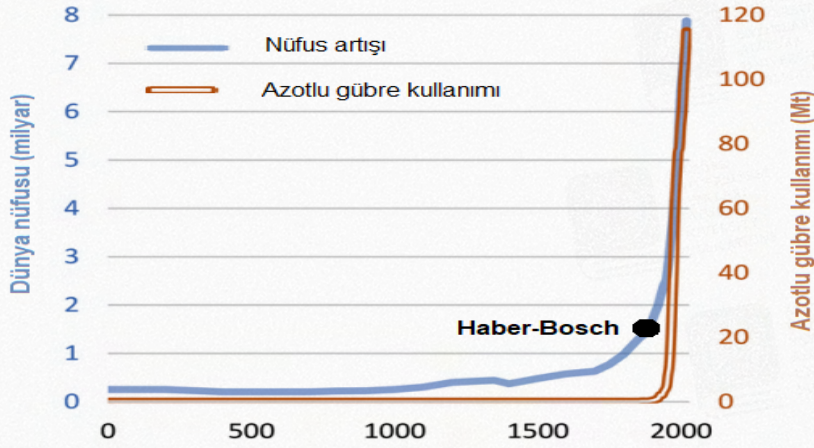
Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)



Şekil 4. Amonyak üretiminde kullanılan Haber-Bosch süreci (Wikipedia Commons, 2023)

Amonyak çeşitli sentetik azotlu gübrelerin üretiminde kullanılmaktadır. Bu keşiften önce, fikse edilmiş azotun ulaşılabilirliği çok azdı, bu da insanların beslenme ihtiyacını ve hayatta kalmak için gereken küresel gıda üretimini ciddi ölçüde kısıtlıyordu (Sutton ve ark., 2011). Yirminci yüzyılın başlarında, büyük ölçekli amonyak üretimini sağlayan bu sürecin geliştirilmesi, tartışmasız bir şekilde azot döngüsünü etkili bir şekilde hızlandıran ve insanlığın küresel gıda üretiminin önemli bir şekilde artırmasını sağlayan en iyi endüstriyel keşiflerden biri olarak kabul edilmektedir (Şekil 5).

Gübre üretiminin öncüsü olan amonyak, gıda bulunabilirliğini artırmış ve dünya nüfusunun talebini karşılayarak hızlı nüfus artışına yol açmıştır (Mayer ve ark., 2023). Erisman ve ark., (2008) ise Haber-Bosch süreci uygulanmasaydı bugün dünya nüfusunun var olandan 4 milyar daha az olacağını belirtmişlerdir. Ayrıca, azotlu gübrelerin yokluğunda, dünyada gıda için ihtiyaç duyduğumuz mahsullerin yaklaşık %30'unun kaybolacağı öngörülmektedir (Ojelade ve ark., 2023). Ancak, azotun artan üretim ve kullanımı ile ilgili öngörülemez şey, su ve hava kirliliğindeki artış, sera gazı seviyelerindeki bozulma ve amonyak üretimi ve kullanımındaki devasa artıştan kaynaklanacak biyolojik çeşitlilik kaybı da dahil olmak üzere art arda gelen çevresel değişiklikler olmuştur. Bu nedenle, N-gübrenin sentezlenmesi için sürdürülebilir teknolojiler gereklidir. Gelecekteki azotlu gübre kullanımına ilişkin farklı senaryolara dayanarak, önümüzdeki 100 yıl içinde 'azot ekonomimizin' karşı karşıya kalmasının muhtemel bazı zorlukları olacağı kaçınılmazdır. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli Emisyon Senaryoları Özel Raporuna göre (IPCC), 2100 yılında dünya nüfusunun yaklaşık 15 milyarı bulacağı yönündedir (Nakicenovic ve ark., 2000). Bu nüfus artışına paralel olarak da azotlu gübre kullanımında iki ila üç kat artış olacağı ön görülmektedir (Tilman ve ark., 2001).



Şekil 5. Azotlu gübre kullanımının küresel nüfus artışı üzerine etkisi (NFU, 2022)

Bu veriler ışığında, N gübresinin aşırı kullanımını en aza indirmek ve karbon salınımını azaltmak yaşam döngüsünün devamlılığı açısından hayati önem taşımaktadır. Ancak, artan nüfusa paralel olarak artan gıda ihtiyacı nedeniyle gelecekte de büyük olasılıkla hala önemli miktarda amonyak içeren sentetik azotlu gübrelere ihtiyacımız olacaktır. Sera gazı emisyonlarını azaltmaya ve daha az gübre kullanarak bitkisel üretimden ödün vermeden hafifletmeye yardımcı olabilecek çeşitli sürdürülebilir gübre üretimi ve uygulama yöntemleri mevcuttur. Organik gübre kullanımı, hassas tarım, ürün rotasyonu, örtü bitkileri, entegre besin yönetimi, besin geri kazanımı ve geri dönüşümü ile toprak ve bitki analizlerine dayalı gübreleme, azotlu gübrelerin kaybının ve zararlarının azaltılması açısından önemli uygulamalardır. Çiftçiler, bu sürdürülebilir gübre üretimi ve uygulamalarını benimseyerek, ürün verimini ve toprak sağlığını korurken veya iyileştirirken tarımın çevresel etkisini azaltabilir. Bu uygulamaların dışında bilim insanları son yıllarda henüz üretimi aşamasında çevresel kirliliğe neden olan azotlu gübrelerin üretiminde kullanılan amonyak üretimi için gerekli olan yüksek sıcaklığı ve basıncı azaltmak için çalışmaktadırlar (Ghavam ve ark., 2021). FAO'nun öngörülen sürdürülebilirlik senaryosu da 2050 yılına kadar net sıfır emisyonlu gübre üretimine dayanmaktadır (FAO, 2018). Amonyak, hidrojen ve azottan sentezlenir, ancak hammadde maliyetlerinin çoğu hidrojen üretimiyle ilişkilidir. Düşük karbonlu hidrojen kullanarak amonyak üretiminden kaynaklı CO₂ ayak izinin azaltılması, 2050 yılına kadar net sıfır hedeflerine ulaşmak açısından kritik öneme sahiptir. Küresel tarımsal N talebinin net sıfır emisyonla karşılanması, yeşil veya mavi hidrojen kullanarak N fiksasyonu, karbon yakalama ve depolama (CCS) ile donatılmış gri hidrojen kullanarak N fiksasyonu ve yeşil enerji yoluyla doğrudan N fiksasyonu dahil olmak üzere yeni teknolojiler gerektirecektir. Bu nedenle, gelecekte önce yeşil hidrojen üretimi, ardından modüler elektrokimyasal sentez veya diğer yenilikçi üretim teknolojilerinin eklenmesiyle amonyak üretiminin mümkün olduğunca karbondan arındırılması son derece önemli bir konu olarak gözükmektedir. Sonuç olarak, amonyak ekonomisinin geleceği düşük maliyetli ve çevre dostu bir hidrojen kaynağının mevcudiyetine bağlı olması nedeniyle amonyak ekonomisinde hidrojen üretmek amacıyla alternatif enerji kaynakları araştırılmalıdır. Bu nedenle, fosil bazlı yakıtlara dayanmayan

amonyak üretimine yönelik yeni teknolojik çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktada azotlu gübre üretiminde kullanılan amonyak kritik rol üstlenmektedir.

Amonyak Ekonomisi

Amonyak, havadaki azot gazı ile yediğimiz gıda arasında bir köprü oluşturan, tüm mineral azotlu gübrelerin başlangıç noktası ve modern tarımın omurgasıdır. Amonyagi ve türevlerini gübre olarak kullanmak, küresel gıda talebinin karşılanması için son derece önemlidir. Halen üretilen amonyagin %80'den fazlası gübre üretiminde, geri kalanı ise üre, amonyum nitrat ve diğer N bazlı kimyasalların üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır (Ganguli ve Bhatt, 2023). Amonyak ayrıca, enerji depolama ve taşıma için bir enerji taşıyıcısı olarak, poliimidler, nitrik asit, naylon, farmasötik ürünler, patlayıcı maddeler, soğutucular, boyalar, temizleme solüsyonları ve diğer endüstriyel kimyasalların üretiminde de kullanılmaktadır (Gravam ve ark., 2021). Amonyagin tarım endüstrisinde bir gübre olarak önemli rolü ve bir enerji taşıyıcısı olarak umut verici beklentileri nedeniyle, son yıllarda birçok çalışma, amonyak sentezi için çevreye en zararsız, enerji açısından verimli ve ekonomik açıdan en uygun üretim sürecini bulma üzerine odaklanmaktadır.

Azotlu gübrelerin üretimi, çoğunlukla fosil yakıtların yakılmasından elde edilen önemli miktarda enerji gerektirir. Doğal gaz genellikle gübre üretiminde başlangıç malzemesi olarak kullanılır. Spesifik olarak, sentetik azotlu gübre üretiminin ana yöntemi olan Haber-Bosch süreci, atmosferik azotu amonyaga dönüştürmek için gerekli hidrojeni sağlamak için büyük miktarlarda doğal gaz gerektirir. Neredeyse tüm azot bazlı gübreler, yüksek enerji ve karbon ayak izine sahip iki hammadde olan amonyak ve nitrik asit kullanılarak üretildiğinden, bunun enerji ve çevre üzerinde önemli etkileri vardır (Levi ve ark., 2018). Tarımsal faaliyetler toplam antropojenik NH₃ emisyonlarının yaklaşık %80-90'ını oluşturmaktadır (Xu ve ark., 2019). Tarımdan kaynaklanan NH₃ emisyonlarının başlıca kaynakları arasında hayvancılık ve hayvansal üretim, gübre işleme ve depolama, hayvan barınakları ve kimyasal gübrelerin araziye uygulanması yer almaktadır (Wyer ve ark., 2022). Tarımdan kaynaklanan amonyak emisyonları, doğal ekosistemlerin ötrofikasyonuna ve asitlenmesine ve bölgesel hava kalitesinin bozulmasına olan katkılarında dolayı uzun süredir bilinen bir sorundur (Chehade ve Dincer, 2021). Günümüz amonyak üretim süreçlerinin çoğu arasındaki ana farklılık, Haber-Bosch süreci ile birleştirilen hidrojen üretim yolundan kaynaklanmaktadır. Şu anda, dünya çapında amonyak için hidrojen üretiminin %96'sından fazlası fosil kaynaklardan sağlanmakta olup, amonyak için hidrojenin %70'inden fazlası hammadde olarak doğal gaz kullanılarak ve 2.5-2.9 kg CO₂ yayarak buhar metan reformasyonu (SMR) yoluyla üretilmektedir (MacFarlane ve ark., 2020; Mayer ve ark., 2023). Haber-Bosch süreci şu anda küresel antropojenik CO₂ emisyonlarının %1-2'sinden sorumlu olan en büyük küresel enerji tüketicilerinden ve sera gazı yayıcılarından biridir ve bu sorun araştırmacıların alternatif amonyak üretim yöntemleri önermesine öncülük etmektedir (Smith ve ark., 2020). Literatüre göre 1 T gri NH₃ üretimi yaklaşık 1.6 T sera gazı emisyonuna (GHG) neden olmaktadır (Zhang ve ark., 2013). Gübre üretimi, hacim olarak kullanılan amonyagin %80'ini, gelir açısından ise pazar büyüklüğünün %40'ını oluşturmaktadır (Lim ve ark., 2021). Bu yerleşik kullanımlara ek olarak, amonyak şu anda taşınabilir, uzun vadeli







(günlerden aylara) bir enerji depolama vektörü olarak araştırılmaktadır (Lan ve ark., 2012). Amonyanın enerji depolama olarak kullanılması, elektrokimyasal depolamanın (yani pillerin) sunduğu kısa süreli depolamaya (saniyelerden saatlere kadar) bir alternatif olarak ikinci devrimini mümkün kılacaktır (Gür, 2018). Bu nedenlerle amonyak üretiminin önümüzdeki yıllar içinde azalması pek olası değildir. Ayrıca, amonyanın tarım dışı sektörlerde (enerji) alternatif yakıt veya hidrojen depolama ortamı olarak kullanılmasına olan ilginin artmasıyla birlikte, amonyak üretiminin de katlanarak artması muhtemeldir. Bu nedenlerle, amonyak ekonomisi kavramı dünya çapında giderek artan bir ilgi görmeye başlamıştır ve amonyak talebinin dünyada 2050 yılına kadar iki katından fazla artacağı öngörülmektedir. 2015 yılında, küresel amonyak üretiminin 140 milyon tonun üzerinde olduğu bildirilirken, 2019 yılında dünya çapında 235 milyon tonluk bir üretime ulaşan miktarın 2030 yılında yaklaşık 290 milyon tona yükselmesi beklenmektedir (Soloveichik, 2017). Amonyak pazar değerinin ise önümüzdeki on yılda yıllık %6.4 bileşik yıllık büyüme oranıyla beraber artması beklenmektedir. Bu büyüme oranı 2050 yılına kadar korunursa, amonyanın piyasa değerinin 2020'de 67 milyar ABD dolarından 2050'de 430 milyar ABD dolarına yükseleceği öngörülmektedir (Lim ve ark., 2021). Şu anda yenilenebilir enerjiyle çalışan su elektrolizörleri, H₂'nin kg'ı başına 4 ABD dolarından fazla bir maliyetle çalışmaktadır; bu, H₂'nin kg'ı başına 1.3-1.5 ABD doları maliyeti olan SMR işleminden üç kat daha pahalıdır (Lagadec ve Grimaud, 2020). Bir amonyak tesisinin tipik üretim kapasitesi günde ortalama 1000 tondur ve bu da 1.5 GW'lık ortak konumlu yenilenebilir enerji kapasitesi gerektirir. Böyle bir sistemin toplam sermaye maliyeti, yıllık amonyak üretim kapasitesi başına 5 ila 7 milyar ABD doları arasında değişecektir. Bu, bugünün teknoloji maliyetlerini varsayarsak, yeşil amonyak değer zincirinde bugünden 2050'ye kadar kabaca 4 trilyon ABD dolarına denk gelen bir yatırım anlamına gelmektedir (Saygın ve ark., 2023). Sonuç olarak, aralarında Amerika Birleşik Devletleri ve Japonya'nın da bulunduğu birçok ülke amonyak ekonomisi için yol haritalarını yayınlamışlardır. Amonyak yalnızca gübre değil, aynı zamanda fosilsiz bir enerji olarak yenilenebilir kaynakların üretimi ve dağıtımında tüketici fırsatları sunan bir hidrojen taşıyıcısıdır. Enerji piyasası NH₃'ün üç hidrojen atomuyla ilgilenirken, gübre endüstrisi sadece bir azot atomuna odaklanmıştır. Bu mevcut potansiyel amonyak talebinin farkına varılması açısından kritik öneme sahiptir çünkü sektörün büyüklüğü, yenilenebilir amonyak geliştirme teknolojilerine yönelik yatırım faktörlerini ve yatırım görünümünü temelden değiştirmektedir.

Amonyak Üretiminin Geleceği

Amonyak, tarımsal gübre, gıda üretimi, endüstriyel malzemeler, soğutucular ve katkı maddeleri olarak kullanılan ikinci en büyük küresel kimyasal üründür. Son zamanlarda, amonyak, enerji taşıyıcısı (ikincil enerji kaynağı) olarak kullanılması, yüksek hacimsel hidrojen yoğunluğu, düşük depolama basıncı, uzun süreli depolama için yüksek stabilitesi, yüksek tutuşma sıcaklığı, düşük yoğunlaşma basıncı nedeniyle yoğun ilgi çekmeye başlamıştır. Bu kullanım alanlarına bağlı olarak da dünya çapında amonyak üretimi son on yılda önemli bir büyüme göstermiştir; amonyak üretiminde ilk 5 ülke (Çin, Rusya, Hindistan, ABD ve Endonezya) toplam pazarın yaklaşık %60'ını oluşturmaktadır

(Olabi ve ark., 2023). Amonyak, gübreler için önemli bir ham madde, karbonsuz bir hidrojen taşıyıcısı ve alternatif bir yakıttır. Hidrojene benzer şekilde amonyak da biyokütle, kömür, doğal gaz, güneş, rüzgar, jeotermal, hidro ve nükleer kaynaklar dahil olmak üzere farklı birincil enerji kaynaklarından üretilebilir. En sık kullanılan amonyak üretim yöntemi, yüksek çalışma basıncı ve sıcaklığı nedeniyle yüksek sera gazı emisyonu ve yüksek miktarda enerji kullanımı gibi dezavantajlara sahip olan Haber-Bosch prosesidir. Amonyak üretimiyle ilişkili büyük karbon ve enerji ayak izi, kullanılan birincil enerji kaynaklarının kömür, doğal gaz ve petrol olmasından kaynaklanmaktadır (Thiel ve Stark 2021). Amonyak, havadan gelen azotun (N_2) geleneksel olarak fosil yakıtlarından elde edilen hidrojen (H_2) ile birleştirildiği Haber-Bosch işlemiyle endüstriyel ölçekte sentezlenir. Amonyagi ana bileşenlerinden (hidrojen ve nitrojen) etkili bir şekilde sentezlemek için reaksiyon, demir bazlı bir katalizör yardımıyla nispeten yüksek bir sıcaklık ve sırasıyla 400–500 °C ve 10–30 MPa basınçta gerçekleştirilmelidir. Bu durum, üçlü bağlı nitrojenin yüksek ayrışma enerjisinden (941 kJ/mol) dolayı talep edilir. Ancak, reaksiyonu bu yüksek sıcaklık ve basınç altına getirmek için yaklaşık 30 MJ/kg- NH_3 enerjiye ihtiyaç vardır (Wang ve ark., 2018). Bugün, hidrojen, ağırlıklı olarak tarıma yönelik amonyak bazlı gübrelerin üretiminde kullanılmaktadır. Hidrojen temiz bir şekilde yanarak yalnızca su üretir ve yakıt hücrelerinde kullanılabilir; uzun zamandır geleceğin büyük yakıtlarından biri olmaya aday olmuştur. Ganguli ve Bhatt, (2023) hidrojenin üretim metodolojisine ve kaynağına göre 1) yeşil hidrojen, suyun elektrolizinden hidrojen üretilir, 2) gri hidrojen, doğal gazdan hidrojen üretilir, 3) mavi hidrojen, büyük oranda metandan oluşan doğal gazla aynı hammaddeden ve aynı buhar reformasyon işleminden üretilir ve gri hidrojenden farklı olarak karbon yakalama teknolojisine sahiptir, 4) siyah hidrojen, kömürün gazlaştırılmasından hidrojen şeklinde sınıflandırılmaktadır. Başka bir çalışmada ise hidrojen (Şekil 6), bu kaynakların türüne göre; yenilenebilir enerji ile elde edilmesi halinde “yeşil hidrojen”, fosil yakıtlardan CO_2 yakalama sistemleri kullanılarak üretilirse “mavi hidrojen”, fosil yakıtlardan piroliz gibi prosesler ile CO_2 olmadan üretilirse “turkuaz hidrojen”, nükleer enerjiyle üretilirse “pembe hidrojen”, doğal gazın reformasyonundan elde edilirse “gri hidrojen” ve gazlaştırma yöntemiyle kömürden CO_2 yakalamadan elde edilirse “kahverengi hidrojen” olarak tanımlanmaktadır (ETKB, 2023). Avrupa Birliği sınırları içerisinde önümüzdeki süreçte 130 milyar dolarlık hidrojen enerjisi projesinin hayata geçirilmesi beklenirken, ayrıca Avrupa Birliği liderlerinin, 2050 yılındaki sıfır emisyon hedefini hidrojen enerjisiyle gerçekleştirmek için 1 trilyon avroluk bir bütçe konusunda anlaştıkları düşünüldüğünde yenilenebilir kaynaklardan üretilen yeşil hidrojenin giderek önem kazanacağı gözükmemektedir. Günümüzde en yaygın hidrokarbon bazlı hidrojen üretim teknolojisi, küresel talebin yaklaşık %48'ini karşılayan buhar metan reformasyonudur (SMR) (Parkinson ve ark., 2018). Geleneksel SMR'de metan, karbon monoksit ve hidrojen üretmek için nispeten yüksek sıcaklıkta, 650-1000 °C'de ve 5-40 bar basınçta bir katalizör kullanılarak buharla reaksiyona sokulur. Su-gaz kaydırma reaksiyonunda karbon monoksitin su ile reaksiyona sokulması yoluyla ilave hidrojen üretilir (Gravam ve ark., 2021). Hidrojen, suyun elektrolizi veya doğal gaz, kömür veya biyokütlenin buharla reformasyonu yoluyla üretilebilen, karbonsuz bir enerji taşıyıcısı olma avantajına sahip olmasına rağmen %96'sı fosil yakıtlar kullanılarak üretilerek yüksek

sera gazı emisyonlarına neden olmaktadır. (Munoz Diaz ve ark., 2023). Doğal gaz şu anda hidrojen üretiminin ana kaynağıdır ve yaklaşık 70 milyon tonluk yıllık küresel hidrojen üretiminin yaklaşık dörtte üçünü oluşturmaktadır. 1975'ten bu yana üç kattan fazla büyüyen hidrojen üretimi, küresel doğal gazın %6'sını ve küresel kömürün ise %2'sini kullanmaktadır. Hidrojen üretiminin maliyeti kullanılan yöntemlere göre değişmekle birlikte, doğal gazdan hidrojen üretiminin maliyeti kilogram başına yaklaşık 1.50 ABD doları iken, temiz hidrojenin maliyeti kilogram başına yaklaşık 5 ABD dolardır (Adeli ve ark., 2023). Şu anda dünyanın bazı bölgelerinde ise yeşil hidrojenin kilogram maliyeti 3.6 ila 9.5 ABD doları arasındadır (Munoz Diaz ve ark., 2023). Enerji yoğunluğu, düşük üretim maliyeti ve düşük karbon içeriği nedeniyle H₂'nin tüm enerji bazlı sektörlerde kesinlikle hayati bir rol oynayacağı çok açıktır.

Teknoloji	Birincil Enerji/Elektrik Kaynağı	Karbon Ayak İzi (kgCO ₂ /kgH ₂)	Maliyeti (ABD doları/kgH ₂)
 Su elektrolizi	Yenilenebilir enerji	<1	4,0-9,0
 Su elektrolizi	Nükleer enerji	<2	3,5-7,0
 Pirroliz	Fosil yakıt	<3	1,25-2,20
 Buhar metan reformlama (karbon yakalama ile)	Doğal gaz, kömür	<4	1,5-3,00
 Buhar metan reformlama (karbon yakalamadan)	Doğal gaz	8-10	0,5-1,70
 Gazlaştırma	Kömür	>20	1,0-2,2

Şekil 6. Kaynaklarına göre hidrojen üretim yöntemleri (ETKB, 2023)

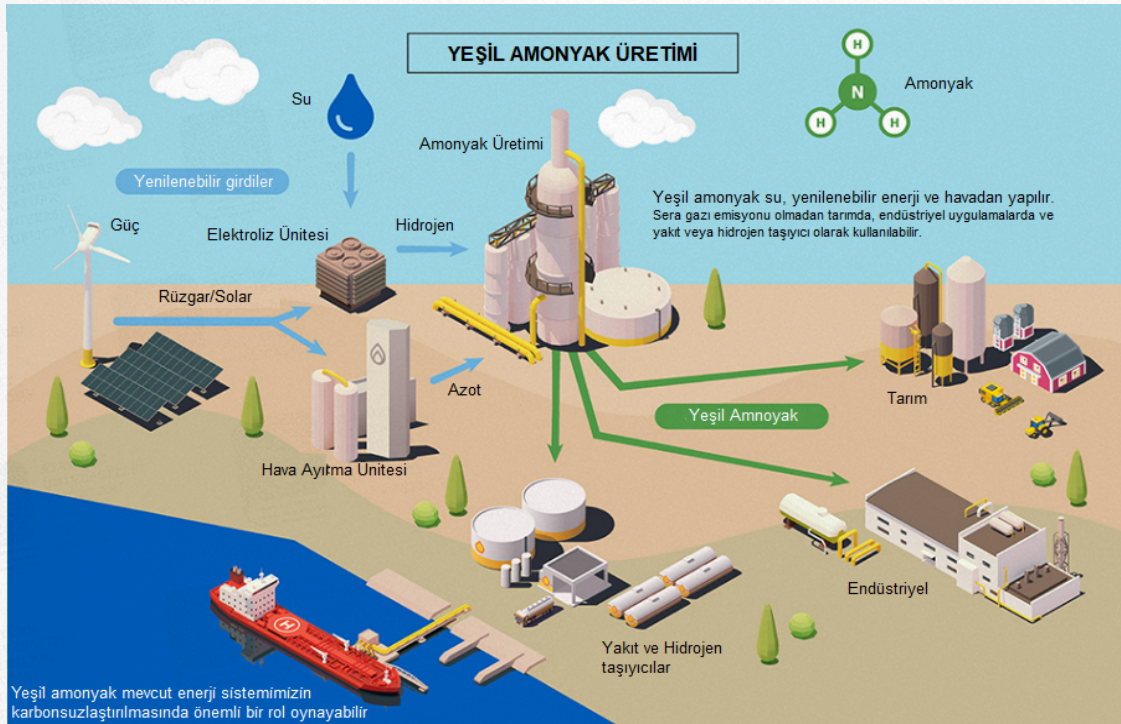
Son yıllarda küresel hidrojen talebi giderek artış göstermektedir 2017 yılında 60Mt (Philibert, 2017) olan hidrojen üretimi, 2019 yılında yaklaşık 70 Mt (Ikonnikova ve ark., 2023) ve günümüzde ise 94 Mt'a ulaşmıştır (Saygın ve ark., 2023). Hidrojen Konseyi'ne göre, dünyanın tek başına yıllık hidrojen talebi 2050 yılına kadar 500-680 Mt'a yaklaşacağı öngörülmektedir (Adeli ve ark., 2023). Hidrojen yaygın olarak amonyak üretimi (%51), petrol rafinasyonu (%31), metanol üretimi (%10) ve kalan %8'i diğer kullanımlar için kullanılmaktadır (Kannah ve ark., 2021). Hidrojen, amonyak sentezinin temel bileşeni olduğundan, odak noktamızın sürdürülebilir hidrojen üretim yolları olması gereklidir. Hidrojen üretimine yönelik alternatif temiz üretim süreçlerinin, son yıllarda maliyetleri de düştüğü için de hidrojen, politika yapımcıların ve endüstri aktörlerinin ilgisini çekmeye başlamıştır. Küresel olarak amonyak üretimi için üretilen hidrojenin %72'si SMR işleminden, %26'sı ise kömürden elde edilmektedir (Gravam ve ark., 2021). Bu süreçler

için metan, fosil yakıtlarından elde edilmektedir. Fosil kaynaklar arasında doğal gazdaki metan, üretilen karbondioksitin birim kütlesi başına en fazla enerjiyi sağlar ve potansiyel olarak en büyük fosil rezervidir. Ancak, fosil yakıtları sınırlı bir kaynak olmalarının yanı sıra, atmosferde sera gazlarının salınımına yol açarak ciddi çevresel kaygılara yol açmaktadır. Amonyak üretiminden kaynaklanan doğrudan emisyonlar şu anda 450 Mt CO₂ tutarındadır; bu, Güney Afrika'nın toplam enerji sistemi emisyonlarına eşdeğer bir ayak izidir. Bununla birlikte, elektrik üretimi ve üre bazlı gübreler toprağa uygulandığında meydana gelen kimyasal reaksiyonlardan kaynaklanan dolaylı CO₂ emisyonları ise yılda yaklaşık 170 Mt'a ulaşmaktadır (IEA, 2021). Bu emisyonların düşürülmesi için de dünyanın dört bir yanındaki hükümetlerin enerji sisteminden kaynaklanan emisyonların net sıfıra doğru yönelmesi gerektiğini ilan ettiği bir dönemde, giderek artan sayıda ve varlıklı küresel nüfus, amonyak talebinde artışa yol açacaktır. Gelecek senaryolar bu açılardan değerlendirildiğinde ise çevresel kaygıların ötesinde enerji verimliliği ve gıda güvenliğinin sağlanması için yenilikçi amonyak üretim yöntemlerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması gereklidir. Elektroliz, metan pirolizi ve karbon yakalama ve depolama (CCS) ile fosil bazlı yollar da dahil olmak üzere sıfıra yakın emisyon üretim yöntemleri ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan bu yöntemler, enerji fiyatlarına ve bölgesel olarak değişen diğer faktörlere bağlı olarak, geleneksel üretim metotlarına göre üretilen amonyak ile karşılaştırıldığında ton başına genellikle %10-100 daha pahalıdır. MacFarlane ve ark., (2020) amonyak üretimi için, fosil yakıt kaynaklarını kullanan Haber-Bosch süreci (1. Nesil), yenilenebilir kaynakları kullanan Haber-Bosch süreci (2. Nesil) ve elektrokimyasal süreçler (3. Nesil) olmak üzere üç teknolojinin kullanılabilirliğini belirtmişlerdir. Bu kapsamda, ülkemizde bu noktada bu yeni süreçlere uygun politikalar ve üretim modelleri geliştirerek konuyla ilgili yol haritasını ortaya koymak zorundadır. Şu anda, amonyak hammadde olarak doğal gaz (%50), petrol (%31) veya kömür (%19) kullanarak fosil yakıtlardan üretilmektedir. Amonyak, gübre olarak mevcut kullanımının ötesinde, nakliye yakıtı olarak, enerji üretiminde yakıt olarak ve hidrojen taşıyıcısı olarak da kullanılabilir. Sürdürülebilir amonyak üretimi için en yaygın olarak benimsenen teknoloji, hidrojen üretmek için rüzgar ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir teknolojilerle birlikte su elektrolizidir. Su elektrolizi işlemleri, elektrik enerjisinin uygulanması yoluyla suyu hidrojen ve oksijene ayırır. Genel olarak, bir su elektrolizörünün çalışması için yüksek saflık seviyelerine sahip ön arıtılmış suyun sürekli olarak tedarik edilmesi gerekir. Ayrıca, 1 ton hidrojen üretimi için 9 ton suya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu verilere göre suyun elektrolizi yoluyla aynı miktarda amonyak üretimi için 233.6 milyon ton/yıl suya ihtiyaç duyulmaktadır (Gravam ve ark., 2021). Bir kişinin ortalama olarak günde yaklaşık 120 litre su kullandığı esas alındığında, 1 GW'lık bir hidrojen tesisinin günde yaklaşık 50.000 kişiye eşdeğer su tüketeceği hesaplanmaktadır. Su krizinin beklendiği bir gelecek için de bu konu bir sorun olarak gözükmektedir. Sonuç olarak, hidrojen üreticilerinin, düşük kaliteli suyun arıtılmasıyla ilgili olarak daha yüksek su maliyetleri ve enerji maliyetleriyle karşı karşıya kalabileceği öngörülmektedir. Biyokütlenin gazlaştırılmasından da amonyak üretimi son birkaç yılda birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Arora ve ark., 2017; Zheng ve ark., 2023). Gilbert ve ark., (2014), biyokütle gazlaştırma bazlı amonyak üretim sistemi için sera gazı emisyonlarında %65 azalma elde edilebileceğini belirtmişlerdir. Arora ve ark., (2017) göre biyolojik hidrojen

üretim süreci kullanılarak biyokütleden amonyak üretiminin temel zorluklarından biri, biyokütleden amonyak üretiminin yalnızca büyük hacimlerde (küresel düzeyde amonyak üretimi) uygulanabilir olmasıdır. Ölçek ekonomileri nedeniyle, küçük tesisler büyük ölçekli tesislere kıyasla dezavantajlı durumdadır. Araştırmacılar, ayrıca biyokütlenin daha uzun mesafelere (>100 km) taşınmasının ekonomik açıdan uygun olmadığını, çünkü taşıma maliyetinin biyokütlerdeki enerji değerini aşacağını belirtmiştir. Bunun nedeni, biyokütlenin fosil yakıtlara kıyasla daha düşük bir enerji yoğunluğuna sahip olmasıdır. Amonyak üretimi için hidrojen üretim süreçleri değerlendirilirken bu hususun dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir. Amonyak endüstrisi bugün dünyanın en büyük hidrojen üreticisi ve kullanıcısidir. Salmon ve Banares-Alcantara (2021) amonyağı üretim şekline göre kahverengi, gri, yeşil ve mavi amonyak şeklinde 4 gruba ayırarak tanımlamıştır. Buna göre, kömür gazlaştırma kullanılarak yapılıyorsa kahverengi, doğal gaz reformasyonu kullanılarak yapılıyorsa gri olarak etiketlenmektedir. Bu fosil yakıt işlemlerine aynı zamanda geleneksel amonyak üretimi de denir. Mavi amonyak, kahverengi ve gri amonyakla aynı ham maddeyi kullanır ancak bir karbon yakalama ve depolama (CCS) ünitesi içerir. Gerçekten 'mavi' olması için, bu CCS ünitesinin her iki baca gazı akışındaki CO₂'yi yakalaması gerekir. Yeşil amonyak şu anda yaygın olarak üretilmemektedir ancak tamamen elektrik, su ve havadan faydalanılarak amonyak üretimini kapsamaktadır. 'Yeşil' amonyak terimi literatürde, şu anda çoğunda bir şebeke bağlantısı bulunmasına rağmen, elektriğin yenilenebilir kaynaklardan elde edildiğini ifade etmektedir (Şekil 7). Ancak, geniş ölçekte ekonomik fayda elde etmek için NH₃ tesisleri merkezleştirilmiş ve çok büyük boyuttadır, bu da yenilenebilir enerjiyle uyumluluğun düşük olmasına yol açmaktadır. Bu nedenle, yeşil NH₃ üretimi için merkezi olmayan, fosil yakıt içermeyen ve karbon nötr prosesin geliştirilmesi oldukça talep görmektedir (Smith ve ark., 2020). Bu nedenle de amonyak endüstrisi için suyun ayrıştırılmasından elde edilen yeşil H₂'nin kullanılması, temiz enerji depolaması için en umut verici hibrit sentez yaklaşımlarından biri olarak kabul edilmektedir (Grinberg ve ark., 2020; Tang ve ark., 2021; Yao ve ark., 2022). Sürdürülebilir Kalkınma Senaryosunda sektör, Paris Anlaşması hedefleriyle uyumlu bir yola girmek için gerekli teknoloji ve politikaları benimseyerek amonyak endüstrisi için enerji sisteminin 2050 yılına kadar küresel olarak net sıfır emisyonu ulaşmasıyla uyumlu bir gidişat tanımlanmaktadır. Amonyak hem fosil yakıtlardan hem de yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilebilir. Bu birincil enerji kaynakları daha sonra ön arıtma, dönüşüm ve sentez dahil olmak üzere çeşitli işlemlerle amonyağa dönüştürülür. Ek olarak, fazla elektrik aynı zamanda hidrojene de dönüştürülebilir, o da amonyağa dönüştürülür ve bu da gücün amonyağa dönüştürülmesine yol açacaktır. Üretilen amonyak daha sonra depolanır, taşınır ve kullanımı için kullanıcılara dağıtılır. Dünyadaki pek çok ülke, amonyağı gelecekteki enerji sisteminin önemli oyuncularından biri olarak kullanma konusunda güçlü bir motivasyona sahiptir. Bu nedenle, bu ülkeler geleceğin yol haritasını belirlemeye ve bu planı hayata geçirecek teknolojileri geliştirmeye çalışmaktadır. Dünya çapında pek çok şirket rüzgar veya güneş enerjisiyle çalışan pilot ölçekli santrallere yatırım yapmaktadır. Bu rota, mevcut amonyak tesislerini büyük bir kesinti olmadan doğrudan yeşil NH₃ endüstrilerine dönüştürebilir. Yeşil amonyak üretiminin yaygın yolu, yeşil hidrojen üretimi için suyu bölmek amacıyla yenilenebilir enerjinin kullanılmasını içeren

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

Haber Süreci aracılığıyla amonyak enerjisinin elde edilmesidir (Dange ve ark., 2021). Yenilenebilir enerji, fosil yakıtların aşırı kullanımının neden olduğu küresel çevre sorunlarını azaltmak için sürdürülebilir bir enerji çözümü olarak büyük ilgi görmektedir. Ancak, yenilenebilir enerjiyle elektrik üretim modelinin doğası öngörülemez ve üretimi coğrafi olarak dengesizdir. Yenilenebilir enerji, fosil yakıtların aşırı kullanımından kaynaklanan küresel çevre sorunlarını hafifletmek için sürdürülebilir bir enerji çözümü olarak büyük ilgi görmektedir. Ancak, yenilenebilir enerji ile elektrik üretim modellerinin yapısı değişken ve üretimi coğrafi olarak dengeli değildir. Yenilenebilir enerjinin toplu üretim alanları genellikle toplu enerji tüketim alanlarından uzaktır. Bu nedenle, yenilenebilir enerjinin depolanmasını ve taşınmasını sağlayan enerji taşıyıcıları gereklidir, enerji arzı ve talebi arasındaki zamansal ve konumsal tutarsızlıklar ve oluşacak maliyetler bu nedenle hale belirsizdir (Cha ve ark., 2021). Bugünün yenilenebilir amonyak maliyeti, iyi güneş ve rüzgar kaynaklarına sahip yerlerde tonu 720 ABD dolarıdır. Dolayısıyla, bu maliyet bugünkü amonyak spot fiyatının altındadır ve önümüzdeki yıllarda yarıya düşmesi beklenmektedir (Gielen, 2023). Bu durum yeşil amonyağa olan talebin artması demektir.



Şekil 7. Yeşil amonyak üretim şeması

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı'nın (IRENA) senaryosuna göre 2050 yılına kadar yeşil hidrojenden amonyak üretiminin payı %83 olarak tahmin edilmektedir. Aynı senaryoda, mavi amonyağın payının %11 olacağı ve geri kalan %6'lık kısmın karbon tutmayan fosil yakıtlardan üretileceği tahmin edilmektedir (Saygın ve ark., 2023). Yeşil amonyak üretimi yalnızca su, hava ve enerji gerektirir ve yanma sırasında karbon emisyonu olmayan bir üretim sistemidir. Yeşil amonyak sektörü için önemli olan, onu destekleyecek

yeterli yenilenebilir enerjinin bulunup bulunmayacağıdır. Yenilenebilir kaynaklara ilişkin tahminler olumlu gözükmektedir. Örneğin, BP'nin en son Enerji Görünümü, yenilenebilir enerji kaynaklarının 2018'de dünya enerji arzının %5'inden 2050'ye kadar %45-60'a çıkacağını ve maliyetlerin %30-70 oranında azalacağını tahmin etmektedir. Yeşil amonyak pazarının büyüklüğü 2022 yılında 0.3 milyar ABD doları olarak değerlendirilmiş ve 2023 yılında 0.52 milyar ABD doları, 2032 yılına kadar yaklaşık 70.19 milyar ABD dolarını aşacağı ve 2023-2032 tahmin döneminde %72.6'lık bir yıllık bileşik büyüme oranıyla büyüyeceği tahmin edilmektedir (PR, 2022). Yeşil amonyağın emisyonu olmadığından ve 2050'den önce bir noktada geleneksel üretim maliyetinin altına düşmesi beklendiğinden, yüzyılın ortalarına doğru amonyak üretiminin baskın modu haline gelmesi muhtemel olarak gözükmektedir. Yeşil amonyak üretimi sırasında, elektroliz ve hava ayırma adımlarından kaynaklanan bir ton amonyak başına yan ürün olarak 1.4 ton oksijen üretilir. Yüksek saflıkta oksijen, yeşil amonyağın oksijenle yakın olarak üretilmesi şartıyla, tıbbi sektördeki uygulamaların yanı sıra gübre tesislerindeki nitrik asit tesisleri, çelik endüstrisi ve elektrik üretimi gibi endüstriyel prosesler de dahil olmak üzere çeşitli pazarlarda kullanılabilir (Saygın ve ark., 2023).

İnsanlığın fosil yakıtlara bağımlılığını azaltmanın umut verici bir yolu, enerji karışımında ve değerli kimyasalların üretiminde jeotermal, hidroelektrik, biyokütle, güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir kaynakların nüfuzunu arttırmasıdır (Demirhan ve ark., 2019). Fosil olmayan kaynaklardan hidrojen üretimi için alternatif süreçler küçük pazarlar için ticari olarak mevcuttur, ancak büyük ölçekli uygulamalar için ekonomik olarak rekabet edebilmek için teknolojilerin düşük maliyetli ve bol miktarda hidrokarbon kullanan teknolojilerle rekabet etmesi gerekir. Hidrokarbonları doğrudan yenilenebilir türevli elektrikle değiştirmek, bu sorunları azaltmanın bir yolu olabilir. Ancak çoğu durumda, mevcut endüstriyel süreçleri sürdürmek için elektrik enerjisinin termal enerjiye dönüştürülmesi (ısının elektrifikasyonu) mümkün değildir. Örneğin sanayideki termal ihtiyaçların karşılanması için dağıtım altyapımızdan geçen elektriğin yaklaşık iki katına çıkması gerektiği tahmin edilmektedir (Mayer ve ark., 2023). Bu, iletim ve dağıtım altyapımıza önemli bir yatırım gerektireceğinden dolayı potansiyel olarak yenilenebilir enerji üretiminin yüksek olduğu ve elektrik maliyetlerinin düşük olduğu bölgelerde bu sistem verimli olarak kullanılabilir (Wismann ve ark., 2019).

Sektörün bu zorluklara hazırlıklı olması ve uzun vadede yaşayabilirliğini sağlamak için daha sürdürülebilir uygulamaları benimsemesi gerekmektedir. Günümüzde üretilen amonyağın büyük çoğunluğu gri olup gübre üretiminde kullanılmaktadır. Yeşil amonyağın sermaye yoğun doğası, yeşil amonyak pazarının gelişmesinin önündeki en büyük engeldir. Ancak yeşil hidrojen üretimine büyük yatırımlar gerektirecek olan enerji sektörünü karbondan arındırmaya yönelik küresel çaba, düşük karbonlu yeşil ve mavi amonyak için rekabeti artıracaktır. Gelecekte öngörülen yasal düzenlemeler ve karbon salınımının azaltılması hedefleri, gelecekteki üretimi giderek daha fazla yeşil ve mavi amonyağa doğru itecektir. Günümüzde üretim maliyetleri daha yüksek olan yeşil ve mavi amonyağın üretilmesi, AB'nin Yeşil Anlaşma ve Emisyon Ticaret Sistemi (ETS), ABD'nin Enflasyonu Azaltma Yasası (IRA) ve Japonya'nın Hidrojen Stratejisi gibi son girişimler nedeniyle bu pazarlarda yeşil ve mavi amonyak maliyetini gri amonyakla rekabet edebilir,

hatta daha ucuz hale getirebilir düzeylere çekebilir. Bu konunun başka bir boyutu da yeşil amonyağın gelişen ve büyüyen ticari pazarıdır. Bu büyüyen pazar fırsatını değerlendirmek ekonomik açıdan da bir fırsat olarak gözükmektedir.

SONUÇ

Haber-Bosch teknolojisi aracılığıyla amonyak üretimi, insanların yüzyıldan fazla bir süredir küresel gıda üretimini artırmasına olanak sağlamıştır. Ancak, bu teknoloji çok fazla enerji tüketerek ve çok fazla CO₂ üreterek çevre üzerinde kaygılara yol açmaktadır. Sonuç olarak, net sıfır karbon emisyonu hedefine ulaşmak için karbondan arındırma planlarının geliştirilmesi kritik öneme sahiptir. Azotlu gübre sektörünün geleceği bu noktada belirsizdir ve sektörü etkileyebilecek birçok faktör vardır. Artan nüfus nedeniyle azotlu gübreye yönelik küresel talep giderek artmaktadır, ancak çevresel baskıların azaltılması için azotlu gübrelerin daha verimli kullanılması gereklidir. Ayrıca, sektörün daha sürdürülebilir uygulamaları benimsemesini gerektirecek düzenleyici kanuni zorunlukların da gelecekte artacağı ön görülmektedir. Bu nedenlerle, azotun daha etkin kullanılacağı uygulama ve metotların geliştirilmesinin yanı sıra üretimi sırasında ortaya çıkan kirliliğin boyutunu da azaltıcı öneme ihtiyaç olacağı gözükmektedir. Ayrıca, son yıllardaki önemli ilerlemelere rağmen, azotun amonyağa uzun vadeli elektrokimyasal dönüşümü, yalnızca yenilenebilir kaynaklardan gübre hammaddelerinin yaygın şekilde üretilmesiyle sağlanabilir. Ancak, amonyakla ilgili teknolojilerin maliyetini düşürmek ve verimliliğini artırmak için hala yenilikçi teknolojik gelişmelere ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde amonyağın pek çok sektörlerde kullanımı, dünyayı düşük karbonlu bir geleceğe doğru değiştirmede yeniden önemli bir rol oynama potansiyeline sahip olması nedeniyle birçok ülke bu büyük fırsatın kokusunu alarak yenilenebilir enerjiyle desteklenen hidrojenin, hidrokarbon bazlı hidrojenin yerini aldığı, amonyağa giden bir yol olan yeşil amonyak geliştirmeye yönelik stratejiler oluşturmaya başlamışlardır. Bu nedenle, ülkemizin de hızla gelişmekte olan amonyak ekonomisine ayak uydurarak bu fırsatı yakalayacak politikalar üretmesi gereklidir.

KAYNAKLAR

- Adeli, K., Nachtane, M., Faik, A., Saifaoui, D., & Boulezhar, A. (2023). How Green Hydrogen and Ammonia Are Revolutionizing the Future of Energy Production: A Comprehensive Review of the Latest Developments and Future Prospects. *Applied Sciences*, 13(15), 8711.
- Akmermer, B. (2022). Güncel Gelişmelerin Etkisinde Gübre Sektörü Küresel Ticareti ve Türkiye'nin Tarımsal Sürdürülebilirliğine Etkileri. V. Uluslararası Kahramanmaraş Yönetim, Ekonomi ve Siyaset Kongresi, Bursa
- Altuntepe, V., & Aşkan, E. (2023). Türkiye'de gübre üretim tüketim ve ticaretinde mevcut durum analizi. Sürdürülebilir kalkınmada tarımsal faaliyetlerin yeri ve önemi, Efeakademi Yayınları, İstanbul.

- Arora, P., Hoadley, A. F., Mahajani, S. M., & Ganesh, A. (2017). Multi-objective optimization of biomass based ammonia production-Potential and perspective in different countries. *Journal of cleaner production*, 148, 363-374.
- Baligar, V. C., Fageria, N. K., & He, Z. L. (2001). Nutrient use efficiency in plants. *Communications in soil science and plant analysis*, 32(7-8), 921-950.
- Behnassi, M., & El Haiba, M. (2022). Implications of the Russia–Ukraine war for global food security. *Nature Human Behaviour*, 6(6), 754-755.
- Ben Hassen, T., & El Bilali, H. (2022). Impacts of the Russia-Ukraine war on global food security: towards more sustainable and resilient food systems?. *Foods*, 11(15), 2301.
- Benton, T.; Froggatt, A.; Wellesley, L.; Grafham, O.; King, R.; Morisetti, N.; Nixey, J. & Schröder, P. (2022) *The Ukraine War and Threats to Food and Energy Security: Cascading Risks from Rising Prices and Supply Disruptions*; Chatham House: London, UK.
- Cha, J., Park, Y., Brigljević, B., Lee, B., Lim, D., Lee, T., ... & Jo, Y. S. (2021). An efficient process for sustainable and scalable hydrogen production from green ammonia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 152, 111562.
- Chegade, G., & Dincer, I. (2021). Progress in green ammonia production as potential carbon-free fuel. *Fuel*, 299, 120845.
- Congreves, K. A., Otchere, O., Ferland, D., Farzadfar, S., Williams, S., & Arcand, M. M. (2021). Nitrogen use efficiency definitions of today and tomorrow. *Frontiers in Plant Science*, 12, 637108.
- Dange, P., Pandit, S., Jadhav, D., Shanmugam, P., Gupta, P. K., Kumar, S., ... & Bhatia, S. K. (2021). Recent developments in microbial electrolysis cell-based biohydrogen production utilizing wastewater as a feedstock. *Sustainability*, 13(16), 8796.
- Demirhan, C. D., Tso, W. W., Powell, J. B., & Pistikopoulos, E. N. (2019). Sustainable ammonia production through process synthesis and global optimization. *AIChE Journal*, 65(7), e16498.
- Drescher, A., Glaser, R., Richert, C., & Nippes, K. R. (2011). Demand for key nutrients (NPK) in the year.
- Erismann, J. W., Sutton, M. A., Galloway, J., Klimont, Z., & Winiwarer, W. (2008). How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nature geoscience*, 1(10), 636-639.
- ETKB,Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2023). Türkiye Hidrojen Teknolojileri Stratejisi ve Yol Haritası, https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/SGB/tr/Kurumsal_Politikalar/HSP/ETKB_Hidrojen_Stratejik_Plan2023.pdf
- FAO. 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *The Future of Food and Agriculture - Alternative pathways to 2050* , <https://www.fao.org/3/I8429EN/i8429en.pdf>. [Google Scholar]

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

- FAO. 2019. Food and Agriculture Organization of the United Nations. World Fertilizer Trends and Outlook to 2022. Rome. <https://www.fao.org/3/ca6746en/ca6746en.pdf>. [Google Scholar]
- FAO. 2023. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/faostat/en/#compare> . [Google Scholar]
- Ganguli, A., & Bhatt, V. (2023). Hydrogen production using advanced reactors by steam methane reforming: a review. *Frontiers in Thermal Engineering*, 3, 1143987.
- Ghavam, S., Vahdati, M., Wilson, I. A., & Styring, P. (2021). Sustainable ammonia production processes. *Frontiers in Energy Research*, 9, 34.
- Gielen, D. (2023). 1st Symposium on ammonia energy. Opening remarks. *Journal of Ammonia Energy*, 1(1).
- Gilbert, P., Alexander, S., Thornley, P., & Brammer, J. (2014). Assessing economically viable carbon reductions for the production of ammonia from biomass gasification. *Journal of cleaner production*, 64, 581-589.
- Griffis, T. J., Chen, Z., Baker, J. M., Wood, J. D., Millet, D. B., Lee, X., ... & Turner, P. A. (2017). Nitrous oxide emissions are enhanced in a warmer and wetter world. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(45), 12081-12085.
- Grinberg Dana, A., Elishav, O., Bardow, A., Shter, G. E., & Grader, G. S. (2016). Nitrogen-based fuels: a power-to-fuel-to-power analysis. *Angewandte Chemie International Edition*, 55(31), 8798-8805.
- Gutierrez-Moya, E., Lozano, S., & Adenso-Díaz, B. (2023). A pre-pandemic analysis of the global fertiliser trade network. *Resources Policy*, 85, 103859.
- Gür, T. M. (2018). Review of electrical energy storage technologies, materials and systems: challenges and prospects for large-scale grid storage. *Energy & Environmental Science*, 11(10), 2696-2767.
- Hill, J., Goodkind, A., Tessum, C., Thakrar, S., Tilman, D., Polasky, S., ... & Marshall, J. (2019). Air-quality-related health damages of maize. *Nature Sustainability*, 2(5), 397-403.
- IEA, (2023). Global ammonia production by technology and scenario, 2020-2050. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-ammonia-production-by-technology-and-scenario-2020-2050>.
- IFA, (2020). Public Summary Short-Term Fertilizer Outlook 2020 – 2021, Market Intelligence and Agriculture Services <https://api.ifastat.org/reports/download/13140>.
- Ikonnikova, S. A., Scanlon, B. R., & Berdysheva, S. A. (2023). A global energy system perspective on hydrogen Trade: A framework for the market color and the size analysis. *Applied Energy*, 330, 120267.
- Kannah, R. Y., Kavitha, S., Karthikeyan, O. P., Kumar, G., Dai-Viet, N. V., & Banu, J. R. (2021). Techno-economic assessment of various hydrogen production methods–A review. *Bioresource technology*, 319, 124175.

- Lagadec, M. F., & Grimaud, A. (2020). Water electrolyzers with closed and open electrochemical systems. *Nature Materials*, 19(11), 1140-1150.
- Lan, R., Irvine, J. T., & Tao, S. (2012). Ammonia and related chemicals as potential indirect hydrogen storage materials. *International journal of hydrogen energy*, 37(2), 1482-1494.
- Levi, P. G., & Cullen, J. M. (2018). Mapping global flows of chemicals: from fossil fuel feedstocks to chemical products. *Environmental science & technology*, 52(4), 1725-1734.
- Li, T., Wang, Z., Wang, C., Huang, J., Feng, Y., Shen, W., ... & Yang, L. (2022). Ammonia volatilization mitigation in crop farming: A review of fertilizer amendment technologies and mechanisms. *Chemosphere*, 303, 134944.
- Lim, J., Fernández, C. A., Lee, S. W., & Hatzell, M. C. (2021). Ammonia and nitric acid demands for fertilizer use in 2050. *ACS Energy Letters*, 6(10), 3676-3685.
- Mahankale, N. R. (2023). Global influence of synthetic fertilizers on climate change. *Applied Geomatics*, 1-9.
- MacFarlane, D. R., Cherepanov, P. V., Choi, J., Suryanto, B. H., Hodgetts, R. Y., Bakker, J. M., ... & Simonov, A. N. (2020). A roadmap to the ammonia economy. *Joule*, 4(6), 1186-1205.
- Matassa, S., Boeckx, P., Boere, J., Erisman, J. W., Guo, M., Manzo, R., ... & Verstraete, W. (2023). How can we possibly resolve the planet's nitrogen dilemma?. *Microbial Biotechnology*, 16(1), 15-27.
- Mayer, P., Ramirez, A., Pezzella, G., Winter, B., Sarathy, S. M., Gascon, J., & Bardow, A. (2023). Blue and green ammonia production: A techno-economic and life cycle assessment perspective. *IScience*, 26(8).
- Mohammed, S., Gill, A.R., Alsafadi, K., Hijazi, O., Yadav, K.K. Khan, A.H. (2021). An overview of greenhouse gases emissions in Hungary. *Journal of Cleaner Production*, 34:127865.
- Munoz Diaz, M. T., Chávez Oróstica, H., & Guajardo, J. (2023). Economic Analysis: Green Hydrogen Production Systems. *Processes*, 11(5), 1390.
- Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., Vries, B. D., Fenhann, J., Gaffin, S., & Zhou, D. (2000). *Special Report on Emissions Scenarios. Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK).
- Neik, T. X., Siddique, K. H., Mayes, S., Edwards, D., Batley, J., Mabhaudhi, T., ... & Massawe, F. (2023). Diversifying agrifood systems to ensure global food security following the Russia–Ukraine crisis. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1124640.
- Ojelade, O. A., Zaman, S. F., & Ni, B. J. (2023). Green ammonia production technologies: A review of practical progress. *Journal of Environmental Management*, 342, 118348.

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

- Olabi, A. G., Abdelkareem, M. A., Al-Murisi, M., Shehata, N., Alami, A. H., Radwan, A., ... & Sayed, E. T. (2023). Recent progress in Green Ammonia: Production, applications, assessment; barriers, and its role in achieving the sustainable development goals. *Energy Conversion and Management*, 277, 116594.
- Parkinson, B., Tabatabaei, M., Upham, D. C., Ballinger, B., Greig, C., Smart, S., & McFarland, E. (2018). Hydrogen production using methane: Techno-economics of decarbonizing fuels and chemicals. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(5), 2540-2555.
- Philibert, C. (2017). Producing ammonia and fertilizers: new opportunities from renewables. IEA Rep, 1-6. <https://cdi.mecon.gob.ar/bases/docelec/az3521.pdf>
- PR, Precedence Research, (2022). Green Ammonia Market (By Technology: Alkaline Water Electrolysis, Proton Exchange, Membrane, Solid Oxide Electrolysis; By End User: Transportation, Power Generation, Industrial Feedstock, Others; By Sales Channel: Direct Sale, Indirect Sale) - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends, Regional Outlook, and Forecast 2023-2032. <https://www.precedenceresearch.com/green-ammonia-market>
- Randive, K., Raut, T., & Jawadand, S. (2021). An overview of the global fertilizer trends and India's position in 2020. *Mineral Economics*, 1-14.
- Resmi Gazete (RG), 2019. İçme suyu temin edilen suların kalitesi ve artırılması hakkında yönetmelik. Ek 1 Kategorilere göre su kalite standartları. Tarihi: 06 Temmuz 2019, Resmî Gazete Sayısı: 30823.
- Roell, M. S., & Zurbruggen, M. D. (2020). The impact of synthetic biology for future agriculture and nutrition. *Current Opinion in Biotechnology*, 61, 102-109.
- Salmon, N., & Bañares-Alcántara, R. (2021). Green ammonia as a spatial energy vector: a review. *Sustainable Energy & Fuels*, 5(11), 2814-2839.
- Saygın, D., Blanco, H., Boshell, F., Cordonnier, J., Rouwenhorst, K., Lathwal, P., & Gielen, D. (2023). Ammonia Production from Clean Hydrogen and the Implications for Global Natural Gas Demand. *Sustainability*, 15(2), 1623.
- Sha, Z., Ma, X., Wang, J., Lv, T., Li, Q., Misselbrook, T., & Liu, X. (2020). Effect of N stabilizers on fertilizer-N fate in the soil-crop system: A meta-analysis. *Agriculture, ecosystems & environment*, 290, 106763.
- Smith, C., Hill, A. K., & Torrente-Murciano, L. (2020). Current and future role of Haber-Bosch ammonia in a carbon-free energy landscape. *Energy & Environmental Science*, 13(2), 331-344.
- Snapp, S., Sapkota, T. B., Chamberlin, J., Cox, C. M., Gameda, S., Jat, M. L., ... & Govaerts, B. (2023). Spatially differentiated nitrogen supply is key in a global food-fertilizer price crisis. *Nature Sustainability*, 1-11.
- Soloveichik, G. (2017, November). Future of ammonia production: improvement of Haber-Bosch process or electrochemical synthesis. In The 14th Annual NH3 Fuel Conference.

- Subei, B., Westerlund, M., Mur, A. & Rubeis, M. 2023. New Applications and New Strategies for Fertilizer Companies. <https://www.bcg.com/publications/2023/new-technology-and-strategies-disrupt-fertilizer-industry>
- Sutton, M. A., Oenema, O., Erisman, J. W., Leip, A., van Grinsven, H., & Winiwarter, W. (2011). Too much of a good thing. *Nature*, 472(7342), 159-161.
- Sutton, M., Raghuram, N., Adhya, T. K., Baron, J., Cox, C., de Vries, W., ... & Masso, C. (2019). The nitrogen fix: from nitrogen cycle pollution to nitrogen circular economy. In *Frontiers 2018/2019* (pp. 52-64). United Nations Environment Programme.
- Tang, C., Zheng, Y., Jaroniec, M., & Qiao, S. Z. (2021). Electrocatalytic refinery for sustainable production of fuels and chemicals. *Angewandte Chemie International Edition*, 60(36), 19572-19590.
- The National Farmers Union (NFU), 2022. Nitrogen Fertilizer: Critical Nutrient, Key Farm Input, and Major Environmental Problem (Saskatoon: NFU, 2022). <https://www.nfu.ca/wp-content/uploads/2022/08/nitrogen-fertilizer-report-nfu-2022-en.pdf>
- Thiel, G. P., & Stark, A. K. (2021). To decarbonize industry, we must decarbonize heat. *Joule*, 5(3), 531-550.
- Tilman, D., Fargione, J., Wolff, B., D'antonio, C., Dobson, A., Howarth, R., Shindler, D., Schlesinger, W., Simberloff, D. & Swackhamer, D. (2001). Forecasting agriculturally driven global environmental change. *science*, 292(5515), 281-284.
- Tyagi, J., Ahmad, S., & Malik, M. (2022). Nitrogenous fertilizers: Impact on environment sustainability, mitigation strategies, and challenges. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(11), 11649-11672.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA) 2012. Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories EPA 822-S-12-001, Office of Water. Washington, DC.
- Wang, L., Xia, M., Wang, H., Huang, K., Qian, C., Maravelias, C. T., & Ozin, G. A. (2018). Greening ammonia toward the solar ammonia refinery. *Joule*, 2(6), 1055-1074.
- Wikipedia commons, 2023. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Haber-Bosch-En.svg>
- Wismann, S. T., Engbæk, J. S., Vendelbo, S. B., Bendixen, F. B., Eriksen, W. L., Aasberg-Petersen, K., ... & Mortensen, P. M. (2019). Electrified methane reforming: A compact approach to greener industrial hydrogen production. *Science*, 364(6442), 756-759.
- Wyer, K. E., Kelleghan, D. B., Blanes-Vidal, V., Schauburger, G., & Curran, T. P. (2022). Ammonia emissions from agriculture and their contribution to fine particulate matter: A review of implications for human health. *Journal of Environmental Management*, 323, 116285.
- Xu, R., Tian, H., Pan, S., Prior, S. A., Feng, Y., Batchelor, W. D., ... & Yang, J. (2019). Global ammonia emissions from synthetic nitrogen fertilizer applications in agricultural systems: Empirical and process-based estimates and uncertainty. *Global change biology*, 25(1), 314-326.

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

- Yao, D., Tang, C., Wang, P., Cheng, H., Jin, H., Ding, L. X., & Qiao, S. Z. (2022). Electrocatalytic green ammonia production beyond ambient aqueous nitrogen reduction. *Chemical Engineering Science*, 257, 117735.
- Zhang, W. F., Dou, Z. X., He, P., Ju, X. T., Powlson, D., Chadwick, D., ... & Zhang, F. S. (2013). New technologies reduce greenhouse gas emissions from nitrogenous fertilizer in China. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(21), 8375-8380.
- Zheng, J. L., Zhu, Y. H., Dong, Y. Y., Chen, Y., & Zhu, M. Q. (2023). Techno-economic analysis and life cycle assessment of industrial production of ammonia via bio-oil conversion. *Energy*, 128223.

BİTKİ BESLEMEDE TAGEM ARAŞTIRMALARI

Dr. Kadriye KALINBACAK

TAGEM, Toprak ve Su Kaynakları Araştırmaları Dairesi,
Toprak Yönetimi ve Bitki Besleme Koordinatörü, kadriye.kalinbacak@tarimorman.gov.tr

Özet

Hızlı artan dünya nüfusunu beslemek için gerekli olan doğal kaynakların hızla tüketilmesi ve verimsizleşmesi önemli bir sorun olarak gündemi oluşturmaktadır. Dünya nüfusunun 30 yıl sonra 9 milyara ulaşacağı tahmin edilmekte ve insanların gıdaya ulaşımı ve beslenme gittikçe önem kazanmaktadır. Artan nüfus ile gelişen kentleşmenin artışı, sürekli kullanılan kimyasallarla tarım toprakların üretkenliğini kaybetmesi, doğal afetler (deprem, sel, su baskınları vs.), çölleşme, erozyon ve tarım dışına çıkması gibi faktörlerin etkisi ile tarım alanları kayba uğramaktadır. Bu tehditler sonucu gıdaya ulaşım ve gıda güvenliği tehdit altındadır. Son yıllarda yaşanan pandemi ve savaşlar gıdaya ulaşımın ne kadar önemli olduğunu da bir kez ortaya çıkarmıştır.

Doğal kaynakları korumak ve gelecek nesillerin gıda güvenliğini sağlamak için bizlere önemli görevler düşmektedir. Artık günümüzde tarım alanları üzerinde artan tehditler ve nüfus nedeniyle daha fazla artırmak mümkün değildir, birim alandan alınacak verimin artırılması konusunda da birçok araştırma yürütülmüştür. Cumhuriyetin 100. Yılına geldiğimiz bu zaman diliminde, artık girdileri minimize ederek yüksek verim ve kaliteye ulaşmak ana hedefler arasına girmiştir. Ülkemizde tarımsal araştırma ve geliştirme çalışmaları, Üniversiteler, TÜBİTAK ve Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM) tarafından yapılmaktadır. Ülkemizde en büyük araştırma organizasyonu bilindiği üzere TAGEM olup, ülke çapında toplam 50 araştırma Enstitüsü ve 6425 personeli ile tarımın tüm alanlarında araştırma ve geliştirme projeleri yürütmektedir. TAGEM araştırma görevi yanı sıra bu alanlarda tarım politikası oluşturmak görevini de yürütmektedir. Ar-Ge de toprak ve su kaynaklarının etkin kullanımı korunması, üretimde verim ve kaliteyi arttırmak, yeni çeşit, ırk ve teknoloji geliştirmek, bu kaynakların sürdürülebilir kullanımını sağlamak görevleri arasındadır. Politika oluşturmada ise, karar vericiler için bilimsel temele dayalı alternatif politika dokümanları oluşturmak ve mevcut politikaların etki analizlerini yapmak olarak belirtilebilir. TAGEM bünyesinde Toprak, Su Kaynakları, Tarla/Bahçe Bitki Islahı ve Yetiştirme Teknikleri, Bitki ve Hayvan Sağlığı, Su Ürünleri, Gıda ve Yem, Tarım Ekonomisi olarak araştırma daireleri görev yapmaktadır. Toprak ve Su Kaynakları Araştırmaları Dairesi'nde, Toprak ve Bitki Besleme Yönetimi, Tarımsal Sulama ve Arazi Islahı, İklim Değişikliği ve Tarımsal ekoloji ile tarım sal Mekanizasyon ve Bilişim Teknolojiler olarak 4 ayrı araştırma Koordinatörlüğü görev yapmaktadır. Toprak ve Bitki Besleme Yönetimi Grubu 22 Araştırma Enstitüsü ile birlikte; ülkesel toprak veri tabanı, arazi bilgi sistemleri, toprak kalitesi ve kirliliği, organik atık ve artık yönetimi araştırmaları, kimyasal, mikrobiyal, organik ve organomineral gübrelerin geliştirilmesi, gübre kullanımının yaygınlaştırılması ve sürdürülebilir toprak yönetimi

araştırmaları yürütmektedir. Bu bölümde yapılan çalışmalar hakkında bilgilendirme yapılması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: TAGEM, bitki besleme, araştırma, gübreleme, gübreler

TAGEM'S RESEARCH IN PLANT NUTRITION

Abstract

The rapid consumption and inefficiency of natural resources required to feed the rapidly growing world population constitutes an important problem on the agenda. It is estimated that the world population will reach 9 billion in 30 years, and people's access to food and nutrition are becoming increasingly important. Agricultural lands are being lost due to the effects of factors such as increasing urbanization with increasing population, loss of productivity of agricultural lands due to constantly used chemicals, natural disasters (earthquakes, floods, etc.), desertification, erosion and loss of agriculture. As a result of these threats, access to food and food security are under threat. The pandemics and wars experienced in recent years have revealed how important access to food is.

We have important duties to protect natural resources and ensure food security for future generations. Nowadays, it is not possible to increase agricultural areas further due to increasing threats and population, and many researches have been carried out on increasing the yield per unit area. As we reach the 100th anniversary of the Republic, achieving high efficiency and quality by minimizing inputs has become one of the main goals. Agricultural research and development studies in our country are carried out by Universities, TÜBİTAK and the General Directorate of Agricultural Research and Policies (TAGEM). The largest research organization in our country is TAGEM, which carries out research and development projects in all areas of agriculture with a total of 50 research institutes and 6425 personnel throughout the country. In addition to its research mission, TAGEM also carries out the task of creating agricultural policy in these areas. R&D's duties include protecting the effective use of soil and water resources, increasing efficiency and quality in production, developing new varieties, breeds and technologies, and ensuring the sustainable use of these resources. In policy making, it can be stated as creating alternative policy documents based on scientific basis for decision makers and conducting impact analyzes of existing policies. TAGEM has research departments such as Soil, Water Resources, Field/Garden Plant Breeding and Cultivation Techniques, Plant and Animal Health, Aquaculture, Food and Feed, and Agricultural Economics. In the Department of Soil and Water Resources Research, there are four separate research coordinators: Soil and Plant Nutrition Management, Agricultural Irrigation and Land Reclamation, Climate Change and Agricultural Ecology, and Agricultural Mechanization and Information Technologies. Soil and Plant Nutrition Management Group together with 22 Research Institutes; It conducts national soil database, land information systems, soil quality and pollution, organic waste and residue management research, development of chemical, microbial, organic and organomineral fertilizers, popularization of fertilizer use and sustainable soil management research. This section aims to provide information about the studies carried out.

Key Words: TAGEM, plant nutrition, research, fertilization, fertilizers

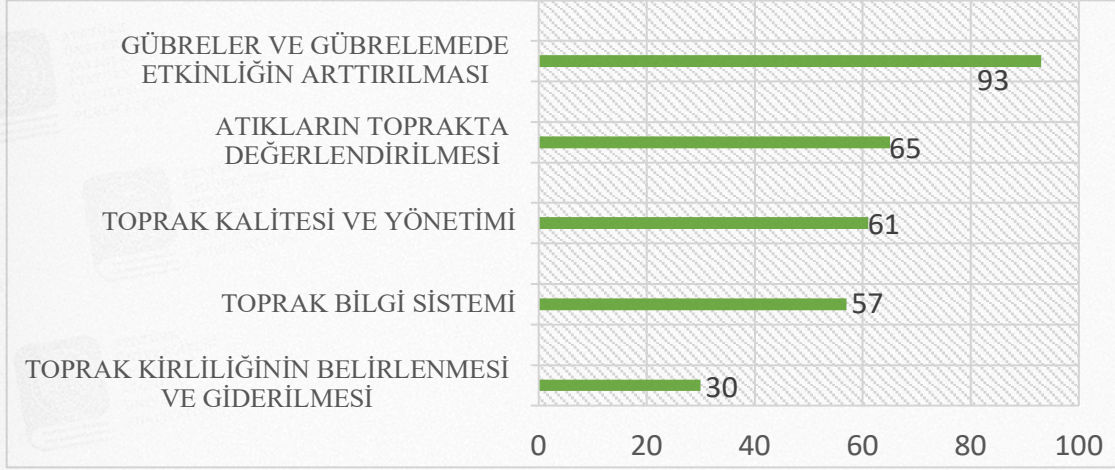
GİRİŞ

Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM) bilindiği üzere kurumsal altyapısı, uzman personel ağı ve finansman kaynağı olarak Türkiye'nin en güçlü kurumu ve en büyük araştırma organizasyonudur. TAGEM'in önemi, tarım sektörünün gelişimine katkı sağlaması ve tarımsal araştırmaları desteklemesinden gelmektedir. TAGEM, tarımsal inovasyonu teşvik ederek verimliliği artırır, çiftçilere ve sektöre destek sağlar ve tarımsal politikaların oluşturulmasına katkıda bulunur. Ayrıca, TAGEM'in yürüttüğü projeler ve desteklediği araştırmalar, tarım sektöründe bilimsel gelişmeyi destekler ve sektörün sürdürülebilirliğine katkı sağlar. Bu nedenlerle TAGEM, Türkiye'nin tarımsal kalkınmasında önemli bir rol oynarken, Ar-Ge'de 129 ve kurumsal olarak 32 yıllık kültüre sahip olup, kamu-özel sektör ve üniversite Ar-Ge işbirliği odağındadır. Ülkemizdeki tarımsal know-how'ın % 70'inin sahibi olan kurum, ülkemizin biyolojik servetini (32 gen bankasında 321.000 materyal) korumaktadır. Kurumun 10 merkez enstitüsü, 13 bölge araştırma enstitüsü, 26 konu araştırma enstitüsü ve 300 Ar-Ge laboratuvarı 35 il'de tarımsal Ar-Ge'de faaliyet göstermektedir. Toplam 6546 personelin 1252 yüksek lisans, 713 lisans, 704 doktora ve 44 doçent olarak görev yapmaktadır. Son 10 yılda uluslararası ve ulusal olmak üzere toplam 6100 proje yürütülmektedir. Bahçe bitkileri, bitki sağlığı, biyolojik çeşitlilik ve genetik kaynaklar, gıda ve yem teknolojileri, hayvancılık, hayvan sağlığı, su ürünleri, tarım ekonomisi ve politikaları, tarımsal mekanizasyon ve bilişim teknolojileri, tarla bitkileri ve toprak ve su kaynakları araştırma faaliyet alanlarında çalışılmaktadır.

Toprak ve su kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir kullanımı, sınıflandırılması ve veri tabanı oluşturulması ile toprak rutubetinin yerinde muhafazası konularında araştırma projelerinin yürütülmesi, toprak verimliliği, kirliliği, sağlığı ve bitki beslemede gübre ve toprak düzenleyicilerin bitki verim ve kalitesi üzerine etkinliği, kimyasal gübre kullanımında tasarruf sağlayacak alternatif yöntemler konusunda araştırmalar yürütülmektedir. Ayrıca tarımsal sulama ve arazi ıslahı, iklim değişikliği ve tarımsal ekoloji ile tarımsal mekanizasyon ve bilişim teknolojileri alanında çalışmalar yapılmaktadır. Toprak yönetimi ve bitki besleme araştırma grubu 4 merkez, 6 bölge ve 12 konu enstitüsü olmak üzere 22 araştırma enstitüsü ile araştırma projeleri yürütmektedir.

TAGEM araştırmalarına yön vermek için her 5 yılda bir "Araştırma Mastır Plan" hazırlanmaktadır. Mastır plan çalışmasında, Üniversiteler, TÜBİTAK, ilgili özel sektör ve kamu kuruluşların katılımı ile ülke gereksinimlerine göre araştırma öncelikleri ve sıralaması belirlenmektedir. Toprak yönetimi ve bitki besleme alanında, TAGEM Araştırma Mastır Planı (2021-2025) araştırma öncelikleri ve sıralaması Tablo 1'de verilmiştir. TAGEM araştırma projeleri de bu kapsamda önceliklendirilerek programa alınmaktadır.

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)



Şekil 1. Toprak ve Bitki Besleme Araştırma Öncelikleri ve Sıralaması (Mastır Plan 2021-2025)

Toprak yönetimi ve bitki besleme çalışma grubunda yürütülen araştırma proje sayısı toplam 102 olup, gübreleme, fertigasyon, mikrobiyal, organik, organomineral gübreler ve etkinlikleri, toprak kalitesi (sağlığı) ve kirliliği, toprak veri tabanı ve laboratuvar çalışmaları olarak sıralanabilir. Ülkesel projeler; tarım topraklarının verimlilik durumu, organik atık ve artık yönetimi, biyolojik gübrelerin geliştirilmesi başlıkları altında yürütülürken, güdümlü projeler; mikrobiyal gübre kullanımının yaygınlaştırılması, zeytin karasuyunun tarımda değerlendirilmesi, biyogaz sıvı fermente atıkların tarımda kullanımı başlıkları altında yürütülmektedir.

Toprak Yönetimi Araştırmaları

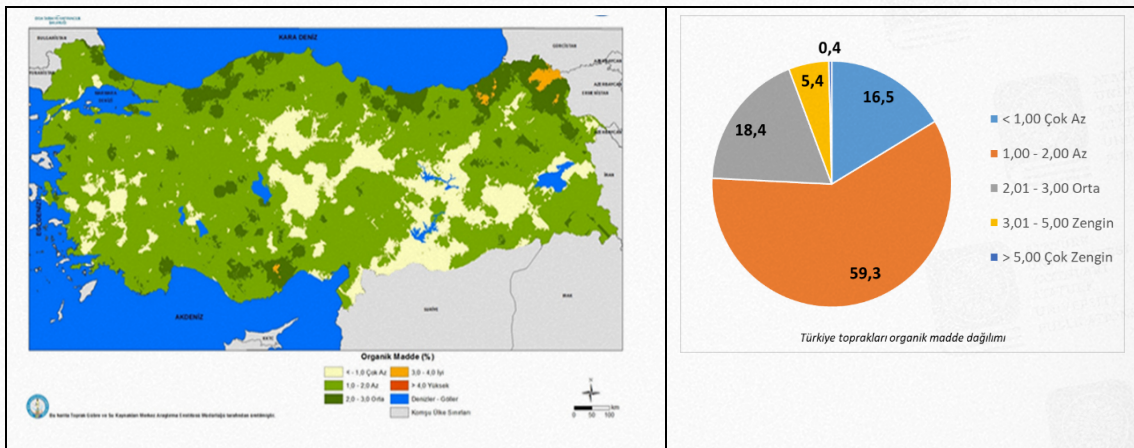
Temel vazgeçilmez dayanağımız TOPRAK tır. Toprak ve su kaynaklarının kullanımında, tarım alanlarının korunması, toprak ve su kaynaklarının verimli kullanılması ve doğru ürün planlaması ile sürdürülebilir kalkınma sürecinin desteklenmesi, kaynak kullanımında etkinliğin ve gıda güvenliğinin sağlanmasında tarımsal Ar-Ge'nin rolü ve geliştirilmesi de stratejik olarak önemlidir. Tüm paydaşlar olarak en uygun toprak uygulamaları, teknik ve teknolojilerin geliştirilmesi ve uygulamaya aktarılması hem şimdiki neslin beslenmesi ve hem de gelecek neslin gıda güvenliği açısından kuşkusuz büyük önem taşımaktadır.

Tarımsal üretimi artırmanın ve doğal kaynakları korumanın öncelikli şartı, toprak ve arazi kaynaklarının etkin ve doğru kullanımının sağlanmasıdır. Bu da arazilerin ve toprakların doğal nitelik ve yeteneklerinin belirlenmesi, bunların doğru bir şekilde tanımlanması ile oluşmaktadır. Bunun için toprak etüt ve haritalama çalışmalarına önem vermek gerekmektedir. Toprak etüt ve haritalama çalışmaları sonucunda üretilen toprak haritaları ile araziler sahip oldukları özelliklere göre kategorize edilmekte ve tarımsal planlamalarda, çevresel etkilerin modellenmesinde, değişik mühendislik dallarında ve doğal kaynakların planlı bir şekilde korunması çalışmalarında kullanılmaktadır. Tarım topraklarımızın özelliklerini belirlemek için bölgesel birçok çalışma yapılmıştır, ancak ülkesel boyutta toprak etütleri henüz tamamlanmamıştır. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarım

Reformu Genel Müdürlüğü tarafından önce Trakya Bölgesi olmak üzere toprak etüt çalışmaları başlatılmıştır. Tarım alanlarımızın bazı özelliklerini ortaya koymak amacıyla bazı çalışmalar yürütülmüş ve sonuçlandırılmıştır. Ancak, o zamanki olanaklarla yapılan bu çalışmalarda, başta toprak örneklerinin koordinatlarının belirlenmemiş olması, söz konusu örneklerde mikro bitki besin maddeleri ve çeşitli yollarla tarım alanlarına bulaştırılarak toprak kirliliğine sebep olan ağır metal durumlarının belirlenmemiş olması, bu çalışmalardan elde edilen sonuçların uygun şekilde değerlendirilememesine neden olmuştur.

Günümüzde tarım topraklarının sürdürülebilir kullanımı için Türkiye topraklarının verimlilik durumu, bitki besin maddesi ve toplam element kapsamalarının belirlenmesine yönelik araştırma çalışmalarına öncelik verilmesi önem taşımaktadır. Bu amaçla TAGEM Toprak ve Su Kaynakları Araştırmaları Dairesi olarak 2013 yılında sadece 0-20 cm yüzey toprağı analiz edilerek özelliklerini belirlemek amacıyla ülkesel bir proje başlatılmış ve devam etmektedir. Bu bir etüt projesi olmayıp, 2,5x2,5 km gridlerde alınan toprak örneklerinin analizi ile verimlilik durumu, makro ve mikro besin elementleri ve potansiyel toksik element özelliklerini ortaya koymak amacıyla yürütülmektedir. "Türkiye Tarım Topraklarının Bitki Besin Maddesi ve Potansiyel Toksik Element Kapsamalarının Belirlenmesi, Veri Tabanının Oluşturulması ve Haritalanması Tarım Topraklarının Verimlilik Durumu" ülkesel projesinde, tarım topraklarının sürdürülebilir kullanımı için "Toprak Veri Tabanı" ve her toprak parametresi için haritaları oluşturulmaktadır. TAGEM'e bağlı 17 Araştırma Enstitüsü tarafından yürütülen 24 alt projede 50.000 adet toprak örneğı alınarak, analiz edilmekte, veri tabanı oluşturularak haritaları hazırlanmaktadır.

FAO&TAGEM işbirliği ile yürütülmüş olan proje kapsamında hazırlanan haritalara örnek olarak Türkiye tarım topraklarının organik madde durumu ve dağılımı haritası Şekil 2'de verilmektedir (Sönmez ve ark) 2018). Ülkesel proje ile elde edilen veriler de eklendiğinde daha fazla veri ile daha doğruya yakın haritalar elde edilecektir.



Şekil 2. Türkiye tarım topraklarının organik madde durumu ve dağılımı (%)

Ülkesel proje kapsamında sonuçlanan proje verileri araştırma enstitülerindeki toprak bilgi sistemine aktarılmakta ve illere göre toprak parametreleri 1/100.000 ölçekli yerel, bölgesel ve ulusal düzeyde güncellenebilir ve sorgulanabilir nitelikte "Toprak

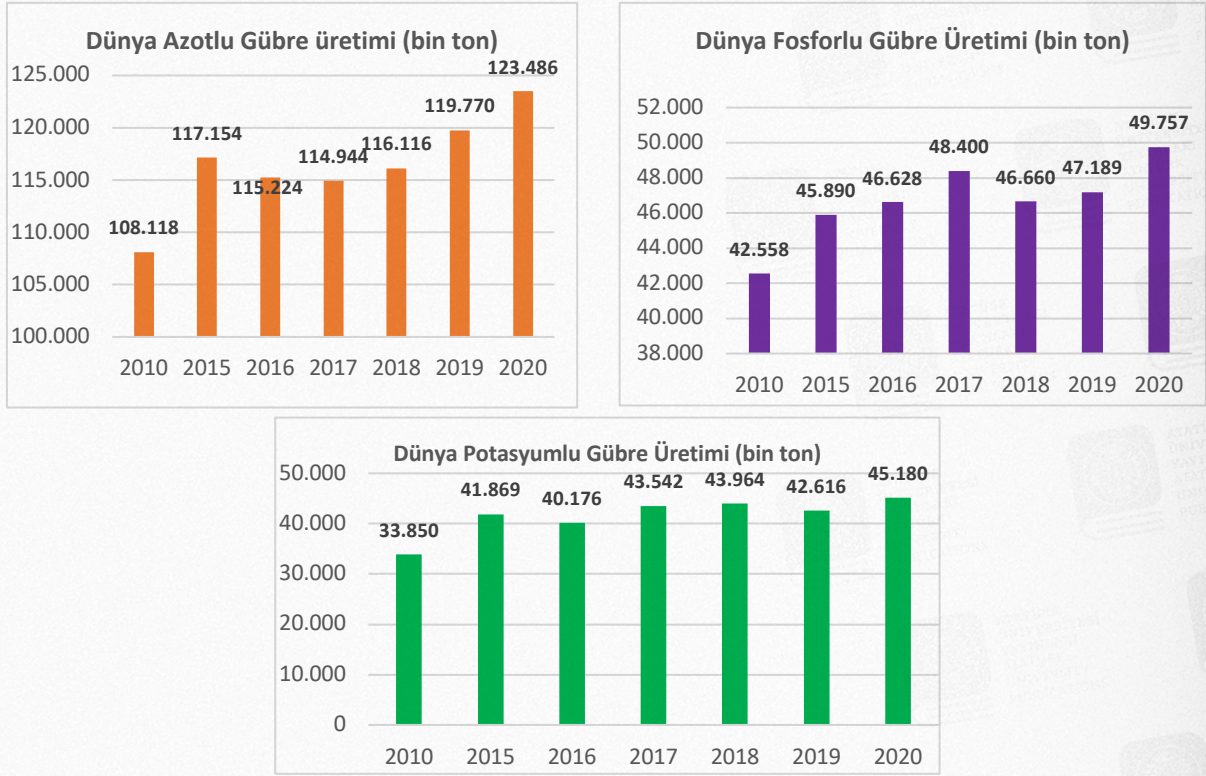
Verimlilik Haritaları'na dönüştürülmektedir. Ülkesel proje sonuçlandığında hazırlanan toprak bilgi yönetim sistemi ile üretilen veriler, toprak verimliliğinin artırılması, toprak bozulmasının önlenmesi, iklim değişikliğine adaptasyon, bölgesel eylem planlarının etkin olarak yürütülmesine ve politikaların oluşturulmasına katkı sağlaması amaçlanmaktadır.

Yüksek verim ve kalitede bitkisel üretim yapabilmek için ürünlerin en uygun toprak ve iklim koşullarında yetiştirilmesi gerekmektedir. Günümüzde tarımsal uygunluk haritaları, sürdürülebilir üretim kapasitesinin artırılması, doğal bir kaynak olan arazi varlığının korunması ve arazi kullanım türleriyle arazilerin en doğru biçimde eşleştirilerek uyumlu hale gelebilmesi için zorunluluk haline gelmiştir. Bir düzen ve plandan yoksun olarak yapılan tarımsal uygulamalar, topraklarda erozyon, arazi degradasyonu gibi geri dönüşü olmayan sorunlara neden oldukları gibi verim, işgücü ve emek kaybı anlamına da gelmektedir. Erozyon ve arazi degradasyonu gibi toprak kayıplarının azaltılması, toprakların ekolojik yapısının korunması, sosyo-ekonomik gereksinmelerin karşılanması amacıyla "Tarımsal Arazi Kullanım Planlaması" modellerinin oluşturulması konusunda araştırma enstitüleri tarafından Mersin, Tokat, Kahramanmaraş, Samsun, Ordu, Kırklareli ve Bafra ovasında farklı ürünlerde arazi uygunluk sınıfı çalışmaları değişik metodolojilerle yürütülmektedir. Projeler sonuçlandırıldığında belirli bölgelerde arazi uygunluk değerlendirmesi yapılarak, uygun yetiştirme alanları belirlenerek ve geleceğe yönelik stratejik, fiziki ve ekonomik planlar oluşturulması sağlanacaktır.

Tarım topraklarının üretkenliğinin ve verimliliğinin korunması amacıyla, yaygın ve noktasal kaynaklı kirlenmelerle kirlenen tarım alanlarının belirlenmesi ve kirliliğin giderilmesi için uygun iyileştirme teknikleri araştırılmaktadır. Bu kapsamda Menemen ovasında ve İzmir Aliğa bölgesinde tarımsal kaynaklı nitrat, fosfor ve ağır metal birikimi ile doğal radyonüklid düzeyinin belirlenmesine yönelik araştırmalar gerçekleştirilmektedir.

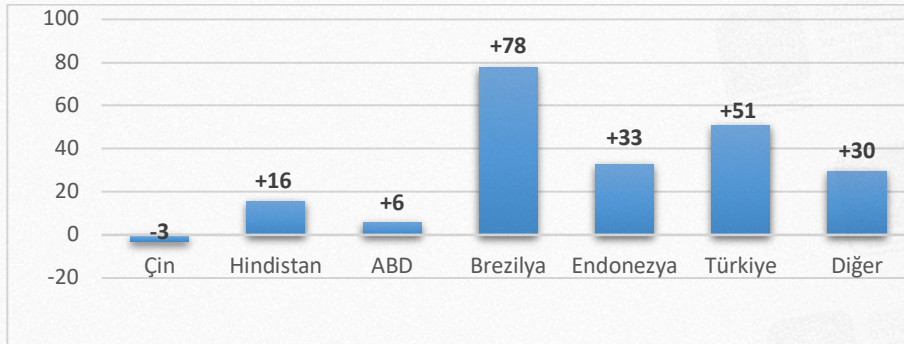
Gübre İstatistikleri

Bitkisel üretimde verim ve kalitede %50 düzeyine kadar artış sağlayan gübre en önemli girdilerden birisidir. Dünyada gübre üretim durumu incelendiğinde en çok kullanılan 3 gübre öne çıkmaktadır. Azotlu, fosforlu ve potasyumlu gübrelerin üretim miktarı 2010-2020 yılları itibarıyla Şekil 3'de verilmiştir. Dünyada azot, fosfor ve potasyum üretiminde artan bir eğilim görülmektedir. (IFA,2023). Gübre üretimlerindeki artış oranı ise son 10 yılda fosfor ve potasyuma göre, azotlu gübrelerde en yüksek olmuştur.



Şekil 3. Dünyada 2010-2020 yılları azotlu, fosforlu ve potasyumlu gübre üretim miktarları

Dünyada gübre kullanımındaki on yıllık değişimleri ülkelere göre incelendiğinde farklılık göstermektedir. 2010 yılından 2020 yılına gelindiğinde Brezilya'da gübre tüketimi %61, Türkiye'de %51 ve Endonezya'da %33 artarken, Çin'de %3 azalmıştır (Şekil 4).

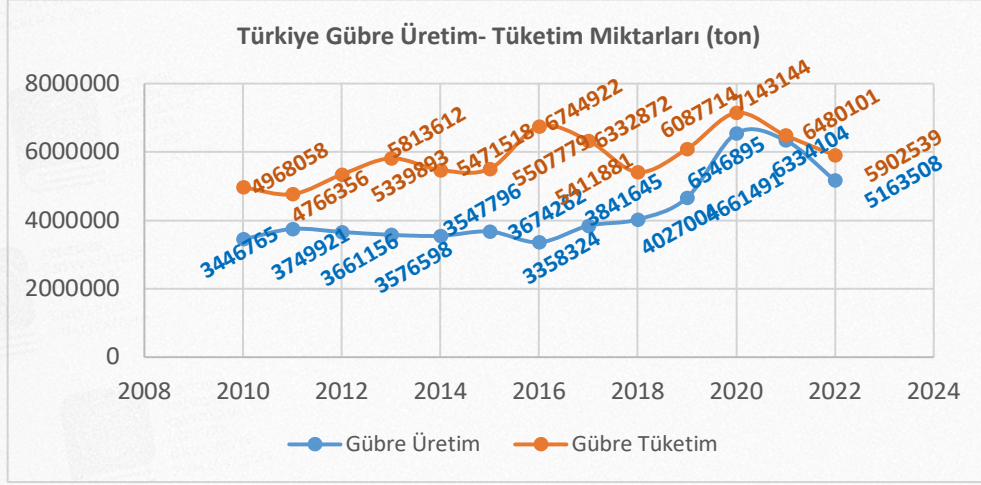


Şekil 4. Bazı ülkelerin 2010-2020 arası toplam NPK tüketim değişimi (%)

Türkiye'de gübre üretim ve tüketim miktarları Şekil 5'de verilmiştir (TÜİK, 2023). Şekil 5 incelendiğinde fiziki bazda toplam gübre üretimi, 2010 yılında gübre üretimi yaklaşık 3,4 milyon ton iken, 2020 yılında %91,2 oranında artarak 6,5 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. 2022 yılında üretim miktarı pandemi ve ekonomik koşullar nedeniyle azalmış ve 5,2 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Türkiye'de sektörün genel durumu

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

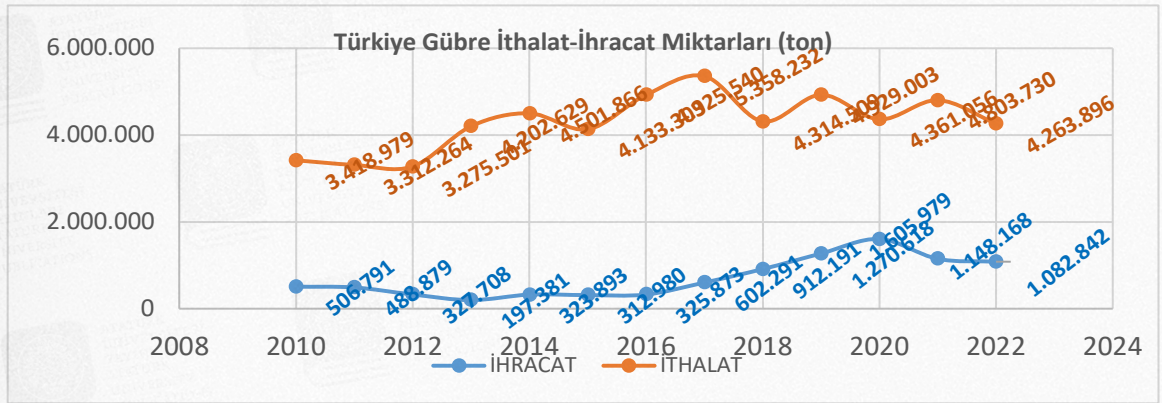
dikkate alındığında, yıllara göre artış eğiliminde olan üretimin tüketimi karşılayamadığı ve ihtiyacın ithalat yoluyla karşılandığı hususu dikkat çekmektedir.



Şekil 5. Türkiye 2010-2022 yılları arasında gübre üretim-tüketim miktarı

Türkiye’de gübre üretiminde en önemli unsur hammadde de dışa bağımlılık ve doğalgaz fiyatlarının değişkenliği nedeniyle maliyetin yükselmesidir. Ayrıca üreticinin girdi maliyetlerini karşılayamaması, alım gücünün azalarak gübre kullanımının düşmesi gibi nedenlerle üretici fabrikalar kapasitelerinin altında çalışmakta ve kapasitenin tam kullanılamaması maliyet daha da yükselmektedir. Bu durumda orta vadede sektör üretim yerine pazarlamaya yönelmektedir. Gübre sektörü hammadde kaynakları kimyasal gübre sektörü %90’nın üzerinde dışa bağımlıdır (Konyalı, 2016).

Türkiye gübre ihracat ve ithalat verileri Şekil 6’de verilmiştir (TÜİK 2023). Buna göre 2022 yılında gübre ithalatı 4,3 milyon ton ve ihracat 1.1 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Türkiye’de gübre ihracatı ise ham madde fiyatlarına, iç piyasa koşullarına ve uluslararası gübre fiyatlarına göre değişim göstermektedir (Şekil 5).



Şekil 6. Yıllara göre Türkiye Gübre ithalat- ihracat miktarları

Gübreler ve Gübrelemede Etkinliğin Artırılması Araştırmaları

Bitkisel üretimde verim ve kalitenin artırılması için ürüne özgü gübreleme programının yapılması, uygulama metodunun ve uygulanacak gübre dozunun belirlenmesi için tarla koşullarında araştırmalar devam etmektedir. Bu kapsamda “Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi”inde yer almayan ürünler (lavanta çörekotu vs) için araştırma projeleri yürütülmektedir.



Şekil 7. Ürüne özgü gübreleme araştırmaları arazi çalışmaları

Bitki Besleme araştırmaları olarak, azalan su ve gübre kaynaklarının etkin kullanımı ile kirliliğin önlenmesi için fertigasyon, ve yüzeyaltı damla sulama gibi gübreleme yöntemleri, yavaş salımlı gübreler ve etkinlikleri, organik gübreleri gübreleme programına dahil ederek azaltılmış kimyasal gübre dozu araştırmaları ile gübre uygulamalarının hassas yapılabilmesi için spektrum yansımalarından faydalanılarak noksanlık ve fazlalık durumu tespiti çalışmaları yürütülmektedir (Şekil 7). İnsanların tükettiği besinlerin içeriklerinin tarlada yapılan gübre uygulamaları ile artırılabilirliği konusunda (biyofortifikasyon) demir ve çinko noksanlığının giderilmesi araştırmaları yapılmaktadır. Ayrıca TAGEM Ar-Ge destek programı kapsamında üniversite-özel sektör-kamu işbirliği ile gübre formülasyonlarının geliştirilmesi araştırmaları da desteklenmektedir.

Biyolojik Gübrelerin Geliştirilmesi Araştırmaları

Yerel kaynaklardan mikroorganizmaların izolasyonları, etkinliklerinin tespiti ve ve gübre materyallerinin geliştirilmesi için “Biyolojik Gübrelerin Geliştirilmesi ve Kullanımının Yaygınlaştırılması” ülkesel projesi yürütülmektedir. Bu amaçla dost mikroorganizmalar kendi ülke kaynaklarımızdan izole edilebilen, bitkilerle ortak yaşayan rhizobium bakterileri, azotobakteriler, mikorizalar ve fosfor çözücü bakterilerle gübre izolatları elde edilmekte, etkin bulunan izolatlara uygun taşıyıcı materyal veya formülasyonlar oluşturulmaya çalışılmaktadır. Daha önce Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü tarafından mercimek, nohut, bezelye, fiğ ve fasulyeye özel geliştirilmiş olan ve halen üretici talebine göre üretilen Azotek 1, Azotek 2, Azotek 3, Azotek Fasulye mikrobiyal gübreleri baklagil tarımında kimyasal gübrelere alternatif olarak kullanılabilir (Şekil 8).



Şekil 8. TAGEM'in tescilli mikrobiyal *Rhizobium* gübreleri ve köklerde oluşturdukları nodüller

Tescillenmiş olan Azotek 1, Azotek 2, Azotek 3, Azotek Fasulye mikrobiyal gübreleriyle mikrobiyal gübre kullanımının yaygınlaştırılması ve çiftçilerimizde farkındalık yaratılması amacıyla nohut, kurufasulye, mercimek, fiğ, soya ve bezelye bitkileri ile Ankara, Antalya, Eskişehir, İzmir, Samsun, Şanlıurfa ve Tokat illerinde demonstrasyon çalışmalarının yürütüldüğü güdümlü proje 2022 yılında başlatılmıştır. Ayrıca mikrobiyal gübrelerin geliştirilmesinde laboratuvar alt yapısının iyileştirilmesi amacıyla Dünya Bankası tarafından finanse edilecek “Türkiye İklim, Akıllı ve Rekabetçi Tarımsal Büyüme Projesi”ne 2022 yılında başlanmıştır. Proje kapsamında Ankara, İzmir, Eskişehir, Antalya ve Samsun Araştırma Enstitülerinde çalışmalar yürütülmektedir. Yerel kaynaklardan mikrobiyal gübrelerin geliştirilmesini desteklemek amacıyla TAGEM Ar-Ge destek programı kapsamında öncelikli çağrı başlıkları oluşturularak üniversite-özel sektör-kamu işbirliği ile araştırma projeleri yürütülmektedir.

Organik Atık Yönetimi Araştırmaları

Tarım topraklarının organik madde bakımında yetersizliği %78 seviyelerine ulaşmıştır. Bunun için tarımsal atıkların doğrudan ve kompost, biyokömür vs gibi çeşitli işlemlerden sonra mutlaka toprağa geri dönüşümünün sağlanması bitkisel üretimin

verimliliği açısından önem taşımaktadır. Toprak sağlığının ve verimliliğinin korunması amacıyla çeşitli bitkisel ve hayvansal atık ve artıkların değerlendirilmesi kapsamında “Organik Atık ve Artık Yönetimi” ülkesel projesi yürütülmektedir. Yürütülen alt projelerde çeşitli organik atık ve artıkların doğrudan kullanımı, kompostlanması ve biyokömür olarak uygulanmasının bitki ve toprağın verim kalitesine etkileri incelenmektedir. Biyokömür stabil karbon oranı ve gözenek yapısı zengin bir materyaldir, Özellikle toprağın su tutma kapasitesini, karbon içeriğini artırıcı ve besinleri tutma özelliği ile tarımda kullanımı öne çıkmaktadır. Mikrobiyal aktiviteyi geliştirmek, patojenleri azaltmak, toprak pH'ını, katyon değişim kapasitesini, bitki beslemesini ve su tutmayı iyileştirmektedir. Yürütülen projelerde çeşitli organik materyallerden elde edilen biyokömürlerin toprağa uygulanması ile hem bitki gelişiminde hem de toprak özelliklerinde meydana gelebilecek etkiler araştırılmaktadır.

Biyokömür eldesinde yan ürün olarak odun sirkesi de ortaya çıkmaktadır. Genel olarak piroliz asitleri, piroliz yağı olarak adlandırılan odun sirkesi, odun kömürü üretimi, bitkisel atıkların karbonizasyonu, biyokömür üretimi ya da biyokütle pirolizi sırasında oluşan buharın yoğunlaştırılması ile elde edilen sıvı özellikteki bir yan üründür. Genel anlamda özellikle organik tarımda biyolojik mücadele ilacı (pestisit) olarak kullanımındadır. Odun sirkesi aynı zamanda tarımsal üretimde düzenleyici olarak kullanılabileceğine yönelik literatürde bilgiler bulunmaktadır. Odun kömürü üreten sektörden gelen talep üzerine odun sirkesinin gübre ve toprak düzenleyici potansiyelinin ortaya konulması amacıyla araştırma projesi yürütülmektedir. Ayrıca çeşitli ürün işleme tesislerinden çıkan ve alıcı ortama direk deşarjı çevre sorunlarına neden olan organik materyallerin (zeytin karasuyu, biyogaz fermente atığı vs.) tarımda kullanımı ve toprağa geri dönüşümünün etkileri de araştırılmaktadır.

Tarım Şurası Eylemleri Çalışmaları

Bu kapsamda “Sıfır Atık Hedefine Ulaşmak İçin Atıkların Değerlendirilmesine Yönelik Ar-Ge Projelerinin Desteklenmesi” eylemi TAGEM Toprak ve Su Kaynakları Araştırmaları Dairesi Koordinatörlüğünde yürütülmüştür. Eylem kapsamında; tarımsal üretimden kaynaklı atık ve artık potansiyelinin belirlenmesi, atıkların toprağa dönüşümünün sağlanması, besin maddesi içeriği ve kalitesinin belirlenmesi, toprak özellikleri ve bitki gelişimi üzerine etkileri, tarımsal atıklardan enerji eldesi, atıklardan gübre işleme tesisi potansiyeli yatırım ve uygulama yerlerinin belirlenmesi ve fizibilite çalışmaları, uygun yerlerde organik gübre işleme tesislerine hibe desteği, atıkların meyve suyu sanayi, yağ, mezbaha, su ürünleri kesimhaneleri, gıda ve yem endüstrisinde değerlendirilmesine yönelik Ar-Ge çalışmaları, üreticilerin kendi kompostlarını yapmaya teşvik ve ürünlerin toprak iyileştirici olarak bozuk arazilerde kullanılması için metodoloji ve standardizasyon belirlemek ile eğitim ve farkındalık çalışmaları konularında yapılan gerçekleştirmeler takip edilmiş ve 2022 yılında eylem tamamlanmıştır. Ar-Ge çalışmalarının doğası gereği bu konuda yürütülen çalışmalar yeni projeler ile devam edecektir. Ayrıca çalışma grubu Tarım Şurası eylemlerinden “Toprak ve Su Kaynaklarının Sürdürülebilir Yönetim İlkeleri Çerçevesinde Kullanılması” ve “Organik ve Organo-mineral Gübre Üretiminin ve Kullanımının Teşvik Edilerek Kimyasal Gübre İthalatının ve Çevre Kirliliğinin

Azaltılması, Biyolojik ve Biyoteknik Mücadelenin Yaygınlaştırılması" eylemlerine destek sunulmuş, eylemler 2023 yılında tamamlanmıştır.

Avrupa Yeşil Mutabakat Uyum Çalışmaları

AB'nin kimyasal gübre kullanımının azaltılmasına yönelik ArGe çalışmalarının yürütülmesi kapsamında yer alan 2 eyleme yönelik olarak yapılan çalışmalar;

1. *Ar-Ge çalışmaları ile kimyasal gübrelerin kullanım miktarının azaltılması, yeni nesil ve yavaş salımlı gübrelerin kullanımı, bitki besin maddesi kaybı azaltılması, gübreleme programına organik gübrelerin dahil edilmesiyle kimyasal gübre kullanımının azaltılması, dolayısıyla çevreye daha az kimyasal salımı ve sürdürülebilir toprak verimliliği araştırmaları yürütülmektedir.*
2. *Tarımsal üretimde atık ve artıkların tekrar değerlendirilmesi konusunda AR-GE çalışmalarının tamamlanması eylemine yönelik olarak, çeşitli bitkisel ve hayvansal atık ve artıkların doğrudan kullanımı, kompostlanması, biyokömür olarak ve çevre kirliliği yaratan atıkların değerlendirilmesi (zeytin karasu, biyogaz sıvı fermente atığı vs) araştırmaları yürütülmektedir. Ayrıca tarımsal atıkların "enerji" kaynağı olarak değerlendirilmesi kapsamında da araştırmalar yürütülmektedir.*

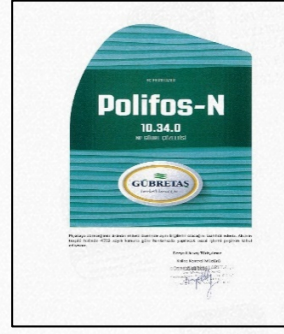
Toprak, Gübre ve Su Analiz Laboratuvarları

TAGEM'e bağlı olan Araştırma Enstitüleri Laboratuvarlarında nitelikli teknik personel ile toprak, bitki, sulama suyu ile kimyasal ve organik gübre analizleri yapılmaktadır. Toplam 22 enstitü laboratuvarı tarımsal amaçlı toprak, bitki ve sulama suyu analizlerinde yetkilendirilmiş olup, 3 laboratuvar (Ankara, İzmir ve Gaziantep) toprak ve gübre analizlerinde akredite olmuşlardır. Araştırma enstitü laboratuvarlarımızda hem araştırma hem de üretici örneklerinin analizleri yapılmaktadır. 2022 yılında toplam olarak 20.237 adet toprak, 18.823 adet bitki, 1.836 sulama suyu ve 1.436 adet gübre örneğinde çeşitli analizler yapılmıştır.

Bazı Ar-Ge Çıktıları

TAGEM ArGe destek programı kapsamında Üniversite&Özel Sektör&Araştırma Enstitüsü işbirliği ile her yıl öncelikli konular ile çağrı başlıkları altında projeler desteklenmektedir. Bu kapsamda desteklenen bazı projelerden elde edilen çıktılar aşağıda özetlenmiştir.

Katı kimyasal gübrelere alternatif sıvı gübrelerin ve sıvı gübre uygulama makinelerinin geliştirilmesi kapsamında, sıvı formda 14 farklı kompoze ve azotlu gübre formülasyonu geliştirilmiş ve farklı bitkiler için 3 farklı ekim makinesi ile 2 farklı üst gübre makinesi geliştirilmiştir (Gezgin ve ark.,2022) (Şekil 9).



Şekil 9. Proje kapsamında geliştirilen ekim makinası ve sıvı formu gübre



Çay atıklarından biyoteknolojik yaklaşımlarla organik gübre üretimi projesinde çay atıkları; solucan, enzim ve faydalı mikroorganizmalar ile proseslenerek organik gübre elde edilmiştir. Organik tarımda kullanımı için organik gübre sertifikasyonuna müracaat edilerek gübre tescili alınmıştır (Dizman ve ark. 2021), (Şekil 10)

organik gübre

Şekil 10. Organik tarıma uygun çay atıklarından elde edilen



Yerel kaynaklarından organik tarıma uygun organik fosforlu taban gübresi geliştirilmesi ve üretimi projesinde; kaya fosfatının mantar kompostu, solucan, enzim ve faydalı mikroorganizmalarla zenginleştirilmesi sağlanarak EU – NOP ve JAS standardında ve organik sertifikalı organik gübre elde edilmiştir (Türker ve ark., 2021), (Şekil 11).

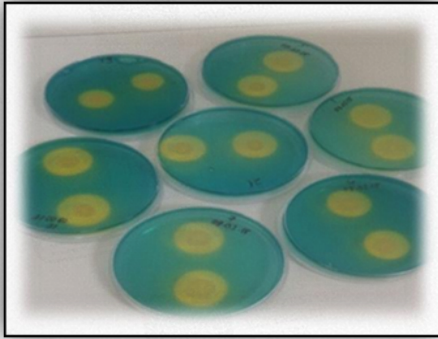
Şekil 11. Organik sertifikalı ve EU – NOP ve JAS standardında geliştirilen organik gübre

Biyolojik katkı yenilikçi organik ve organomineral gübre ürünlerinin geliştirilmesi projesi kapsamında; farklı organik atıklardan elde edilen kompostta değişik oranlarda kimyasal gübre ilave edilerek, “pelet formda ve mikroorganizmalarla zenginleştirilmiş organomineral gübre” üretimi gerçekleştirilmiştir (Namlı ve ark., 2022) (Şekil 12).

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)



Şekil 12. Pelet formda ve mikroorganizmalarla zenginleştirilmiş organomineral gübre



Şekil 13. Bitki büyümesini teşvik edici özellikleri tespit edilen Rizobakteri

Rizobakterlerin bitki büyümesini teşvik edici özellikleri proje kapsamında, azot fikse eden, fosfor ve potasyum çözen, İAA, siderofor üretebilen, antimikrobiyal aktivite özellikleri olan 11 izolatın mikrobiyal gübre ve 23 izolatın biyopestisit potansiyelinde olduğu saptanmıştır. Tanımlanan bakterilerin patent çalışmaları yapılarak mikrobiyal gübre sektörüne sunulabilecektir (Kaya Özdoğan, 2018) (Şekil 13).

Tarım topraklarında sürdürülebilir verimlilik için çevre dostu ve biyolojik dengeyi bozmayacak gübre materyallerinin geliştirilmesi, hem yerel kaynakların etkin kullanımı hem de sağlıklı topraklar için gereklilik durumundadır. Topraklarda doğal olarak bulunan mikorizaların izolasyonu ve monokültür üretimi sonucu 5 tür mikoriza tanımlanarak ve TGSKMAE "Mikrobiyal Ar-Ge Merkezi" kültür koleksiyonuna dahil edilmiştir. Piyasaya sunulacak nitelikte uygun taşıyıcılarla ilgili çalışmalar ise devam etmektedir.

Toprak özelliklerinin belirlenmesinde ve yapılan araştırma çalışmalarında toprak analiz laboratuvarları en önemli destek mekanizmalarıdır. Laboratuvar analizlerinin doğruluğu, tekrarlanabilirliği ve zamandan tasarruf edebilmek için laboratuvar ekipmanlarının geliştirilmesi kaçınılmazdır. Bu kapsamda analizlerde kolaylık sağlayan "Otomatik Kireç Analizörü" olarak kireç/toplam inorganik karbon analiz cihazı geliştirilmiştir. Geliştirilen cihazın firma tarafından birçok ülkeye ihracatı yapılmakta olup, Cihaz USDA tarafından da kullanılmaktadır (Öztürk ve İşcan, 2018) (Şekil 14).



Şekil 14. Otomatik kireç analizörü



Topraktaki makro elementlerden Kalsiyum(Ca) ve Magnezyum(Mg) analizlerinde kullanılabilecek, önemli düzeyde işgücü ve zaman tasarrufu sağlayan ve titrasyon işleminin otomatik olarak gerçekleştirildiği Laboratuvar cihazı geliştirilmiştir (Çetinkaya ve ark., 2017) (Şekil 15).

Şekil 15. Ca ve Mg elementlerinin analizi için otomatik titrasyon sistemi



Arazi koşullarında hızlı analiz tekniklerinin geliştirilmesi, besin eksikliklerinin saptanması ile gübreleme kararı verilmesi amacıyla çabuk tarla testleri kullanılabilir. Ar-Ge Destek programında Lazer temelli tarımsal ölçüm ve analiz sistemi, toprak örneklerinde N, P, K ve C analizlerinin yerinde yapılabilmesi için mobil olarak tasarlanmış ve geliştirilmiştir (Çeterez ve ark.,

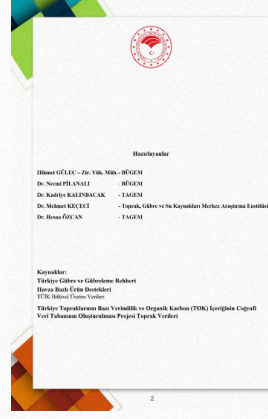
2018). (Şekil 16).

Şekil 16. Lazer temelli tarımsal ölçüm ve analiz sistemi

İllere Göre Gübreleme Rehberleri

Araştırma sonuçlarına göre hazırlanmış olan ve uzun yıllardır gübre tavsiyelerinde kullanılan "Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi" TAGEM ve BÜGEM işbirliği ile güncellenmiş ve 81 il için ayrı olmak üzere hazırlanmıştır. Rehber içerisinde ilgili il ve ilçesi için toprakların verimlilik durum haritaları, genel gübreler ve gübreleme bilgileri, gübreleme zamanı ve yöntemleri, illerde desteklenen bitkilerin gübre ihtiyaçları, verilmesi gerekli gübre miktarları tablolarını içerecek şekilde hazırlanmış ve BÜGEM tarafından illere gönderilmiştir (Şekil 17). İlgili Tarım İl müdürlükleri web sayfasında paylaşılmaktadır.

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)



Şekil 17. 81 il için ayrı hazırlanan “Gübreleme Rehberi”

Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Toprak ve Su Kaynakları Araştırmaları Dairesi olarak misyon ve vizyonuna uygun şekilde tarım topraklarının sürdürülebilir verimliliği, korunması ve sağlığı açısından çalışmalar yürütmekte ve ülkemizin tarımsal politikalarına yön vermektedir.

Teşekkür

Cumhuriyetimizin 100. Yılına ulaştığımız bu yıllarda tarımın gelişmesi, yeni teknik ve teknolojilerin sahaya aktarılması ve bilimsel anlamda çağın gerekliliğine uygun olarak daima öngörülü çalışmalara başarıyla imza atan TAGEM araştırmacıları ve tüm bilim insanlarına teşekkür ederim.

KAYNAKÇA

- Çeterez, Z., Bilikmen, S.K., Berberoğlu, H., Taşel, E., Boztepe, E., 2018. Toprakta Azot Miktarının Ölçülmesine ve Gübre Önerisinde Kullanılmasına Yönelik Taşınabilir Lazerle Tespit Sistemi Tasarımı ve Yöntem Geliştirilmesi, TOB Yayınları Rapor No: TAGEM/15/AR-GE/69, Ankara.
- Çetinkaya, E., Doğu, M., Eren, E., Uncuoğlu, E., Yılmaz, M., Dönmez, K.B., Şenlikçi, A., Özalp, A., Devenci, S., Eğne, H., Şahin, Y. 2017. Topraktaki Ca ve Mg Makro Besin Elementlerinin Tayini için Otomatik Titrasyon Sistemi Geliştirilmesi, TOB Yayınları Rapor No: TAGEM/15/AR-GE/68, İstanbul.
- Dizman, M., Turan, M., Tüfenkçi, Ş., Katırcıoğlu, H., Güneş, A., Kıtır, N., Haznedar, A., İLÇİ, F., KORK, A.A., Özer, P., Tanyel, G., Çakmakçı, M. 2021. Çay Atıklarının Biyoteknolojik Yaklaşımlarla Organik Gübre Formuna Dönüştürülmesi ve Çay Alanlarında Kullanım Olanakları, TOB Yayınları Rapor No: TAGEM/17/AR-GE/17, İstanbul.
- Gezgin, S., Yıldırım, E., Türker, U., ... , Akçay Kulluk, D. 2022. Sulu Ve Kuru Şartlarda Yetiştirilen Bitkiler İçin Uygun Sıvı Kimyasal Gübrelerin Üretilip Geleneksel Katı Kimyasal Gübrelerle Etkinliklerinin Karşılaştırılması Ve Sıvı Gübre Kullanımı İçin

Uygun Makinelerin Geliştirilmesi, TOB Yayınları Rapor No: TAGEM/18/AR-GE/45, Konya.

IFA (Int.Fertilizer Assosiation) 2023. <https://www.ifastat.org/databases/plant-nutrition>

Kaya Özdoğan, D., Akçelik, N., Akçelik, M. 2018 Ankara Linden İzole Edilen Rizobakterlerin Bitki Büyümesini Teşvik Edici Özelliklerinin Araştırılması. TOB yayınları Rapor No: TAGEM/TSKAD/15/A13/P04/01, Ankara

Konyalı, S. 2016. Türkiye’de Gübre Üretimi ve Uygulanan Politikalar Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi Sayfa No: 2041-2048.

Namlı, A., Akça, O., Kutlu, E., Sungur, N:C:A., Mola, İ., Bozdoğan, D. 2022. Biyolojik Katkılı Yenilikçi Organik Ve Organomineral Gübre Ürünlerinin Geliştirilmesi, TOB Yayınları Rapor No: TAGEM/19/AR-GE/ 06, Ankara.

Öztürk, T., İşcan, O. 2018. Toprak Numulerinde Kireç Analizi İçin Geliştirilen Otomatik Kireç Analizöründe Metot Geliştirme, Validasyon Çalışmaları ve Yazılım Entegrasyonu, TOB Yayınları Rapor No: TAGEM/16/AR-GE/58, Ankara.

Sönmez, B., Özbahçe, A., Akgül, S., Keçeci, M. 2018. Türkiye Topraklarının Bazı Verimlilik ve Organik Karbon (TOK) İçeriğinin Coğrafi Veri Tabanının Oluşturulması, GTHB Yayınları Rapor No: TAGEM/TSKAD/11/A13/P03, Ankara

TAGEM Araştırma Mastır Planı (2021-2025). 2021 https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Menu/28/Yayinlar_veriler

TOB, BÜGEM Gübre istatistikleri. <https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Bitkisel-Uretim/Bitki-Besleme-ve-Tarimsal-Teknolojiler/Bitki-Besleme-Istatistikleri>

TÜİK 2023. Türkiye Gübre İthalat ve İhracat verileri. (<https://biruni.tuik.gov.tr/disticaretapp/menu.zul>)

Türker, A., Kıtır, N., Turan, M., Tüfenkçi, Ş., Cimrin, K.M., Yıldırım, E., Güneş, A., Dizmen, M. 2021. Ülkemizin Yerel Kaynaklarından Organik Tarıma Uygun Organik Fosforlu Taban Gübresi Geliştirilmesi ve Üretimi Projesi, TOB Yayınları Rapor No: TAGEM/17/AR-GE/16, İstanbul.

SERACILIKTA BİTKİ BESLEME SORUNLAR VE ÖNERİLER

Prof. Dr. Mustafa KAPLAN^{1*} Öğr. Gör. Dr. Ahmet Şafak MALTAŞ²

¹Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü,
ANTALYA

²Akdeniz Üniversitesi, Finike MYO, Bahçe Tarımı Programı, ANTALYA
mkaplan@akdeniz.edu.tr

Özet

Artan nüfus, ama daha önemlisi sebze ve meyveye olan talep artışı ile özellikle mevsim dışında da bu ürünlere yönelim, daha yüksek miktar ve kalitede üretimi zorunlu kılmaktadır. Gelişen teknolojik imkan ve başka birçok ekonomik, sosyal faktörler de sera ortamında üretimi teşvik etmektedir. Dünyada en çok sera alanının var olduğu Akdeniz havzasında yer alan Türkiye'nin seracılığı çok özel bir potansiyele sahiptir. Sera alanı büyüklüğünde dünya dördüncüsü olan ülkemizde seracılık yapılan illerin sayısı ve alanları giderek artmaktadır. Ancak bütün bunlara karşın, seracılıkta yüksek verim ve kalite beklentilerini karşılamada bazı sorunlar da bulunmaktadır. Hem topraklı hem de topraksız seracılıkta bitki besleme yönetimi alanındaki sorun ve olası potansiyeller, üzerinde öncelikle durulmayı gerektirmektedir. Seracılıkta başarılı bitki yetiştirebilmek için başta yetiştirme ortamının özellikleri ve geliştirilmesi konusu uzun yıllar gündemdeki yerini koruyacaktır. Her fırsatta konuyu gündemde tutmak, bilgi ve tecrübe paylaşımını sürdürmek önemlidir. Bu nedenle Türkiye seracılığının merkezi ve en deneyimli coğrafyası olan Antalya pratiğinin tartışılması da faydalı olabilecektir. Hazırlanan sunum ve makaleyle; Antalya ilinde gerçekleştirilen birçok araştırma ve deneyimle elde edilen veri ve değerlendirmeler özetlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Seracılık, bitki besleme, toprak tuzluluğu, damla gübreleme, fertigasyon pH'sı

PLANT NUTRITION IN GREENHOUSE PROBLEMS AND SUGGESTIONS

Abstract

Increasing population, but more importantly, the increase in demand for vegetables and fruits and the tendency towards these products, especially out of season, necessitates production in higher quantity and quality. Developing technological opportunities and many other economic and social factors also encourage production in the greenhouse environment. Located in the Mediterranean basin, which has the most greenhouse areas in the world, Turkey's greenhouse cultivation has a very special potential. In our country, which ranks fourth in the world in terms of greenhouse area, the number and areas of greenhouse cultivation are gradually increasing. However, despite all this, there are some problems in achieving high yield and quality expectations in greenhouse cultivation. Problems and possible potentials in the field of plant nutrition management in both soil and soilless greenhouse cultivation require prior attention. In order to grow

successful plants in greenhouse cultivation, the characteristics and development of the growing environment will remain on the agenda for many years. It is important to keep the issue on the agenda at every opportunity and continue to share knowledge and experience. For this reason, it may be useful to discuss the practice of Antalya, the center and most experienced geography of greenhouse cultivation in Turkey. With the prepared presentation and article; The data and evaluations obtained through many studies and experiences conducted in Antalya are summarized.

Key words: Greenhouse cultivation, plant nutrition, fertigation, soil salinity, fertigation pH

GİRİŞ

Örtüaltı tarımının tarımsal hasıla içerisindeki büyüklüğü ihracata yaptığı katkı çok özel bir değere sahiptir. Örtü altında birim alandan üretilen tarımsal üretim miktarının Türkiye tarım alanlarının ortalama üretim miktarına göre yaklaşık 13–15 kat daha yüksek olduğu hesaplanabilir (Anonim 2023a). Ülkemizin ihracata dayalı büyüme tercihlerinin ve örtüaltı üretiminin yüksek ihracat potansiyeli de dikkate alındığında bu üretim alanına özel bir ilgi gösterme gerekliliği çok açıktır (Anonim 2023b).

Verimli ve sağlıklı üretimlerde yeterli ve dengeli bitki beslemesinin önemi; her yaşanan tecrübe ile bir kez daha, güçlü bir şekilde hissedilmektedir. Bitki beslemede başarılı olabilmek için sadece tecrübelerimize ve gözlemlerimize güvenmek yanlıştır. Alışkanlıklarımızın kolaylığı ve mevcudu sürdürme alışkanlığımız, kanaatkarlığımız ilerleme hızımızı çok yavaşlatmaktadır. Halbuki daha başarılı yeni çeşitler, pek çok gelişme, verim ve kalite konusundaki potansiyelimizi hızla büyütmektedir (Pradhan ve ark 2015). Ancak dengesiz veya yetersiz beslenme verim ve kalite konusunda oluşan potansiyelimizin ortaya çıkmasında önemli bir sorundur. Diğer bir ifade ile artan verim potansiyelleri ve verim gerçekleştirmeleri bitki besleme sorunlarını yaygınlaştırmaktadır. Bu nedenle bitki beslenmesinde meydana gelen sorunlarının ilk belirtileri, doğrudan ve dolaylı olarak en belirgin şekilde ürün kalitesinde meydana gelmektedir. Halbuki günümüzde üretimde karlılığı etkileyen en önemli faktör kalitedir. Bitkisel üretimde karlılığını artırmak isteyen her üreticinin en önemli öncelikleri arasında bitkilerini doğru beslemek olmak zorundadır. Bu konuyu yeterince ciddiye almayan üreticilerin mevcut en önemli sorun olarak bildikleri fiyat ve pazarlama gibi konuların büyük bir bölümü doğrudan bitki besleme ile ilişkilidir. Ancak pek çok üreticimizin kalite ve bitki besleme arasındaki bu güçlü ilişkiyi kavramada yetersizlikleri bulunmaktadır. Bu yetersiz bilinci geliştirmenin en etkin yolu, yapılan araştırma sonuçlarının ve bilgilendirme çalışmalarının kalitesini artırarak sürekliliğinin sağlanmasıdır.

Seracılıkta Yetiştirme Ortamı

Seracılıkta başarılı bir üretim düşünüldüğünde yüksek ürün verimi ve kalitesi en temel hedeftir. Bu hedefi gerçekleştirebilmenin en önemli gereklerinden birisi olan dengeli ve yeterli bir bitki besleme konusu bu makalenin konusudur. Bu konuda değerlendirmelere başlarken üzerinde durulması gereken ilk değerlendirme bitki beslenmesindeki tüm

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

faktörleri en güçlü bir şekilde belirleyen kökün içerisinde yer aldığı yetiştirme ortamıdır. Bitkiler ihtiyaç duydukları ve su ve besin maddelerini çok büyük ölçüde bu yetiştirme ortamından sağlarlar. Kökün gelişmesini etkileyen tüm yetiştirme ortamı özellikleri aynı zamanda doğrudan bitki beslenmesini etkiler. Seracılıkta yetiştirme ortamı olarak en yaygın tercih edilen yetiştirme ortamı toprak olmakla birlikte topraksız ortamlarda da bitkiler yetiştirilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Su kültüründe domates bitkisi kökü (Kaplan 2023).

Genel olarak tarım topraklarında olduğu gibi, sera toprakları da bitki gelişmesini etkileyen temel toprak özellikleri bakımından çok geniş değişim aralıklarında değerler göstermektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Bazı tarım toprakları (Kaplan, 2023)

Bu durum, yetiştiricilere yapılabilecek öneriler bakımından da önemli zorluklar ortaya koymakta ve sonuçta verim ve kalite hedeflerinin gerçekleştirilebilmesinde en büyük problemlerin başında gelmektedir. Nitekim Çizelge 1'de görüldüğü gibi biber sera topraklarında belirlenen pH'ların 6.8–8.8, % kireç değerlerinin 0.7–77, EC değerlerinin 0.1–5.3, organik madde değerlerinin % 0.2–9.1, fosfor değerlerinin 6–750 mg/ kg, potasyum değerlerinin 25–1157, kalsiyum değerlerinin 750–6565 mg/kg ve magnezyum değerlerinin 82–2271 mg/kg arasında değiştiğini incelediğimizde yönetilmesi gereken değişkenlerdeki büyük değişim aralığının çok ciddi bir sorun olduğu anlaşılabilecektir.

Çizelge 1. Antalya'da biber yetiştirilen sera toprak analiz sonuçlarına ait minimum maksimum ve ortalama değerler (Özkan ve ark. 2008)

Özellik	Toprak analiz sonucu		
	Minimum	Maksimum.	Ortalama
pH	6.8	8.8	7.9
CaCO ₃ (%)	0.7	77	22.4
E.C. (dS/m)	0.1	5.3	0.9
O.M. (%)	0.2	9.1	2.5
P (mg/kg)	6.0	750	151
K (mg/kg)	25	1157	317
Ca (mg/kg)	750	6565	3152
Mg (mg/kg)	82	2271	794

Antalya'da domates yetiştirilen sera topraklarının makro ve mikro besin elementi kapsamı Çizelge 2'de verilmiştir. Toprakların toplam azot değerlerinin % 0.05–0.51, alınabilir fosfor değerlerinin 23.94–430.26 mg/ kg, değişebilir potasyum değerlerinin 0.14–4.85 me/100g, değişebilir kalsiyum değerlerinin 8.51–32.68 me/100g, değişebilir magnezyum değerlerinin 1.14–18.71 me/100g, alınabilir demir değerlerinin 1.54–46.60 mg/kg, alınabilir mangan değerlerinin 4.30–79.28 mg/kg, alınabilir çinko değerlerinin 0.26–25.04 mg/kg ve alınabilir bakır değerlerinin 0.76–88.03 mg/kg arasında değiştiği belirlenmiştir (Kaplan ve ark 2001).

Çizelge 2. Antalya ili domates sera topraklarının besin maddesi durumları (Kaplan ve ark. 2001)

	Bitki Besin Maddeleri								
	Total N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu
	%	mg/kg	me/100g			mg/kg			
Min.	0.05	23.94	0.14	8.51	1.24	1.54	0.26	4.30	0.76
Maks.	0.51	430.26	4.85	32.68	18.71	46.60	25.04	79.28	88.03
Ort.	0.19	156.79	1.24	19.44	7.2	10.61	4.27	20.07	7.79

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

Sera topraklarında belirlenen değişim aralıklarının yönetilme gücü binlerce üretici düzeyinde analize dayalı veri eksikliği de dikkate alındığında; yüksek oranda başarı beklemenin olası olmadığı görülebilir. Toprağın yetiştirme ortamı olarak özelliklerindeki bu çok geniş değişim aralığı ile mücadelenin en etkili yolu olarak, topraksız tarım tekniği önerilebilir. Nitekim gelişmiş ülkeler bu yolu tercih etmişlerdir. Bu yöntemde homojen ve özellikleri geliştirilmiş uygun ortamlar tercih edilmekte ve çok sık olarak da yıllar itibariyle yenilenerek, bu topraksız ortamlarda üretim yapılmaktadır. Ülkemizde ilk ticari işletmenin 1995 de başladığı ve bugün toplam seracılığımız içerisinde yaklaşık 15 000 dekar topraksız üretim alanına ulaşabildiğimiz düşünüldüğünde daha uzun yıllar serada üretimin topraklı ortamlarda yapılmaya devam edebileceğini, bu yönde de çalışmalara devam etmemiz gerektiğini kabul etmek durumundayız. Ancak topraklı üretimdeki yapıyı geliştirmeden daha yüksek verim ve ürün kalitelerine ulaşmak çok güç olacaktır.

Üreticilerin; muhakkak toprak analizleri yoluyla, sera toprağı olabilme kapasitesi düşük yetiştirme ortamlarının geliştirilmesine yatırım yapmaları geldiğimiz noktadaki beklentiler bakımından bir tercih değil zorunluluk olarak ifade edilebilir. Özellikle ağır bünye ve yüksek kireç içeriğı dikkate alınarak daha hafif bünyeli ve kireci daha düşük sera toprağı hedefine yönelik çalışmalarla pek çok yetiştirme sorunu ve sonuçlarına yönelik iyileştirmeler gerçekleştirilebilir. Bu amaçla pek çok düzenleyici materyal (kum, toprak, organik materyaller vb.) teknik ve ekonomik yaklaşımlarla tercih edilebilir. Sera toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri öncelenerek; toprak tekstürünün hafifletilmesi, bu yaklaşımla sera topraklarının % 50'den fazla kum, % 25 'den az kil ile % 5'den az kireç, % 3'den fazla organik madde olabilecek şekilde iyileştirilmesi hedeflenebilir.

Topraklı sistemde karşılaşılan birçok sorunu daha temelden çözmek üzere topraksız tarım en temel çözüm önerisi olsa da, bu yöntemde de ölçme ve veriye dayalı bitki besleme uygulamaları yapmak çok daha önemli bir zorunluluktur. Ölçülmeyen veya dikkatle takip edilmeyen uygulamalar yetiştirme ortamlarının tamponlama kapasitesi düşüklüklerine bağlı olarak çok daha kısa sürede ve çok fazla olarak olumsuz sonuçlara neden olabilmektedir. Cocopeat ortamında üretim yapan 50 dönümlük modern bir domates serasında; kök ortamında pH değerinin 4.2'ye düştüğü ve yaklaşık 2 ay boyunca ortalama 4.5 pH değerinde üretim yapıldığını buna bağlı olarak da kılcal köklerin zarar gördüğü bir örnekle karşılaştığımızı ifade edebilirim. Başka bir örnekte; perlit kültüründe uygun pH'da besin çözeltisi uygulayan bir işletmenin bitki kök ortamında pH' ın yükseldiğı ve demir klorozunun arttığını, işletmenin normalin çok üzerinde şelatlı demir uygulamak zorunda kaldığını başka bir tecrübem olarak kayda geçirmek yararlı olabilir.

Topraksız tarımı tercih edecek işletmelerin, kendi ölçek, ekonomik ve işletme yönetim düzeylerine uygun olarak doğru topraksız modelleri tercih etmeleri önemlidir. Çok yüksek maliyetli modern topraksız yatırımlarının bazılarının ekonomik sorunlarla karşılaştıkları, sorunlarının nitelikli fizibiliteye dayanmayan yatırımlar olduğu söylenebilir. Ülkemizde değişik ölçek ve üreticiler için uygun modellerin geliştirilmesi çalışmalarına ihtiyaç bulunmaktadır. Dünya perlit rezervinin en başat ülkesi olan Türkiye'de yetiştirme ortamı olarak perlitin gündemde olmaması başka bir tartışılması gereken konu olarak düşünülmelidir.

Seracılıkta bitki beslenmesi ile ilgili yönetilmesi gereken önemli bir konu toprak tuzluluğudur. Farklı sera bitkileri için başarılı bir yetiştiricilik için izin verilen üst sınır değerleri bulunmaktadır (Çizelge 3). Pek çok serada, bu değerler ölçülmediği ve EC yönetim temel bilgi yetersizlikleri nedeniyle sorunlarla karşılaşmaktadır. Toprakta bulunması istenen uygun EC değerleri bitkiye, döneme, iklime ve öncelenen kalite kriterlerine göre değişebilir.

Çizelge 3. Bazı sera bitkileri için toprakta izin verilen EC değerleri (Doygunluk Ekstraktında)

Bitki türü	EC değeri
Domates	2.5 dS/m
Hıyar	2.5 dS/m
Biber	1.5 dS/m
Çilek	1.0 dS/m

Özellikle sıcaklık ortalaması yüksek yöre ve dönemlerde yükselen toprak EC'si öncelikle fizyolojik kuraklığa neden olarak bitki gelişmesini olumsuz etkilemektedir. Strese giren bitkiler erken yaşlanmakta, çiçek burnu çürüklüğü sonucu kalitesiz meyveler nedeniyle verimlerde de büyük kayıplarla karşılaşmaktadır.

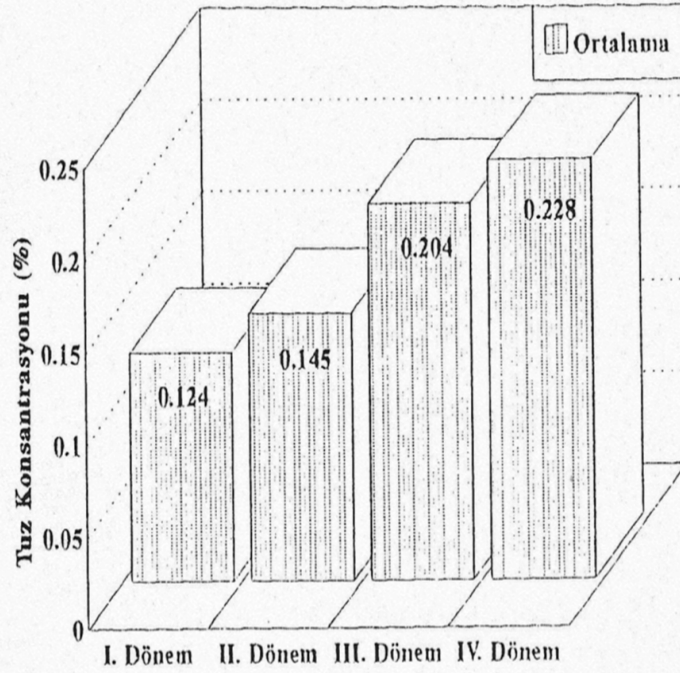
Özkan ve ark. (2008) bildirdiğine göre; Antalya biber seraları toprak örneklerinin EC'leri sınıflandırıldığında tuzsuz sınıfına giren örneklerin oranı sadece % 21.7 düzeyinde belirlenmiştir (Çizelge 4). Hafif tuzlu (% 38.1), orta tuzlu (% 38.1), tuzlu (% 7.6) yüksek tuzlu (% 11.4) olarak dikkati çekmektedir (Çizelge 4). Biber toprak tuzluluğuna orta derecede hassas olarak kabul edilen tuzsuz koşullarda daha iyi gelişen bir bitkidir (Ayers ve westcot, 1989, anonim 1992). Nitekim sahada yüksek toprak tuzluluğundan etkilenen bitkilere ait pek çok sorunlu meyve ile karşılaşmak mümkündür.

Çizelge 4. Antalya biber seraları toprak örneklerinin E.C. değerlerine göre sınıflandırılması (Özkan vd., 2008)

Sınır değeri	Değerlendirme	Örnek sayısı	% Oran
<400	Tuzsuz	40	21.7
400-800	Hafif tuzlu	70	38.1
800-1200	Orta tuzlu	35	19.0
1200-1600	Tuzlu	14	7.6
1600-3200	Yüksek tuzlu	21	11.4
3200<	Çok yüksek tuzlu	4	2.2

Kumluca ve Finike'de seralarında yürütülen bir çalışmada yetiştirme dönemi içerisinde toprak örnekleme dönemlerine bağlı olarak (Eylül, Kasım, Ocak ve Haziran) seraların ortama % toprak tuz konsantrasyonları artmıştır (Şekil 3).

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)



Şekil 3. Kumluca ve Finike yöresi sera toprak örneklerinin ortalama tuzluluk değişimleri (Kaplan ve Akay, 1995)

Şekil 3'ten görüldüğü üzere, sezon başında yöre sera topraklarının ortalama % tuz değeri 0.124 iken bu değer Haziran ayı örneklerinde 0.228'e yükselmiştir. Üretim sezonunun son ayları olan nisan, mayıs ve haziran aylarında sera sıcaklıklarının yüksek olduğu da dikkate alındığında, toprak tuzluluğunda belirlenen bu artışların verim, ama özellikle de meyve kalitesi üzerine olumsuz etkileri olabileceği açıktır (Şekil 4). Yükselen toprak tuzluluğu sonucu su alımında güçlük yaşayan bitkiler erken yaşlanarak üretim kapasitelerinde azalmalar ortaya çıkacaktır. Ayrıca bitkilerin su alımında yaşanan belirtileri gözlemleyerek daha sık sulama yapan üreticinin toprak hastalıklarını da teşvik edeceği açıktır. Artan ilaç masrafları ve beraberindeki pek çok yeni sorunun kaynağı kontrolsüz toprak tuzluluğudur. Ancak ölçülmeyen toprak tuzluluğunun yol açtığı bu sorunların nedeninin doğru teşhis edilememesi bir kader gibi tekrarlanan gerçek olarak kanıksanabilecektir. Çözüm ise toprak tuzluluğunu ölçmektir. Ölçüm için gerekli olan EC metrelerin üreticiler tarafından ortak kullanılması mümkün olabileceği gibi, başka bir çok çözüm organizasyonu üretilebilir. Yeter ki bu sorunun varlığı tespit edilerek, etkisinin idraki ve çözüm iradesi ortaya çıkabilin.



Şekil 4. Yüksek toprak E.C.'si ve biber meyvesi (Kaplan 2023)

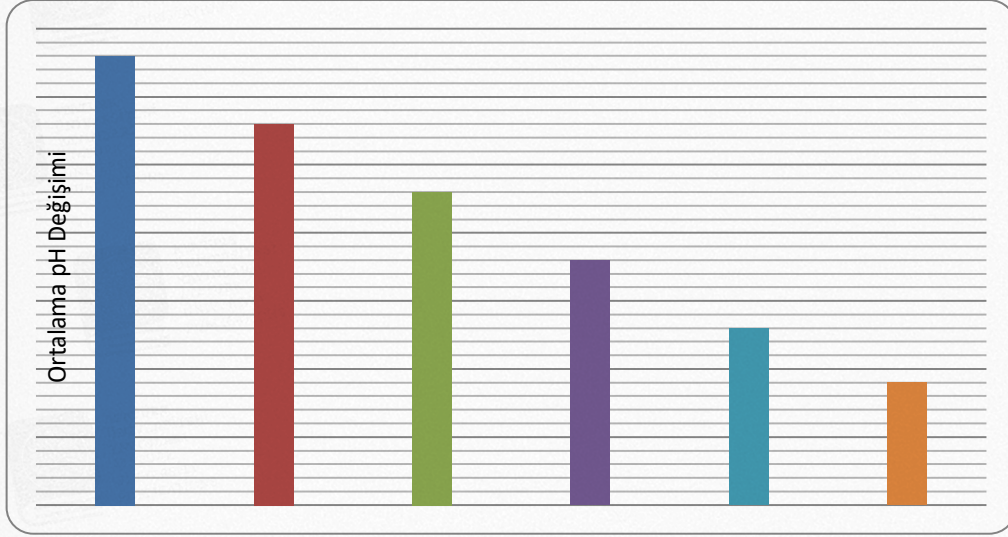
Bitkisel üretimde toprak pH değerinin 6-6.5 aralığında olması istenir. Ancak Türkiye topraklarının pH değeri genellikle 7-8 aralığındadır. Bu nedenle toprak pH değerlerinin düşürülmesi önerilmektedir. Yapılan bir çalışmada, farklı pH uygulamalarına bağlı olarak elde edilen toprak pH değeri sonuçları Şekil 5'de verilmiştir. Özellikle düşük pH'da verilen fertigasyon uygulamalarına bağlı olarak, sezon sonu toprak pH değerinin azaldığı görülmektedir (Maltaş 2013).



Şekil 5. Fertigasyon uygulamalarına bağlı olarak toprak pH değerinde meydana gelen değişimler (Maltaş 2013)

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

Ayrıca Türkiye topraklarının kireç düzeyi de genellikle yüksektir. Bu nedenle toprak pH değerini düşürmek için yapılan her uygulamanın etkisi zamanla azalır. Çünkü pH bakımından kireç güçlü bir tamponlayıcıdır (Maltaş ve Kaplan 2018). Bu nedenle kireçli topraklarda her hangi bir uygulama ile toprak pH değeri düşürüldüğünde, kirecin tamponlama özelliğine bağlı olarak düşen pH zamanla yeniden yükselmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Fertigasyon uygulamasından 30, 60, 120 ve 180 dakika sonra toprak pH değerlerindeki zamansal değişimler (Maltaş 2013).

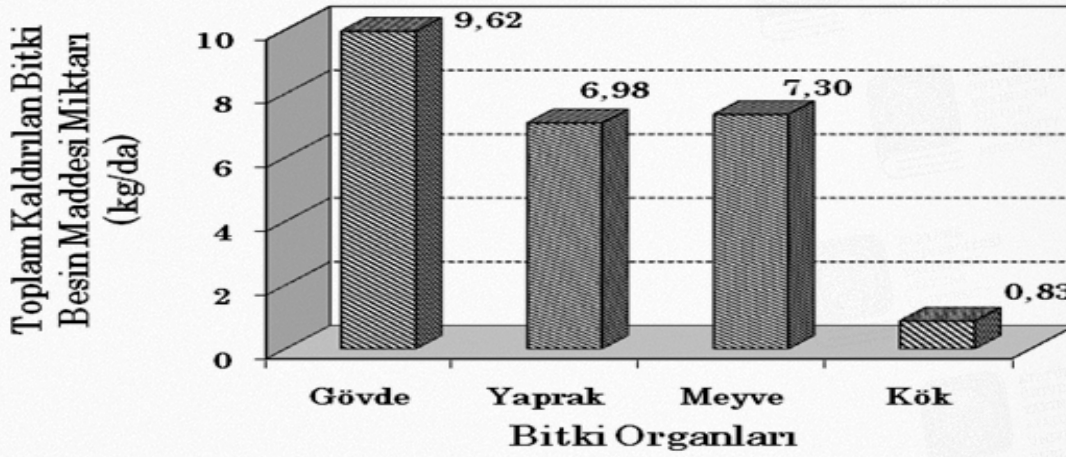
Seracılıkta üzerinde durulması gereken konulardan bir diğeri ise, üretim sırasında ve üretim sezonu sonunda elde edilen bitki atıklarıdır (Şekil 7).



Şekil 7. Sera bitki atıklarının depolama ve bertaraf şekilleri.

AB uyum sürecinde organik katı atıkların düzenli depolama alanlarına verilmesine getirilen kısıtlamalar bu konuyu daha da güncelleştirmektedir. Bazı bertaraf yöntemlerinin kurulum ve işletme maliyetlerinin yüksek olması; ekonomik faktörler, çevresel nedenler ve tarım sektörü bakımından kompostun değeri dikkate alındığında kompostlama yönteminin öncelikli olabileceğini düşünmek doğru olur. Antalya seracılığının çok ciddi bir organik gübre talebi bulunmaktadır. Ancak çeşitli nedenlerle bu talep yeterince karşılanamamakta ama bir yandan da bitkisel atıklar çevre sorunlarına neden olmaktadır (Şekil 7).

Sönmez vd.(2002) tarafından yapılan çalışmada sera domates atıklarıyla bir dönümden sezon sonunda bitki organlarıyla heba edilen besin elementi miktarları Şekil 8'de verilmiştir. Buna göre domates atıklarında gövde ile 9.62 kg da^{-1} , yaprak ile 6.98 kg da^{-1} , meyve ile 7.30 kg da^{-1} ve kök ile 0.83 kg da^{-1} bitki besin maddesi heba edilerek değerlendirilmemektedir.



Şekil 8. Domates Bitkisinin Farklı Organları ile Bir dönümden Heba Edilen Bitki Besin Maddelerinin Ortalama Değerleri

Bu miktarlardaki besin maddelerinin, atıkların kompostlanmaları ile elde edilecek gübre içerisinde yer almaları ile bitki besin ihtiyacının karşılanmasında ciddi kazanımlar söz konusu olabilir. Sökülen bitki atıklarının kompostlaştırılmaması ile ortaya çıkan kayıpları sadece besin maddesi olarak değerlendirmek doğru olmayacaktır. Kompostlaştırılarak organik gübre olarak değerlendirilecek atıkların sera topraklarına uygulanması ile elde edilecek yararların çok yönlü olduğu (biyolojik, fiziksel ve kimyasal) gözden uzak tutulmaması gereken önemli bir husustur. Sera üretiminde daha küçük oranda yer alan diğer sebzelerin atıkları ve tüm sera bitkilerinin yetiştirme sezonu içerisinde başta budama olmak üzere kültürel işlemlerle üretilen bitki atıkları da dikkate alındığında Antalya ili seracılığının bitkisel atık üretiminin yıllık 1.000.000 tonun üzerinde olabileceğini hesaplamak mümkün olduğu bildirilmiştir (Kaplan ve Sönmez 2009).

Seracılığın yoğun olarak faaliyet gösterdiği alanlarda oluşan atıkların değerlendirilmesi gerekliliği dikkate alındığında, tarımsal üretimin sürdürülebilirliği bakımından en iyi bertaraf yöntemi olan organik atıkların kompostlanması ile bu atıklar ekonomik getirisi olan ürünlere dönüştürülebilir. Organik madde içerikleri oldukça düşük

seviyelerde olan bölge topraklarının, organik gübre ihtiyaçlarının karşılanmasında önemli bir role sahip olabilecek bu atıkların değerlendirilmeleriyle, hem çevresel hem de ekonomik çok yönlü katkılar sağlanabilir. Ayrıca şehir çöp atıklarından üretilen kompostların yüksek tuzluluk ve ağır metal risklerinin yönetilmesinde de sera bitki atıkları ile birlikte yönetilmesi iyi bir seçenek olarak düşünülebilir.

Seracılıkta yüksek verim beklentisi nedeniyle yüksek düzeyde gübreleme yapılmaktadır. Gübreleme yapılırken dikkat edilmesi gereken hususların biri de toprak analizidir. Toprak analiz sonuçlarına bağlı olarak özellikle alınabilir ve değişebilir mikro ve makro elementlerin miktarları dikkate alınarak gübreleme yapılmalıdır. Örtü altı domates yetiştiriciliği yapan üreticilerin gübre tüketimlerinin incelendiği bir çalışmada sera topraklarında bulunan alınabilir fosfor elementi ile üreticilerin P_2O_5 tüketimi arasında pozitif ilişki olduğu belirlenmiştir (Gözükara ve ark 2016). Ancak toprak analizine dayalı gübreleme yapılması durumunda toprakta alınabilir bir elementin daha yüksek düzeylerde bulunması durumunda, bu element ile yapılan gübrelemenin daha düşük düzeyde uygulanması gerekir. Ancak gerçekleşmenin tam tersi olarak belirlenmiş olası bu konuda yapılan hataları açık şekilde ortaya koymaktadır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Tarımsal üretimi; ama özellikle de tarımsal ürün ihracatını artırmada, örtü altı tarımının potansiyeli dikkate alınmalı, bu amaç çerçevesinde «Örtü altı üretimi geliştirme projesi» hazırlanmalıdır. Bu proje kapsamında yeni bir «tarımsal analiz destekleme» modeli, akretide laboratuvarlar marifetiyle; analiz ve veri kalite güvencesi ile çok daha fazla analiz sayısı hedeflenerek planlanmalıdır.

Başarılı bir bitki besleme için; laboratuvar analiz verileri yanında, üretim sırasında veriye dayalı uygulamalar için; ortak EC ve pH metre kullanımını artıracak, bu alanda (ilçe tarım müdürlükleri, bayiler, belediyeler, eğitim kurumları vb.) çeşitli imkanları harekete geçirecek çalışmalar (eğitim ve destekler) planlanmalıdır.

Tarım danışmanlığı sisteminin yenilenmesi ve teşviki gereklidir. En az 20 yıl meslekte çalışmış, çok özel değerlendirmelerle seçilmiş (yayınları, üreticiye dönük eğitim çalışmaları, sertifikaları bulunan, pilot uygulamalarla başlayan, etki analizleri ile geliştirilen) tecrübeli danışmanlar sera üreticilerine teknik destek sağlamalıdır.

KAYNAKLAR

- Anonim 1992. IFA World Fertilizer Use Manual International Fertilizer Assoc. Paris
- Anonim 2023 a. https://www.dogaka.gov.tr/assets/upload/dosyalar/wwwdogakagovtr_622_lk5143wg_seracilik-ortualti-bitki-yetistiriciligi-sektor-raporu-2015.pdf
- Anonim 2023 b. Seracılık (Örtüaltı Bitki Yetiştiriciliği) Sektör Raporu, 2015.
- Ayers, R. S. ve Westcok, D. W. 1989. Water Quality for Agriculture. FAO Irrig. And Drain. Paper, 29 Rome.
- Gözükara G., Kaplan M., Kalkan H (2016). Evaluation of Soil Analysis Results and Fertilizer Consumption in Autumn Greenhouse Tomato Cultivation. 2 nd international conference on science, ecology and technology 22nd to 24th August in Barcelona.
- Kaplan M. ve Sönmez S. (2009). Antalya Ölçeğinde Sera Bitki Atıkları ve Kompost. Kompostlaştırma sistemleri ve kompostun kullanım alanları çalıştay 19 Haziran 2009 İstanbul.
- Kaplan, M. ve Akay, S., 1996. Kumluca ve Finike yöresindeki seraların toprak tuzluluğu ve mevsimsel değişimi. İlhan Akalan Toprak ve Çevre Sempozyumu, A – 289 – 298, Ankara 1996.
- Kaplan, M., 2023. Gübreler ve gübreleme yayınlanmamış ders notları.
- Kotuby, J. 2002. Salinity and plant tolerance www.extension.usu.edu/publications/agpubs/salini.html.
- Maas, E. V. VE Hoffman, G. J., 1977. Crop salt tolerance current assesment. J. Irrig. Drain Div. ASCE, 103:115 – 134.
- Maltaş, A. Ş. 2013. Antalya merkez-ilçe örtüaltı güzlük domates (*Solanum lycopersicum* L.) yetiştiriciliğinde farklı asit uygulamalarının toprak pH'sı üzerine etkileri ile bitki beslenme durumlarının araştırılması. Akdeniz Üniversitesi, Fen bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi. Antalya
- Özkan, C. F. , Arı, N., Arpacıoğlu, A. E., Demirtaş, E. I., Öktüren, F, A. ve Aslan, D. H. 2008. Antalya Bölgesinde Biber Yetiştirilen Sera Topraklarının Verimlilik Durumlarının İncelenmesi. IV. Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Kongresi 8-10 Ekim.
- Pradhan, P., Fischer, G., Van Velthuizen, H., Reusser, D. E., & Kropp, J. P. (2015). Closing yield gaps: how sustainable can we be?. *PLoS one*, 10(6), e0129487.
- Sönmez, S., Uz, İ., Kaplan, M. ve Aksoy, T. 1998. Kumluca ve Kale Yöresindeki Seralarda Yetiştirilen Biberlerin Beslenme Durumlarının Belirlenmesi. Doğa-Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 23,
- Sönmez. S., Kaplan. M., Orman. Ş., ve Sönmez. İ. 2002. Antalya- Kumluca yöresi Domates Seralarında Hasat Sonrası Bitkisel Atıklarla Kaldırılan Besin Maddeleri Miktarları ve Bu Atıkların Değerlendirilmesi ile İlgili Öneriler. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 5(1), S: 19-25.

VAN HAVZASI TOPRAK-GÜBRELEME SORUNLARI VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Prof. Dr. Şefik TÜFENKÇİ

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi,
Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Van
sefiktufenkci@yyu.edu.tr

Özet

Gübreleme tarımsal üretimde en önemli girdilerden biridir. Gübreleme ile bitkinin topraktan yeterli seviyede besin element alınımı sağlanarak bitkisel verimliliğin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Ancak bilinçsiz ve aşırı gübreleme sadece toprak kalitesinin kaybına neden olmayıp ayrıca bitkisel verimliliğin olumsuz etkilenmesine ve çevre ile canlı sağlığı üzerinde birçok risklere de neden olabilmektedir. Bu nedenle günümüz koşullarında gübrelemenin önemi ve üzerinde yapılan çalışmaların ivmelenmesi daha da artış göstermiştir. Böylece toprak ilmi ile ilgilenen bilim insanlarının havza ölçeğinde toprak kalitesi ile üretkenliğine etki eden faktörleri irdelemesi zorunluluğu ortaya çıkmış ve bu zorunluluğun yerine getirilmesiyle havza bazlı toprak ve gübreleme sorunları ile çözüm önerilerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda bu çalışma Van Havzası toprak ve gübreleme sorunlarına dikkat çekerek bunların çözümlenmesine yönelik çıkarımlar yapmayı amaçlamış ve çözüm önerileri sunmuştur.

Anahtar kelimeler; Bitki, Gübreleme, Toprak, Van Havzası, Van ili

VAN BASIN SOIL-FERTILIZATION PROBLEMS AND SOLUTION RECOMMENDATIONS

Abstract

Fertilization is one of the most important inputs in agricultural production. Fertilization aims to improve plant productivity by ensuring that the plant absorbs sufficient nutrients from the soil. However, unconscious and excessive fertilization not only causes loss of soil quality, but also can negatively affect plant productivity and cause many risks to the environment and the health of living things. For this reason, in today's conditions, the importance of fertilization and the acceleration of studies on it have increased even more. Thus, it became necessary for scientists interested in soil science to examine the factors affecting soil quality and productivity at the basin scale, and by fulfilling this obligation, it was aimed to develop basin-based soil and fertilization problems and solution suggestions. In this context, this study aimed to draw attention to the soil and fertilization problems of the Van Basin, draw conclusions to solve them, and offer solution suggestions.

Anahtar kelimeler; Plant, Fertilization, Soil, Van Basin, Van Province

GİRİŞ

Türkiye'nin doğusunda yer alan Van ili Doğu Anadolu bölgesinin en büyük yüz ölçümüne sahip ve en gelişmiş illerinden biridir. Yaklaşık 23 500 km² yüz ölçümüne sahip olan Van ili Türkiye'nin toplam yüz ölçümünün yaklaşık %3'ünü oluşturmaktadır (Anonim, 2019). Van şehri etrafı volkanik içerikli dağlarla çevrili olup Van Gölü'ne beş kilometre mesafede bulunan oldukça verimli Van Ovası'na kurulmuş antik bir kenttir. Türkiye'de bulunan 26 havzadan birine sahip olan Van ilinde bulunan Van Havzası 38° 29' 39" Kuzey enlemi ve 43° 22' 48" Doğu boylamında yer almakta ve ortalama yüksekliği 1725 m seviye ile yüksek rakıma sahip olmasıyla iklimin sert geçmesine neden olmaktadır. Doğu Anadolu Bölgesinde konumlanan havzanın doğusunda İran, güneyinde Hakkâri ve Siirt, batısında Bitlis ve kuzeyinde Ağrı yer almaktadır. Karasal iklimin etkin olduğu Van ilinde donlu günlerin sayısı fazla olmasına rağmen yazlar kurak ve düşük yağışlıdır. Ancak merkezi konumda yer alan Van Gölü'nün yarattığı mikro klima etki nedeniyle iklim koşulları ılıman bir etki göstermektedir (MGM, 2023). Uzun yıllar meteorolojik raporlara göre, yıllık ortalama hava sıcaklığı 9.4°C, ortalama nispi nem %58, toplam güneşlenme süresi 94.1, toplam buharlaşma 1378 mm ve toplam yağış 388 mm olarak kayıt altına alınmıştır (Tablo 1) (MGM, 2023). Bu veriler değerlendirildiğinde bölgede etkin bir bitkisel üretim için Haziran ve Eylül aylarını kapsayan vejetasyon periyodundaki yağışların düşük olmasından dolayı sulamanın mutlaka gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Çakmakcı ve ark., 2016). Sularını denizlere dökemeyen Van Gölü Havzası yaklaşık 16 000 km²'lik alanı ile Türkiye'nin ikinci büyük kapalı havzasıdır (Anonim, 2019).

Tablo 1. Van ili uzun yıllar iklim parametreleri (MGM, 2023).

Parametreler ve Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort. veya Top.
Ort. sic. (°C)	-3.1	-2.6	1.5	7.7	13.1	18.2	22.2	21.1	17.8	11.2	4.9	-0.5	9.4
Nispi nem (%)	68.5	69.1	67.3	61.9	56.6	49.3	44.1	42.2	44.1	58.6	66.2	68.3	58.0
Rüz. hızı (m/s)	2.3	2.2	2.3	2.4	2.3	2.2	2.3	2.3	2.4	2.2	2.2	2.2	2.3
Buh. (mm)	-	-	-	69.3	135.9	187.9	236.0	226.5	170.2	90.0	262.0	-	1377.8
Güneşl. süresi	4.5	5.3	6.0	7.2	9.3	11.7	12.1	11.4	9.8	7.0	5.5	4.3	94.1
Yağış (mm)	34.6	33.6	46.7	55.9	45.8	18.1	5.4	3.7	13.6	46.8	47.0	36.3	387.5

Van ilinin toplam nüfusu Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre 2004 yılında 942 771; 2023 yılında ise 1 127 612 olup 19 yılda yaklaşık %20 oranında artış göstermiştir (TÜİK, 2023). Nüfusun çoğunluğu tarım ve ticarete geçimini sürdürmektedir (Anonim, 2019), Bölgede sanayi faaliyetleri yok denecek kadar azdır (Kanberoğlu, 2016). Bitkisel ve hayvancılık başlıca gelir kaynakları arasında yerini almaktadır. Van ili küçükbaş hayvan varlığı açısından Türkiye'de birinci sırada yer almaktadır (Karakuş ve Akkol, 2013).

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

Bölgedeki tarım topraklarının yaklaşık %60'ını kumlu killi tın, geriye kalanı ise kumlu tın ve kumlu kil tekstüre sahip topraklar oluşmaktadır (Tüfenkçi ve ark., 2009). Van ilinin doğu kısmında kestane rengi ve kahverengi özelliğe sahip topraklar kuzey kısmında ise kireç içeriği düşük kahverengi topraklar yer almaktadır. Bunlar Van ili topraklarının %60'ından daha büyük bir çoğunluğunu kapsamaktadır (Ertek ve ark., 2000). Kireç içeriği düşük kahverengi topraklar Van ilinin kuzeyinde dış püskürük ana kaya üzerinde gelişmiştir. Bu nedenle de bunların fosfor içeriği düşük seviyelerdedir. Kireçsiz kahverengi topraklar çayır ve orman kuşakları arasında kalmaktadır (Tüfenkçi ve ark., 2009). Bunlar çok yağış almış bölgelerde oluşmuştur. 670 mm ve daha çok yağış düşen alanlarda oluşmuştur. Kestane rengi topraklar Van ilinin doğu bölgesinde ilin en büyük toprak bölümünü oluşturmaktadır. Kahverengi topraklar ile birlikte görülen bu topraklarda kireç birikimi görülür. (Anonim, 2019). İlin tarım alanlarının yaklaşık %24'ü sığ, geri kalan kısmı ise derin topraklara sahiptir (Karaca ve ark., 2019). Van ili Çevre Raporuna göre il tarım topraklarının bazı özellikleri ve besin element içerikleri Tablo 2 ve 3 de sunulmuştur (Anonim, 2019).

Tablo 2. Van ili topraklarının bazı özellikleri

Toprak Grubu ve Özellikler	Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)	pH	Kireç (%)	Tuz (%)	Organik madde (%)
Kestane rengi	49	33	15	7.3	12	0.104	1.06
Kireçsiz kahverengi	63	26	10	6.9	1.1	0.057	1.14
Kireçsiz kahverengi Orman	50	28	22	7.1	1.4	0.031	1.43
Kahverengi	70	24	7	7.3	19	0.034	0.68
Regosol	65	22	8	7.5	13	0.035	0.73
Alüvyal	38	54	6	7.5	22	0.115	1.34
Kolüvyal	49	45	6	7.7	36	0.139	0.83
Hidromorfik	43	31	26	7.9	4.4	0.692	1.73

Tablo 3. Van ili topraklarının besin elementi içerikleri

Toprak Grubu ve Özellikler	N (%)	P (mg kg ⁻¹)	Değ. K (me/100)	Ca+Mg (me/100)	Fe (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)
Kestane rengi	0.048	5.59	1.06	16.75	46	0.9	5.0	33
Kireçsiz kahverengi	0.051	5.73	1.61	15.15	55	1.7	3.5	45
Kireçsiz kahverengi Orman	0.067	7.92	1.82	9.22	104	2.9	5.8	65
Kahverengi	0.033	6.13	0.65	9.43	17	0.8	0.7	19
Regosol	0.055	6.96	0.70	3.34	11	0.7	1.3	17
Alüvyal	0.059	8.26	0.60	6.14	36	0.9	4.0	18
Kolüvyal	0.033	3.86	0.57	24.31	16	0.6	1.4	18
Hidromorfik	0.073	4.36	1.24	29.58	41	0.6	8.6	20

Van ilinde 3 744 km² tarım arazisi mevcut olup, sulanan arazi miktarı 1164 km²'dir (Anonim, 2019). Bölgenin sulama kaynakları Zernek, Koçköprü, Sarımehmet, Morgedik barajları ile Emek, Morçişek, Sıhke, Genişgöl, Gölegen ve Bostaniçi göletleridir (Anonim, 2019). Ayrıca ilde Kesış, Hasantimur, Erçek, Süphan, Hıdırmentes ve Kaz gölleri bulunmaktadır, Bendimahi, Hoşap, Karasu, Zilan, Kotur, Çatak, Beyaz, Kapan dereleri gibi önemli yüzey suyu kaynakları da bulunmaktadır ve Van'da resmi kayıtlara göre 283 yeraltı suyu kuyusu yer almaktadır (Anonim, 2019). Van ilinde kişi başına düşen su miktarı Türkiye ortalamasına göre yüksek olmasına rağmen dünya ortalamasının altındadır (Yerli ve ark., 2019). Ayrıca ilde kişi başına düşen su miktarı Türkiye ortalamasına göre dikkat çekici bir azalma eğilimi gösterirken, azalma oranı dünya geneline göre daha düşüktür (Yerli ve Şahin, 2022). Van'da su miktarı Türkiye ortalamasının üzerinde olmasına rağmen, havza su geçişleri, mansap su hakları, sulama amaçlı su depolama ve iletim yapılarına ilişkin kısıtlamalar, etkin su kullanımını engelleyen faktörler arasında sıralanarak yerini almaktadır.

Gübreleme

Bitkiler gelişimlerini sürdürebilmek için ihtiyaç duydukları besin elementlerini havadan ve topraktan sağlarlar. Ancak havadan sağlanan besin elementlerinin aksine topraktan besin element alımı daha fazladır. Yeterli seviyede besin element alımı bitkinin verimliliğini artırmaktadır. Toprağa uygulanan çeşitli gübreler ile besin elementlerinin alımının artırılması ve eksikliğinin giderilmesi sağlanarak bitkisel verimliliğin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır (Aygün ve Acar, 2004).

Aslında gübreleme yüzyıllar öncesine dayanmaktadır. Ancak kimyasal gübre olarak nitelendiren çeşitli besin elementlerini içeren gübre formlarının toprağa uygulanması 1950 yılından sonra etkinlik kazanmıştır. İlerleyen dönemlerde ise tarımda gelişen gübreleme faaliyetleri dikkat çekici uygulamalara eşlik etmiştir (Şahin, 2016). Böylece gübreler ve gübreleme üzerinde çalışmalar ivme kazanmış ve bitkisel verimlilik ile hastalık ve zararlılara dayanım artış göstermiştir (Karakurt, 2009). Ancak ilerleyen periyotlarda bilinçsiz gübre uygulamaları, gübrelerin etkin kullanılamaması, toprak analizlerinden bağımsız gübreleme faaliyetleri tarımsal üretimde problemlere, toprak kalitesinin azalmasına ve çevresel risklere neden olmuştur (Aras ve Uygun, 2017). Böylece günümüz koşullarında gübrelemenin önemi ve üzerinde yapılan çalışmaların ivmelenmesi daha da artış göstermiştir. Özellikle kimyasal gübrelerin insan ve hayvan sağlığı üzerinde oluşturmuş olduğu çeşitli akut ve kronik sağlık problemleri bilim insanlarının bu konu üzerine yoğunluğunu daha da artırmıştır (Aydınalp, 2000). Sağlık problemlerinin yanı sıra gübrelemenin oluşturduğu bir diğer olumsuz etki toprak üretkenliği üzerinedir. Bilinçsiz gübreleme toprakların geri dönüştürülmesi zor bir şekilde üretkenlik ve kalitesinin azalmasına neden olarak bitkisel üretimde dengesizliklerin oluşmasına mahal vermektedir (Şahin, 2016).

Bunların tamamı değerlendirildiğinde toprak ilmi ile ilgilenen bilim insanlarının bölgesel ölçekte toprak kalitesi ve üretkenliğine etki eden faktörleri araştırması zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Bu kapsamda bu çalışma Van Havzası toprak-gübreleme sorunlarına

dikkat çekerek bunların çözülmesine yönelik çıkarımlar yapmayı amaçlayarak tasarlanmıştır.

Van Havzası Toprak-Gübreleme Sorunları

Van ili çok büyük arazilere sahip olmasına rağmen ekilip işlenen araziler çok düşüktür. Bunun nedeni ise bölgede üretilen ürünleri işleyecek fabrikaların olmaması, üretilen ürünlerin üreticiler tarafından pazar bulma kaygısı ve işleme noktalarına uzak olmasından dolayı nakliye masrafları yüksek olması üreticileri bu durumdan uzaklaştırmaktadır.

Son yıllarda artan gübre maliyetleri bölgedeki üreticilerin alım gücünü azaltmıştır. Sağlanan desteklemeler zayıf olduğundan dolayı üretici gübre mazot ve tohumu almakta iyice zorlanmaktadır. Bölgedeki çiftçilerin birçoğu artan maliyetlere karşın sınırlı gübre veya sıfır gübre kullanımı sağlayarak üretime devam etmeye çalışsa da ekimlerde hem bitkinin zayıf gelişimi hem de verim kayıplarının yaşanması çiftçinin gelirini doğrudan etkilemiştir. Bu durumun süreklilik arz etmesi halinde üretimin aksayacağı ve üretimden uzaklaşan bir çiftçi profili ile karşılaşılacağı aşıkardır.

Tarım il müdürlüğünden temin edilen verilere göre 2022 yılında Van ilinde gübre tüketimi 5524 ton olmuştur (Tablo 4). Bu tüketim ağırlıklı olarak tahıl ve bitkisel alanlarda ve meyvecilik yapan üreticiler tarafından kullanılmıştır. Gübreleme konusunda tarım alanına göre çok az tüketim olmaktadır. Üreticilerin gübre kullanma alışkanlıkları çok zayıf olup ilin büyük bir kısmında tahıl için dekara 3-5 kg gübre kullanımı gerçekleştirilmektedir. Bu da besin noksanlığı olan topraklarda daha az verim alınması ve zayıf bitki gelişimi olmakla beraber ekonomik olarak da kazanç kaybına neden olmaktadır.

Tablo 4. Van ili gübre kullanımı ve miktarı (Van Tarım İl Müdürlüğü, 2022)

Gübreler	Tüketim (ton)
TSP	27
TM.13.24.12	107
SÜPER EKİN	45
TM.15.15.15	25
TM.15.15.15.Zn	26
12.30.12	1151
TM.20.20.0	26
TM.20.20.0.Zn	165
NİTROPOWER	52
TT.AS.21.I	261
TT.CAN.Y	1150
TT.DAP.I	728
TT.MAP.I	3
TT.URE.GR.I	1758
TOPLAM	5524

Bölgede otlak alanların usulüne göre kullanılmaması ve toprak koruyucu bitkisel ürünlere önem verilmemesi erozyon riskiyle beraber bazı tarım alanlarının yok olmasına neden olmuştur. Özellikle sığ topraklara sahip alanlarda yoğun toprak işleme, eğimli tarım arazilerinde önem alınmadan tarımsal üretim, toprağın üretim gücüne dayalı olmayan tarımsal faaliyetler, ormanların azalması ve ormanlaştırmaya önem verilmemesi, yoğun tarım trafiği erozyon riskinin artmasına neden olmuştur (Çiftçi ve ark., 2008).

Van ilinde kırsal alanlardan kentsel alanlara olan yoğun göç hem çiftçi faaliyetlerinin azalarak tarımsal üretimin sınırlanmasına hem de kentleşmenin artarak tarım alanlarının bertaraf edilmesine neden olmuştur. Bu durum çeşitli doğal afetlerin ortaya çıkması riskine de imkân sağlamıştır (Güven, 2022). Çünkü tarımsal alanların toprakları yağışlar ile yeryüzüne gelen fazla suyun emilmesini, bölgedeki su dengesinin korunmasını, sele karşı direnç sağlanmasını ve bu bitki örtüsü sayesinde de çeşitli hava kirliliği olaylarının emilmesini sağlamaktadır (DeGrove ve Deborah, 1992). Bunlara ilaveten kentsel alana olan yoğun talep bitkisel çeşitliliğin, doğal floranın azalmasına hatta yok olmasına da neden olabilmektedir.

Tarım alanlarının amaç dışı kullanımı tarımsal faaliyetlerin aksamasında baş faktörler arasındadır (Ekinci ve Sayılı, 2010). Özellikle Van ilinde son yıllarda artan kentleşme ve kırsal kesimlerden kente yoğun göç bu durumun hızlanmasına neden olmuştur. İl bazında tarım alanları sanayileşme, konutsal yapılardaki artış, kamu alt yapıları için kullanım ve bazı diğer özel kullanımlar neticesinde azalmıştır. Ancak tarım arazileri kabiliyetlerine göre sınıflandırılmış olup tarımsal ve çevresel sürdürülebilirlik için bunların uygun kullanımı oldukça önemlidir (Karakayacı, 2010). Aksi durumda hem tarımsal üretimden vazgeçilmiş hem de kaynakların yoğun tüketimi ile karşılaşılacağı aşikardır (Özdemir, 1995). Artırılmaz nitelikte olan tarımsal arazilerin asıl amaçları dışında kullanılması yerine gerçek görevleri olan tarımsal üretim için iyileştirilerek rasyonel bir şekilde kullanılması imkanının artırılması gerekmektedir.

Van ilinde arazi kullanımındaki hatalı yaklaşımların başlıcaları; sulama kanallarının bulunduğu bölgelerin yapılaştırılması, sulama birlikleri ve Devlet Su İşleri arasında ilişkinin kurulamaması ve işlevselliğin bozulması, sulama suyu kalitelerinin ve barajların yapısal özelliklerinin takip edilememesi, planlanamaması ve işletilememesi, toprak koruma kurullarının işlevselliğini yitirmesi, imar veren kuruluşlarının bütünlüğünü kaybetmesi, çayır-mera alanlarının sürdürülebilirliğini yitirmesi, hatalı otlatma, eylem planlarında yanlışlıklar, ziraat mühendislerinin sahaya çıkması yerine masa başı işlerde kullanılması gibi temel etmenler sıralanabilir.

Çözüm Önerileri

Çözüm önerileri şu şekilde belirtilebilir; Van ilinin toprak haritalarının çıkarılması, bölge topraklarının tanımlanması, problemlerli arazilerin belirlenerek ıslahına yönelik adımların atılması, çiftçi ve üretimin içinde olan tüm kesimin bilgilendirilmesi, gübre üretim ve kullanım aşamalarında proje ve AR-GE çalışmalarının yapılması, gübre kullanımının ve mevzuatın açıklığa kavuşturulması ve ilgili kesimlere aktarılması,

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

üniversiteler, tarım kurum ve kuruluşları ve özel sektörlerin kombine çalışma şeması göstermesi, üniversite ve sanayi iş birliğinin çözüme kavuşturulması, entansif gübre üretim politikalarının tüm kurumlar tarafından benimsenmesi, yerli ve milli üretime teşvik sağlanması, hem gübre hem de tarımsal üretimin içerisinde yer alan tüm kalemlerin desteğine yönelik kalıcı çözümlerin üretilmesi, bitki desenlerinin karlılık sağlayan ve pazarda daha fazla yer alan ürünlere kaydırılması, tarımsal üretimde insan ve hayvan sağlığının sağlanmasına ilaveten çevresel sürdürülebilirliği de dikkate alan yaklaşımların üretilmesi ve bilgilendirilmesi, gübrelerin kimyasal ve fiziksel özelliklerine uygun olarak homojen gübreleme yapacak nitelikteki gübreleme ekipmanlarının çiftçilere tanıtılması ve sağlanması, sulama suyu, gübre ve toprak analizlerinin yapılması, çiftçinin bunları yapmasına yönelik imkanların genişletilmesi, toprak, su ve bitki ilişkilerinin üreticiye en iyi şekilde anlatılması, toprak ile bitki özelliklerine yönelik gübrelemenin gerçekleştirilmesi, mevcut laboratuvarların geliştirilmesi ve laboratuvarında görev yapan personellerin eksikliklerinin giderilmesi, bitkisel ve hayvansal üretimde çiftçi kayıtlarının ve izlenmesinin tam anlamıyla yönetilmesi, çapalama, sulama, gübreleme gibi tüm faaliyetlerinin üreticiye bilimsel olarak aktarılması ve modern teknolojilere adım atılması, çiftçilerin mineral gübreyi zamanında verememesi veya gübre fiyatının yüksek olmasına bağlı taban gübresi kullanmadan sadece azotlu gübre kullanarak ekim yapmalarının yetiştiriciliğinin anlatılması, mevcut ziraat odaları kanallarıyla önder üreticilerin belirlenmesi, bu üreticilere bitki besleme ve gübreleme ile toprak sağlığı açısından eğitim bilgilerinin aktarılması, damla sulama sisteminin yaygınlaştırılması ve damla sulamada fertigasyonun anlatılması.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2019. Van İli 2018 Yılı Çevre Durum Raporu. https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/van_2018_cevre_durum_raporu_son-20191122145050.pdf
- Aras, B. & Uygun, S. 2017. Azotlu gübreleme esasları ve arpada azotlu gübreleme. Ziraat Mühendisliği, 364, 18-29.
- Aydınalp, C. 2000. Türkiye'nin toprak sorunları. Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi, 10(1), 135-143.
- Aygün, Y., & Acar, M. 2004. Organik gübreler ve önemi. Hasat, 228, 68-72.
- Çakmakçı, T., Şahin, Ü., Kuşlu, Y., Kızıloğlu, F. M., Tüfenkçi, Ş., & Okuroğlu, M. 2016. Van ili tarım alanlarında temiz ve atık su kaynaklarının yönetimi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 26(4), 662-667.
- Çiftçi, Y., Işık, M. A., Alkeveli, T., & Yeşilova, Ç. 2008. Van Gölü havzasının çevre jeolojisi. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 32(2), 45-77.
- DeGrove, J.M. & Deborah, A.M., 1992. The new frontier for land policy: planning and growth management in the states. Lincoln Institute of Land Polic
- Ekinci, K., & Sayılı, M. 2010. Tarım arazilerinin parçalanmasını önlemeye yönelik mevzuat üzerine bir inceleme. Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University, 2010(2), 121-129.

- Güven, İ. 2022. Kentleşme Politikalarının Tarım Alanları Üzerindeki Etkisi: Çilesiz Mahallesi Örneği. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 10(2), 322-335.
- Kanberoğlu, Z., 2016. Van sanayi mevcut durumunun genel bir değerlendirmesi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 1, 25-38.
- Karaca, S., Sargın, B. & Türkmen, F., 2019. Bazı arazi ve toprak niteliklerinin coğrafi bilgi sistem analizleriyle incelenmesi: Van İli arazi ve toprak özellikleri. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 6(2), 199-205.
- Karakayacı, Z. 2010. Tarım arazilerinin dışı kullanımının sürdürülebilir kalkınma açısından değerlendirilmesi. Ziraat Mühendisliği, (355), 48-53.
- Karakurt, E. 2009. Toprak verimliliği yönünden yeşil gübreler ve gübreleme. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 18(1-2), 48-54.
- Karakuş, F. & Akkol, S., 2013. Van ili küçükbaş hayvancılık işletmelerinin mevcut durumu ve verimliliği etkileyen sorunların tespiti üzerine bir araştırma. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 18(1-2), 9-16.
- MGM, 2023. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. <http://www.mgm.gov.tr>.
- Özdemir, N. 1995. Türkiye'de tarım bölgelerine göre toprak korumaya yönelik sorunlar ve öneriler. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 26(3), 460-473.
- Şahin, G. 2016. Türkiye'de gübre kullanım durumu ve gübreleme konusunda yaşanan problemler. Tarım Ekonomisi Dergisi, 22(1), 19-32.
- Tüfenkci, S., Sönmez, F., & Şensoy, G.R., 2009. Van ili bağlarının beslenme durumlarının belirlenmesi. Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 13(4), 13-22.
- TÜİK, 2023. Türkiye İstatistik Kurumu. <http://www.turkstat.gov.tr/Start.do>
- Yerli, C., & Şahin, U. 2021. An assessment of the urban water footprint and blue water scarcity: A case study for Van (Turkey). Brazilian Journal of Biology, 82, e249745.
- Yerli, C., Şahin, Ü., Kızıloğlu, F. M., Tufenkci, S., & Ors, S. 2019. Water footprint of silage corn, potato, sugar beet and alfalfa in Van province. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Journal of Agricultural Sciences, 29(2), 195-203.

GÜBRELEMEDE MEKANİZASYON: KULLANILAN EKİPMANLAR, ÇALIŞMA İLKELERİ VE SON GELİŞMELER

Davut KARAYEL

Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği
Bölümü, Antalya
dkarayel@akdeniz.edu.tr

Özet

Tarımsal mekanizasyon genel olarak tarımsal üretimde ilkel yöntemler yerine ileri üretim teknolojilerinin uygulanabilmesi için gerekli olan makinelerin yapımı, seçimi, işletilmesi ile ilgili tüm çalışmalarını kapsamaktadır. Tarımsal mekanizasyonun başlıca görevi, insan iş gücünün verimliliğini ve etkinliğini arttırmak böylece işin maliyetini düşürürken kalitesini arttırmaktır. Modern tarımda kuşkusuz tarımsal mekanizasyonun rolü çok büyüktür. Tarımsal üretimde toprak işleme, ekim, dikim, gübreleme, tarımsal mücadele ve gerekse hasat-harman aşamalarında kullanılan makineler gelişen teknolojiyle birlikte birçok değişime uğramaktadır. Tarımla uğraşan kırsal kesimin bu değişen şartlara uyum sağlaması, tarımın sürdürülebilirliği, doğal kaynaklardan etkin bir şekilde yararlanma, kaliteli bir tarımsal üretim ve yüksek verim için çok önemlidir. Tarımsal mekanizasyon veya diğer bir ifadeyle tarımda makineleşme sayesinde bir taraftan daha az iş gücüyle daha kaliteli ve ucuz üretim yapılırken, diğer taraftan işlerin kolay, zevkli ve kısa sürede yapılması sağlanmaktadır. Bu çalışma ile tarımsal üretim zincirinin önemli bir halkası olan gübrelemede kullanılan makine ve ekipmanların tanıtılması ve bu alandaki son teknolojik gelişmelerin de sunulması hedeflenmiştir. Gübreleme tarımsal üretimin en önemli girdilerinden birisidir. Gübreler; ekim öncesinde, ekim sırasında veya bitki gelişme döneminde değişik makineler kullanılarak uygulanabilir. Gübrelemenin başarıya ulaşmasında, uygun makinenin seçimi yanında seçilen makine için işletme koşullarının (hız, iş genişliği vb.) da uygun bir şekilde belirlenmesi önemlidir. Aksi takdirde birim alana uygulanan gübre miktarı istenen değerden farklı olacaktır. Bu durumda; ya aşırı gübreleme ile gübreleme masrafı artacak ve çevre zarar görecektir, ya da az gübrelemede bitki yeterince beslenmeyecek ve verim düşüşü yaşanacaktır. Bu nedenlerle uygun gübre ve gübreleme normu yanında uygun makine/ekipman seçimi ve makinenin teknik olarak uygun işletme koşullarında kullanımı gübrelemenin amacına ulaşması açısından son derece önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Tarımsal mekanizasyon, tarım makineleri, tarım teknolojileri, gübreleme, bitki besleme.

MECHANIZATION IN FERTILIZER APPLICATION: EQUIPMENT USED, OPERATING PRINCIPLES, AND LATEST DEVELOPMENTS

Abstract

Agricultural mechanization encompasses all activities related to the construction, selection, and operation of machinery necessary for the application of advanced production technologies in agricultural production, instead of primitive methods. The main task of agricultural mechanization is to increase the productivity and efficiency of human labor, thus reducing the cost of operations while improving their quality. Undoubtedly, the role of agricultural mechanization is significant in modern farming. Machines used in soil cultivation, planting, fertilization, agricultural pest control, and harvest have undergone numerous changes with advancing technology. Adapting to these changing conditions by the rural population engaged in agriculture is crucial for the sustainability of agriculture, efficient utilization of natural resources, high-quality agricultural production, and increased productivity. Agricultural mechanization enables more quality and cost-effective production with less labor on the one hand and facilitates easier, more enjoyable, and faster completion of tasks on the other hand. This study aims to introduce the machinery and equipment used in fertilization, an essential part of the agricultural production chain, and present the latest technological developments in this field. Fertilization is one of the most critical inputs in agricultural production. Fertilizers can be applied using various machines before sowing, during sowing, or during the plant growth period. In achieving successful fertilization, besides selecting the appropriate machine, determining operational conditions (speed, working width, etc.) for the chosen machine is crucial. Otherwise, the amount of fertilizer applied per unit area will differ from the desired value. In such cases, either excessive fertilization will increase fertilizer costs and cause environmental damage, or insufficient fertilization will lead to inadequate plant nutrition and reduced yield. Therefore, alongside appropriate fertilizer and fertilization norms, selecting suitable machinery/equipment and ensuring their technical operation under appropriate conditions are crucial for achieving the purpose of fertilization.

Keywords: Agricultural mechanization, agricultural machinery, agricultural technologies, fertilization, plant nutrition.

GİRİŞ

Bir tarımsal üretim teknolojisi olarak tarımsal mekanizasyon, tarım üretimdeki kullanılan her türlü alet ve ekipmanların; proje, imalat, geliştirme, bakım-onarım, pazarlama, işletim ve yayım uygulamalarını içerisine alan, tarım üretimindeki diğer girdi materyallerinin etkinliğini arttıran ve birim tarım alanından daha yüksek verim alınmasını sağlayan önemli bir tarımsal girdidir (Zeren ve ark., 1995; Saral ve ark., 2000). Tarımda makine kullanımı, birim alanda verimlilik artışına neden olan tohum, gübre ve ilaç gibi önemli girdi materyallerinin uygun şekilde kullanılmasını sağlar (Özgüven ve ark., 2010).

Gübrelerin kullanılmasında önemli olan unsurlar; kullanılan gübre çeşidi, gübre uygulama normu, gübrenin uygulama yöntemi ve uygulama şekli olarak sayılabilir (Ülger

ve ark., 2002; Norman ve ark., 2008). Landry (2005) çalışmasında, çiftlik gübresinin optimum kullanımını sağlayacak temel şartlardan birinin uygulama normu olduğunu belirtmiştir. Gübre uygulama yöntemi ve uygulama şekli ise gübre besin içeriği kaybı üzerinde en önemli faktörlerdendir.

Gübrelerin gübre dağıtma makinesi ile dağıtımı, elle yapılan dağıtımdan 7 – 10 kez daha verimli olduğu bilinmektedir (Long ve ark.,1993). Bu nedenle uygulamada, kolay, hızlı ve uygun bir gübre dağılımı gerçekleştirmek için, gübre dağıtma makinelerinden yararlanmak gerekmektedir. Gübrelemede başlıca 5 yöntem kullanılmaktadır. Bunlar;

- ❖ Serpme,
- ❖ Bant,
- ❖ Ocak,
- ❖ Püskürtme ve
- ❖ Sulama suları ile gübrelemedir.

Gübrelemede kullanılan makineler bu yöntemler baz alınarak tasarlanır ve bu yöntemlere göre sınıflandırılabilir ancak gübre dağıtma makineleri genelde kullanılan gübrelerin cinsine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

- A. Organik Gübre Dağıtma Makineleri
 - a. Çiftlik Gübresi Dağıtma Makineleri
 - b. Sıvı Gübre (Şerbet) Dağıtma Makineleri
 - c. Bitki Artıkları ve Yeşil Gübre Dağıtma Makineleri
- B. Kimyasal Gübre Dağıtma Makineleri
 - a. Granül (Katı) Kimyasal Gübre Dağıtma Makineleri
 - a.1. Sandıklı
 - a.2. Hassas (Geniş dağıtma düzenli)
 - a.3. Santrifüj
 - b. Mikro Granül Kimyasal Gübre Dağıtma Makineleri
 - c. Sıvı Kimyasal Gübre Dağıtma Makineleri
 - d. Gaz Kimyasal Gübre Dağıtma Makineleri

Ülkemizdeki mevcut gübre dağıtma makinesi varlığını belirlemek için Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Tarımsal Alet ve Makine İstatistikleri incelenmiş ve 2004 ile 2022 yılları arasında istatistikte yer alan çiftlik gübresi dağıtma makinesi ve kimyasal gübre dağıtma makinesi sayıları Tablo 1’de sunulmuştur. Referans olması açısından kombine hububat ekim makinelerinin sayısındaki değişim de çizelgeye eklenmiştir.

İstatistiklerde sunulan gübre dağıtma makinelerinin çeşitleri hakkında veri bulunmamaktadır ancak kimyasal gübre dağıtma makinesi olarak kastedilen makinenin santrifüj kimyasal gübre dağıtma makinesi, çiftlik gübresi dağıtma makinesinin ise gübreyi geriye veya yana doğru dağıtma düzenekleri bulunan taşıma arabalı dağıtma makineleri olduğu düşünülmektedir. İstatistiklere göre çiftlik gübresi dağıtma makinelerinin sayısı 2004-2022 yılları arasında %485 artmıştır. Aynı süreçte kimyasal gübre dağıtma

makinesinin sayısı ise %68 artış göstermiştir. Kimyasal gübre dağıtma makineleri 470318 adet ile ülkemizde en çok kullanılan tarım makineleri arasındadır.

Tablo 1. Ülkemizde kullanılan gübre dağıtma makinesi ve kombine ekim makinesi sayıları (TUIK, 2022)

Makine	2004	2008	2012	2016	2020	2022	2004-2022 (% değişim)
Çiftlik gübresi dağıtma makinesi	1 671	1 967	2 519	4 382	6 360	8 112	485
Kimyasal gübre dağıtma makinesi	320 609	346 471	385 149	408 737	442 277	470 318	68
Kombine hububat ekim makinesi	166 897	173 654	199 640	211 348	225 817	251 284	66

Gübrelemede mekanizasyon durumunu değerlendirmek için TÜİK verileri yanında çeşitli illerin mekanizasyon durumunu belirlemek için yapılan akademik çalışmalar ve yayınlarda incelenmiştir. Comart ve Akıncı (2017) tarafından Antalya ili tarım işletmelerinin tarımsal yapı, üretim ve mekanizasyon özelliklerini belirlemek için yapılan bir araştırma sonuçlarına göre Antalya ilinde tarım işletmelerinin %35'inde kimyasal gübre dağıtma makinesi, %1'inde ise çiftlik gübresi dağıtma makinesi bulunmaktadır. Ayrıca traktör başına kimyasal gübre dağıtma makinesi sayısı 0.33, çiftlik gübre dağıtma makinesi sayısı ise 0.01'dir. Bozkurt ve Aybek (2016) tarafından Şanlıurfa'da yürütülen benzer bir araştırma sonuçlarına göre tarım işletmesi başına düşen santrifüj gübre dağıtma makinesi sayısı 1.04'dür. Araştırmada çiftlik gübresi dağıtma makineleri ile ilgili bir veriye rastlanılmamıştır. Altıkat ve Çelik (2009) tarafından Erzurum sınırları içerisinde yürütülen bir araştırmaya göre ise Erzurum ilinde bulunan ekim ve gübreleme makinelerinin yaklaşık %75.8'ini kimyasal gübre dağıtma makineleri oluşturmaktadır. Bu araştırmada da çiftlik gübresi dağıtma makineleri ile ilgili bir veriye rastlanılmamıştır.

ORGANİK GÜBRE DAĞITMA MAKİNELERİ

Organik gübreler bitki, hayvan ve insan kaynaklı kalıntılar veya atıklardan oluşmaktadır. Organik maddenin kaynağına göre değişik oranlarda Azot (N), Fosfor (P), Potasyum (K) ve diğer besin elementlerini içerirler. Bitki besin kaynağı olarak kullanılacak önemli organik gübreler; Çiftlik (ahır) gübreleri, yeşil gübreler, kent atıkları, kompostlar, et kombinasi atıklarından oluşabilir. Organik gübreler, bitkilerin ihtiyaç duyduğu besinleri sağlayan, çevre dostu gübrelerdir. Bu alanda kullanılan gübre dağıtma makineleri, gübrenin tarlaya eşit olarak dağıtılmasını sağlayan makinelerdir. Bu makineler, gübrenin tipine, dağıtım şekline ve arazi koşullarına göre farklı tasarımlara sahiptir. Genel olarak katı formdaki gübreler için çiftlik gübresi dağıtma makinesi olarak adlandırılan makineler, sıvı formdaki gübreler için ise sıvı gübre (şerbet) dağıtma makinesi, olarak adlandırılan makineler geliştirilmiştir.

Çiftlik Gübresi Dağıtma Makineleri

Çiftlik gübresinin ahırdan alınması ve tarlaya insan gücüyle dağıtılması sık tekrarlanan, yorucu ve zaman alıcı bir iştir. İşgücü tüketimi 70 saat iş gücü/ha civarında

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

olup teknik ve ekonomik yönden olduğu kadar insan sağlığı yönünden de uygun değildir (Ülger ve ark., 2002). Özellikle 200 kg/da ve daha büyük gübreleme normlarında el ile yapılan dağılımlarda iyi bir dağılım düzgünlüğü sağlanamamaktadır (Mutaf, 1984). Bu olumsuz nedenlerden dolayı çiftlik gübrelerinin tarlaya dağıtımında çiftlik gübresi dağıtma makineleri kullanılmaktadır. Ayrıca bu makinelerin diğer mekanizasyon araçlarının desteği olmadan kullanılmasında işgücü gereksiniminin %50 ve yükleme işi mekanize edildiğinde işgücü gereksiniminin %80 azaldığı bildirilmektedir (Ülger ve ark., 2002).

Çiftlik gübresi dağıtma makineleri gübreyi dağıtma yönlerine göre;

- 1) Gübreyi geriye doğru dağıtma düzenine sahip makineler,
 - Yatay tamburlu,
 - Düşey tamburlu
 - Santrifüj etkili
- 2) Gübreyi yana doğru dağıtma düzenine sahip makineler olarak sınıflandırılabilir.

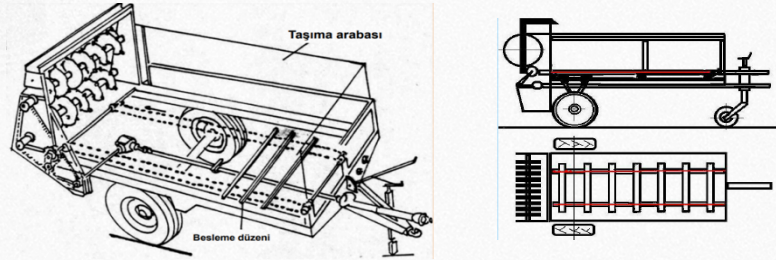
Uygulamada gübreyi geriye doğru dağıtma düzenine sahip makineler yaygın olarak kullanılmaktadır. Çiftlik gübresi dağıtma makineler; götürücü ve dağıtıcı düzenlerden oluşan, lastik tekerlekli genellikle tek akslı bir tarım arabası biçimindedir (Şekil 1 ve 2).

Yatay tamburlu gübre dağıtma makinelerinde (Şekil 2);

$$\text{İş genişliği (dağıtma genişliği) / Makine genişliği} = 1 - 1.2$$

Düşey Tamburlu gübre dağıtma makinelerinde (Şekil 3);

$$\text{İş genişliği (dağıtma genişliği) / Makine genişliği} = 1.4 - 1.8$$



Şekil 1. Yatay tamburlu gübreyi geriye doğru dağıtma düzenine sahip makineler (Dursun, 2017)



Şekil 2. Yatay tamburlu gübreyi geriye doğru dağıtma düzenine sahip makinenin tarlada çalışması



Şekil 3. Düşey tamburlu gübreyi geriye doğru dağıtma düzenine sahip makineler

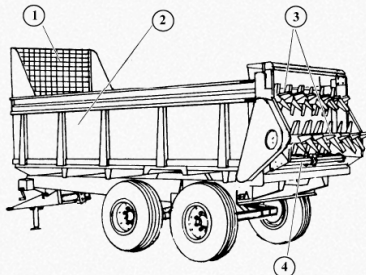
Taşıma arabası, çiftlik gübresinin taşınmasına ve depolanmasına yarar. Şase, kasa, tekerlekler, aks ve bağlantı düzeni gibi parçalardan oluşur. Yapısal olarak tarım arabasına benzer. Tek, 2 veya 3 akslı olabilir (Şekil 4). Taşıma kapasitesi tek akslılarda 2–10 t, 2 akslılarda 5–20 t, 3 akslılarda ise 20–24 t kadardır.

Tek akslı taşıma arabaların;

- manevra yeteneklerinin yüksek olması,
- traktörün muharrik arka tekerleklerindeki tutunma kuvvetini artırmaları ve buna bağlı olarak muharrik tekerleklerdeki patinajı azaltmaları,
- yapılarının basitliği gibi üstünlükleri vardır. Bu nedenle tek akslı taşıma arabalarının kullanımları daha yaygındır.

Taşıma arabalı çiftlik gübresi dağıtma makineleri hareket iletim düzenlerine göre;

- Besleme ve dağıtma düzenleri çiftlik gübresi dağıtma makinesinin hareket tekerleğinden hareket alanlar,
- Besleme düzeni hareket tekerleğinden, dağıtma düzeni traktör kuyruk milinden hareket alanlar,
- Besleme ve dağıtma düzenleri traktör kuyruk milinden hareket alanlar,
- Besleme düzeni hidrolik motordan, dağıtma düzeni traktör kuyruk milinden hareket alanlar,
- Kendi yürür tiplerde olduğu gibi besleme ve dağıtma düzenleri makinenin motorundan hareket alanlar olmak üzere 5'e ayrılırlar.



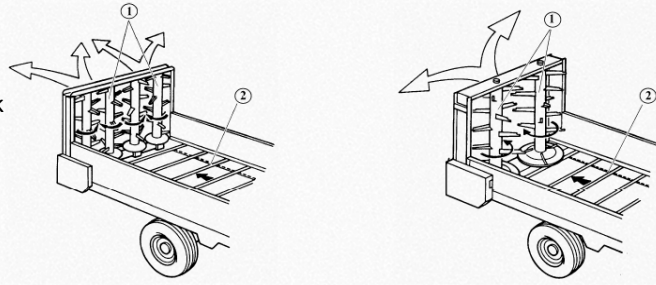
a) Yatay tamburlu çift akslı (tandem) çiftlik gübresi dağıtıcısı

- 1) Ön koruma ekranı
- 2) Tek gövdeli kasa
- 3) Yatay tamburlar
- 4) Hareketli taban

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

b) Düşey tamburlu – tek akslı çiftlik gübresi dağıtıcısı

- 1) Düşey tamburlar
- 2) Hareketli taban



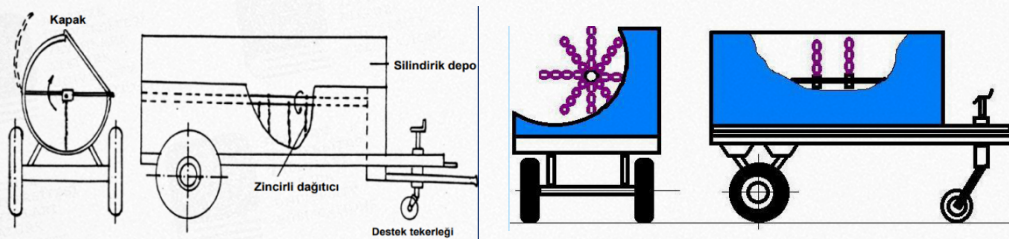
Şekil 4. (a) Tek ve (b) iki akslı, tamburlu gübreyi geriye doğru dağıtma düzenine sahip makineler (Öztekin ve ark., 2006; Dursun, 2017).

Son yıllarda dağıtma düzenleri kanatlı disklerden oluşan çiftlik gübresi dağıtma makineleri, tamburlu makinelere göre yapıları daha basit olduğu için daha çok tercih edilmektedir. Bu makinelerde, taşıyıcı arabaya yüklenen çiftlik gübresi yedirici düzen tarafından diskler üzerine aktarılmakta, diskler üzerine akan gübreler ise santrifüj kuvvet etkisiyle dağıtılmaktadır (Şekil 5).

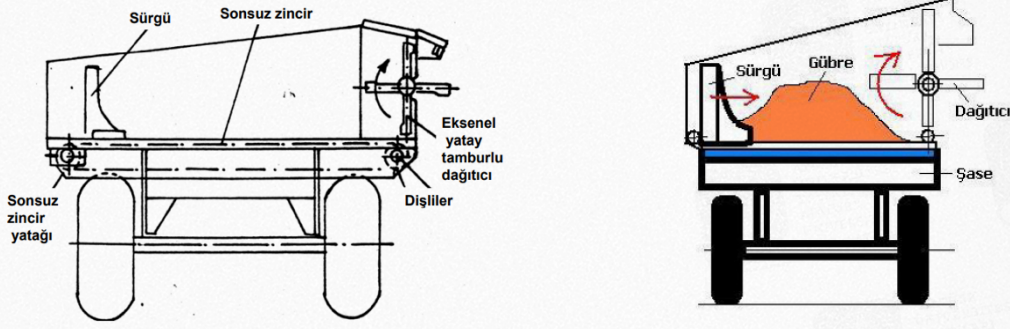


Şekil 5. Santrifüj etkili çiftlik gübresi dağıtma makinesi

Gübreyi yana doğru dağıtma düzenine sahip makinelerde taşıyıcı araba ¼'ü açık su tankeri biçimindedir. Gübrenin dağıtımı tanker içerisinde bulunan bir mile belirli aralıklarla monte edilen zincirlerin döndürülmesi ile sağlanır (Şekil 6). Bu modeller yanında bir taşıma arabasının yan tarafına yerleştirilen tamburdan oluşan dağıtıcı ve sürgü tip besleme düzeninden oluşan modeller de bulunmaktadır (Şekil 7). Bu makineleri genellikle meyve bahçelerinin kök bölgelerinin gübrenmesi için tercih edilmektedir.

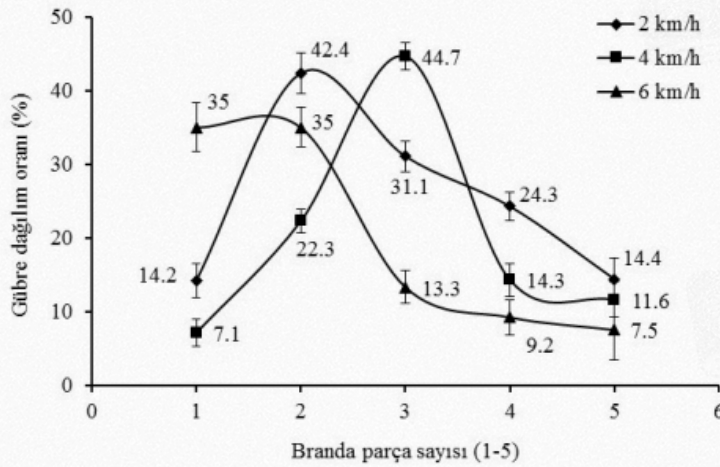


Şekil 6. Gübreyi yana doğru dağıtma düzenine (zincirli) sahip makineler (Dursun, 2017)



Şekil 7. Gübreyi yana doğru dağıtma düzenine (tamburlu) sahip makineler.

Ünal ve ark. (2016) 5 ton kapasiteli düşey tamburlu bir çiftlik gübresi dağıtma makinesinin farklı koşullardaki işletmecilik parametreleri araştırmıştır. Denemelerde makine 2, 4 ve 6 km/h ilerleme hızlarında çalıştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, makinenin efektif iş başarısı 2, 4 ve 6 km/h ilerleme hızlarında sırasıyla 1.65, 3.10 ve 4.95 ha/h olarak gerçekleşmiştir. İlerleme hızının artmasıyla patinaj değerleri %0.9'dan 1.5'e yükselmiştir. Denemeler sonucu elde edilen gübre dağılım düzgünlüğü değerleri Şekil 8'de sunulmuştur. Bu sonuçlara göre 4 km/h ilerleme hızında daha düzgün bir gübre dağılımı elde edildiği belirtilmiştir.



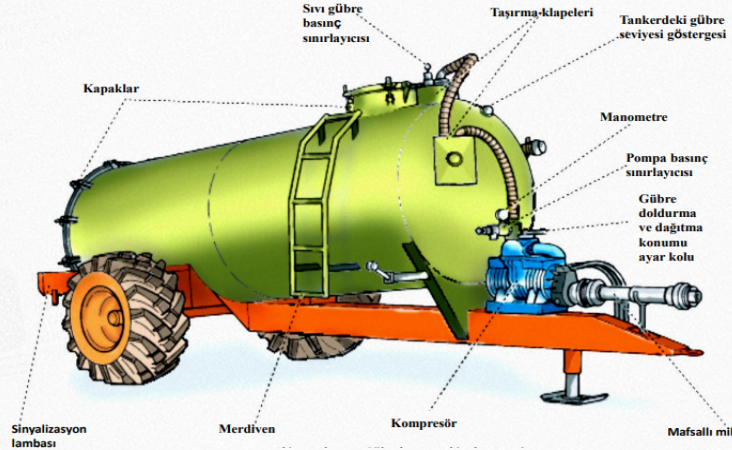
Şekil 8. Ünal ve ark. (2016) göre 5 ton kapasiteli bir düşey tamburlu bir çiftlik gübresi dağıtma makinesinin gübre dağılım düzgünlüğü

Sıvı Gübre (Şerbet) Dağıtma Makineleri

Sıvı gübre dağıtma tankları homojen hale getirilmiş hayvan idrar ve dışıklarını toprağa-bitkiye vermekte kullanılan makinelerdir. Şerbet olarak isimlendirilen bu atıklar, bir pompa ve şerbeti tarlaya püskürten bir dağıtıcıdan oluşmaktadır. Sıvı gübrenin dağıtılmasında kullanılan makineler genellikle gübrenin doldurulması ve nakliyesi işlerini de yapmaktadırlar. Sıvı gübre dağıtıcı tanklar genellikle 3-24 m³ kapasitede imal edilmektedir (Ünal ve ark., 2017).

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

Kompresörlü sıvı ahır gübresi dağıtma makinelerinde vakum etkili tank, kompresörün yarattığı alçak basınçla doldurulmaktadır. Ayrıca aynı kompresörün oluşturduğu yüksek basınç nedeniyle çarpma tabaklı dağıtıcılarda şerbet dağılım genişliği 5 m ve daha yüksek değerlere çıkabilmektedir (Şekil 9, 10, ve 11).



Şekil 9. Kompresörlü Sıvı Ahır Gübresi Dağıtma Makinesi (Dursun, 2017)



Şekil 10. Sıvı Ahır Gübresi Dağıtma Makinelerinde Kullanılan Çarpma Plakalı Dağıtıcılar



Şekil 11. Sıvı Ahır Gübresi Dağıtma Makinelerinin tarlada gübre dağıtımı

Dursun ve Dursun (2019)'a göre sıvı ahır gübresinin dağıtılmasında tankerli ve tankersiz gübre dağıtma makinelerinden yararlanılabilir. Tanker hacmi yüksek olan gübre dağıtma makinelerinin tekerlekleri toprağı sıkıştırır. Toprak nem içeriğinin yüksek olduğu geç sonbaharda veya erken ilkbaharda gübreleme yapıldığında toprak daha fazla sıkışabilir. Tankersiz sıvı ahır gübresi dağıtma makinelerinde bu sorun yoktur. Bu

makinelerin iş başarıları yüksektir. İş gücü ihtiyaçları, yakıt ve yağ giderleri düşüktür. Pompa istasyonu ile gübre dağıtma makinesi arasındaki mesafe, 6500 m olabilir. Yardımcı bir pompa istasyonunun eklenmesi koşulunda bu mesafe artar (Şekil 12).



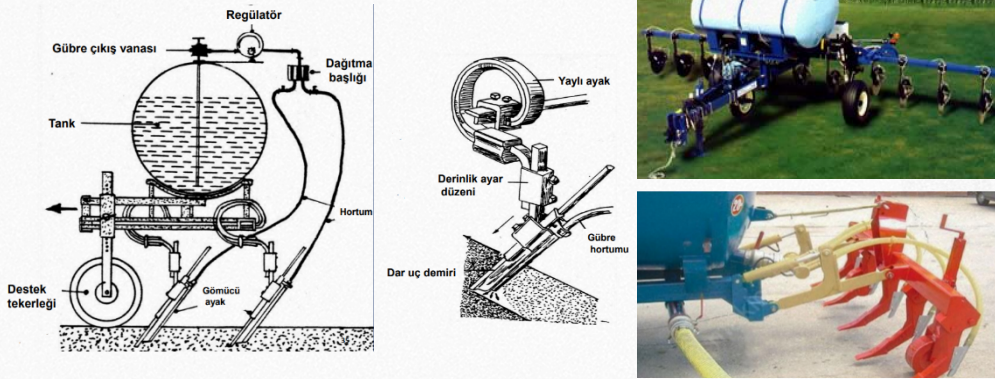
Şekil 12. Tankerli ve tankersiz sıvı ahır gübresi dağıtma makineleri (Dursun ve Dursun, 2019)

Araştırmacılar tarafından yapılan karşılaştırma sonucunda;

- toprak sıkışması yönünden tankersiz gübre dağıtma makinelerinin,
- çevreye yayılan kötü koku yönünden sıvı ahır gübresinin yüzeysel olarak toprak altına karıştırılmasının,
- azot kaybı yönünden gübrenin toprak altına enjekte edilmesinin ve
- zaman kaybı yönünden ise tankersiz makinelerin daha üstün oldukları bildirilmiştir.

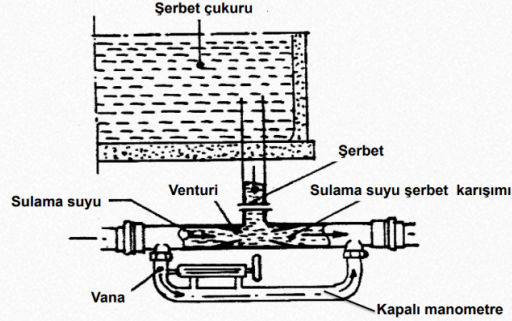
Sheffield (2001) ve Pami (1997)'e göre tankersiz sıvı ahır gübresi dağıtma makinesinde gübrenin bir çarpma plakasına çarparak toprak yüzeyine yayılması koşulundaki azot kaybı %25, toprağa karıştırılmasındaki azot kaybı %3, toprak altına enjekte edilmesinde ise %1'dir.

Çarpma plakalı ve klavuzlu dağıtıcılarda şerbet tarla yüzeyine serilmektedir. Bu da bitkiye ulaşmadan gübrenin azot kaybetmesine neden olmaktadır. Azot kaybını önlemek için şerbet doğrudan toprağın içine verilmelidir. Bu amaçla şerbet tankının arkasına bağlanan küçük çapa ayaklı gömücüler kullanılır. Şerbet çapa ayaklı gömücülere hortumlar vasıtasıyla ulaştırılır (Şekil 13).



Şekil 13. Sıvı Ahır Gübresini Toprak Altına Enjekte Eden Sıvı Gübre Dağıtma Makineleri (Dursun, 2017)

Sıvı ahır gübresinin sulama suyuna karıştırılması için Şekil 14'de görülen venturi sistemlerinden yararlanır. Bu sistemler sayesinde boru içerisinde akan sulama suyunun basıncı düşürülüp hızı artırılarak gübrenin homojen bir şekilde suya karışması sağlanır.



Şekil 14. Sıvı Ahır Gübresinin Sulama Suyuna Karıştırılması (Erol ve Gökür Dursun, 1998)

KİMYASAL GÜBRE DAĞITMA MAKİNELERİ

Kimyasal gübre dağıtma makineleri, tarım sektöründe kullanılan granül, katı, sıvı ve gaz formundaki kimyasal gübreleri etkili bir şekilde toprak yüzeyine veya toprak içine uygulamak için kullanılan tarım makineleridir.

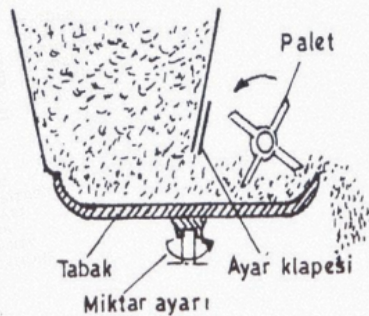
Granül (Katı) Kimyasal Gübre Dağıtma Makineleri

Katı (Granül) Gübre Dağıtma Makineleri:

- Sandıklı,
- Hassas ve
- Santrifüj
 - *Diskli ve
 - * Salınım hareketli gübre dağıtma makineleri olarak sınıflandırılabilir.

Sandıklı granül gübre dağıtma makineleri

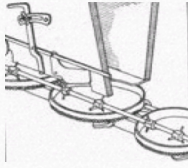
Genellikle serpme şeklinde dağıtım yapan makinelerdir. Dağıtıcı organ, hareketini genellikle tekerlekten almaktadır. Traktör kuyruk milinden hareket alan tiplerde vardır. Gübre deposu içinde gübrelerin köprüleşmesini önlemek için bir karıştırıcı bulunmaktadır. Karıştırıcı aynı zamanda dağıtıcı organlara tekdüze gübre akışı sağlamaktadır (Şekil 15 ve 16).



Şekil 15. Basit sandıklı gübre dağıtıcı (Dursun, 2017)

Sandıklı tip gübre dağıtma makinesi dağıtıcı tipleri aşağıdaki gibidir:

- Tabaklı Dağıtıcı: Sandıklı gübre dağıtma makineleri içerisinde en yaygın kullanılanıdır. Depo tabanına yerleştirilen tabak şeklindeki disklerin tekerlekten aldığı hareket ile düşük devirde dönmesiyle santrifüj kuvvet etkisinde kalan tohumlar tarla yüzeyine serpilir.
- Delikli plakalı dağıtıcı: Depo tabanında oblong delikli iki sac plaka arasında ve uzun eksende ileri-geri hareket eden bir üçüncü delikli plakadan oluşur.
- Merdaneli Dağıtıcı: Depo tabanı dış yüzeyinde bulunan açık oluk içinde çalışan helezonlu merdanelerden oluşur.
- Konveyörlü Dağıtıcı: Depo tabanına dağıtıcı olarak küçük bir taşıyıcı konveyör bulunur.



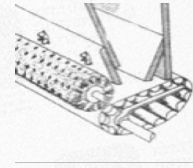
Tabaklı



Delikli plakalı



Merdaneli



Konveyörlü



Farklı dağıtıcı düzenekler

Şekil 16. Sandıklı gübre dağıtma makineleri (Öztekin ve ark., 2006)

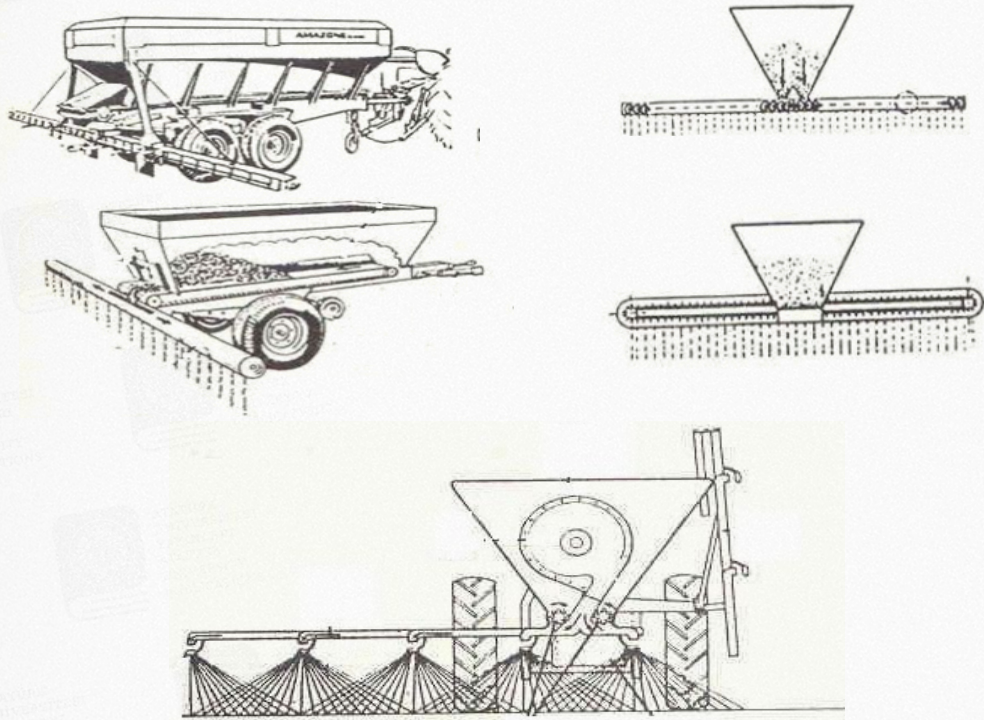
Hassas granül gübre dağıtma makineleri

Geniş dağıtma düzenine sahip katı gübre dağıtma makineleridir (Şekil 17). Dağıtıcı organ hareketini genellikle traktör kuyruk milinden almaktadır.

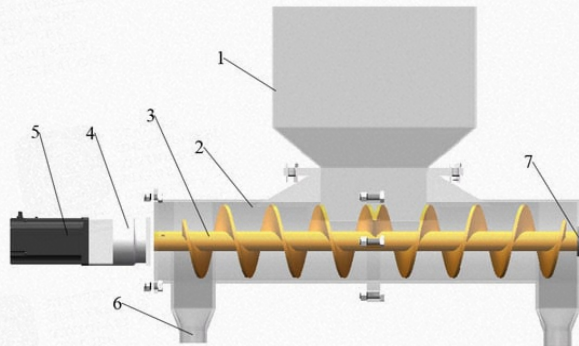
Taşıyıcı Helezonlu Dağıtıcılar: Depo tabanından sağa-sola doğru uzayan içi boş bir mil içerisinde helezon bulunmaktadır. Helezon, gübrelere köprüleşmesini önlemekte ve gübre borusuna iletilmesini sağlamaktadır.

Taşıyıcı Bantlı-Zincirli Dağıtıcılar: Depo tabanında, sonsuz zincir-dişli sisteminden hareket alan bir bantlı götürecü düzen bulunmaktadır.

PNömatik (Havalı) Gübre Dağıtma Makineleri: Bir vantilatör yardımıyla üretilen basınçlı hava gübreyi depodan dağıtma başlığına iletmektedir.



Şekil 17. Hassas gübre dağıtma makineleri (Erol ve Gökür Dursun, 1998; Öztekin ve ark., 2006)



Şekil 18. Helezonlu gübre dağıtma makinesinin şematik gösterimi. 1. Gübre tankı, 2. Gübre boşaltma borusu, 3. Helezon, 4. Redüktör, 5. Servo motor, 6. Gübre çıkışı, 7. Yatak (Peng ve ark, 2023)

Peng ve ark., (2023) tarafından yapılan bir araştırma sonuçlarına göre helezonlu gübre dağıtıcılarda optimum parametre kombinasyonunun 90.2 mm çap, 59.7 mm adım ve 53.9d/d dönüş hızında gerçekleştiği ve bu koşulların ortalama %92 gübre (üre) dağılım düzgünlüğü sağladığı bildirilmiştir (Şekil 18). Zhang ve ark (2023) ise helezonlu bir gübre dağıtıcının optimizasyonu için yapay zeka kullanmış ve optimizasyon çalışmaları sonucu en iyi gübre dağılım homojenliğinin 47.6 d/d dönme hızı, 90 mm çap, 60 mm adım değerlerinde sağlandığı bildirilmiştir.

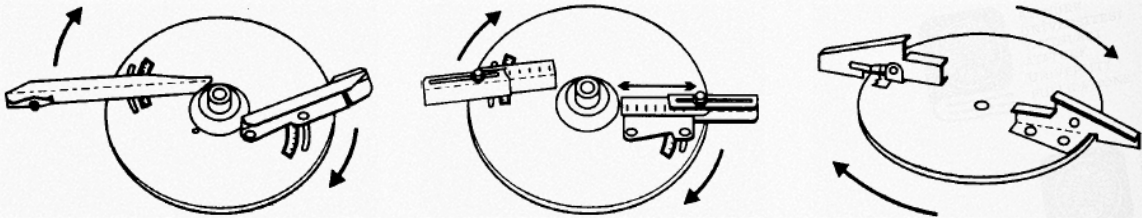
Santrifüj granül gübre dağıtma makineleri

- Santrifüj (savurmalı) gübre dağıtma makineleri,
- Diskli
 - Salınım hareketli olarak gruplandırılabilir.

Bu makineler de gübre, traktör kuyruk milinden hareket alınan hareketle dönen bir disk veya salınım hareketi yapan bir borunun oluşturduğu santrifüj kuvvet ile serpmeye olarak dağıtılır.

Diskli santrifüj granül gübre dağıtma makineleri: Santrifüj gübre dağıtma makineleri genellikle traktöre asılır tiptir. Çekilir tipleri de mevcuttur. Hareket kuyruk milinden bir şaftla alınarak bir şanzımanla dağıtıcı organlara ve karıştırıcılara iletilir. Santrifüjlü dağıtıcıların dağıtma organı 300-500 mm çapında bir yatay diskten ibarettir (Şekil 19). Disk üzerinde 2-6 adet arasında kanat bulunmaktadır. Kanat profilleri; I, Z, yatık Z ve C şeklindedir. Devir sayısı kuyruk milinin 540 d/d devrinde 720-800 d/d ve çevre hızı da 15-30 m/s arasında değişir. Gübre dağıtma genişliği 120°-180° arasındadır. Çalışma hızları 6-8 km/h arasında değişmektedir (Şekil 20).

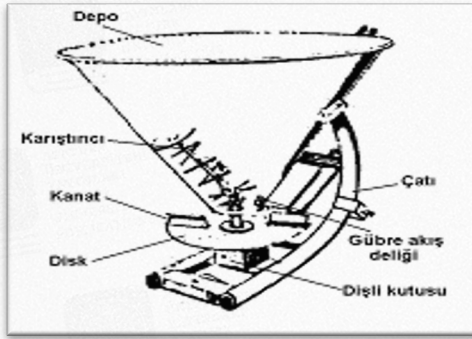
Diskli gübre dağıtma makinelerinde gübrenin tarla yüzeyinde dağılımı Şekil 21 ve 22’de görüldüğü gibi makine ekseninden kenarlara doğru gidildikçe bir azalma gösterir. Bu nedenle gidiş ve dönüşlerde bir önceki alan üzerinde örtme yapacak şekilde gübreleme yapılmalıdır. Bu makinelerin dağılım genişliği ile iş genişliği birbirinden farklıdır. İş genişlikleri neredeyse dağılım genişliklerinin yarısı kadardır (Erol ve Göknur Dursun, 1998). Bu dağılım paterninin kabul edilebilmesi için Şekil 23’in sol tarafında görülen dağılımlar gibi düzgün olması gerekir, bu dağılım paternleri ideal dağılım paternleridir. Ancak uygulamada farklı dağılım paternleri elde edilebilir örneğin Şekil 23’ün sağ tarafında gösterilen dağılım paternleri uygun bir gübreleme için kabul edilemezdir.



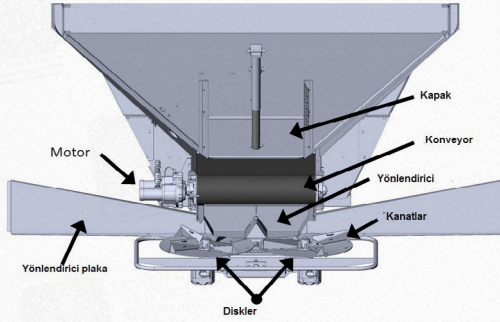
Eğimi ayarlanabilir Eğimi ve uzunluğu ayarlanabilir Sabit

Şekil 19. Fırlatıcı diskler

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

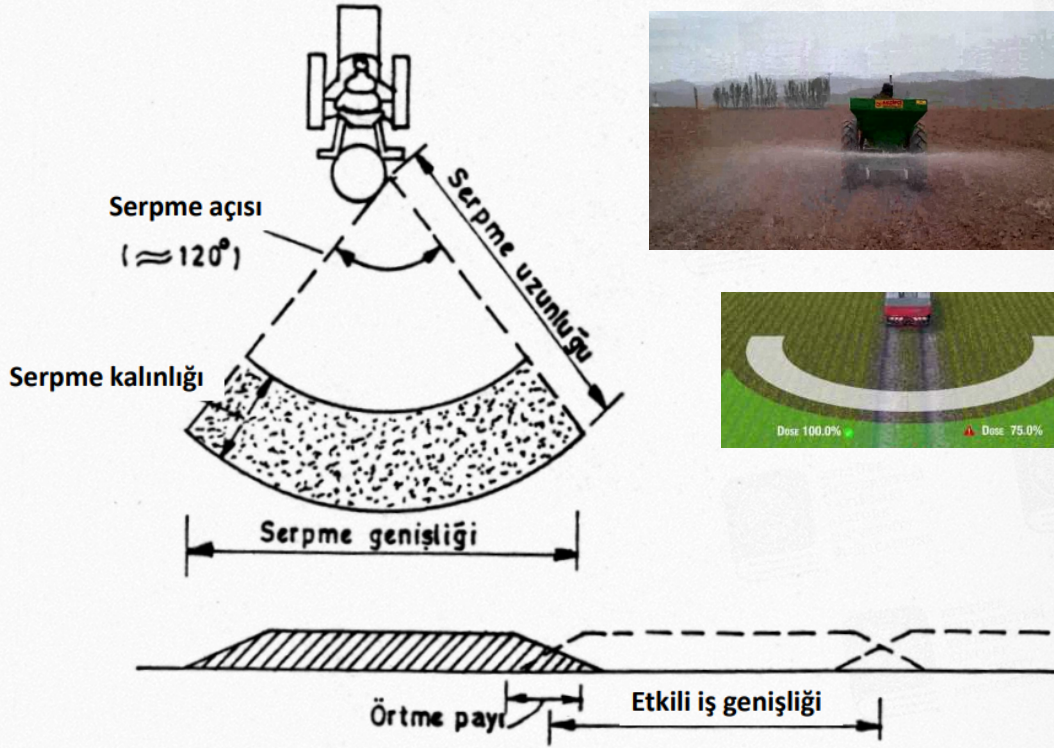


Tek diskli

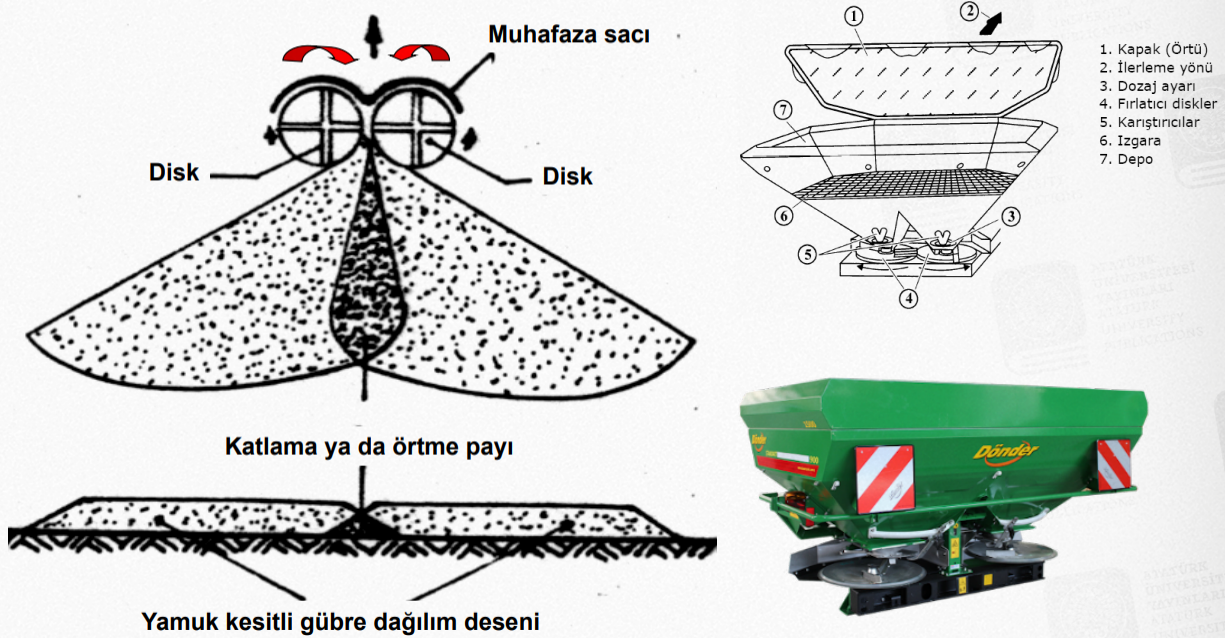


Çift diskli

Şekil 20. Diskli santrifüj gübre dağıtma makinesi parçaları

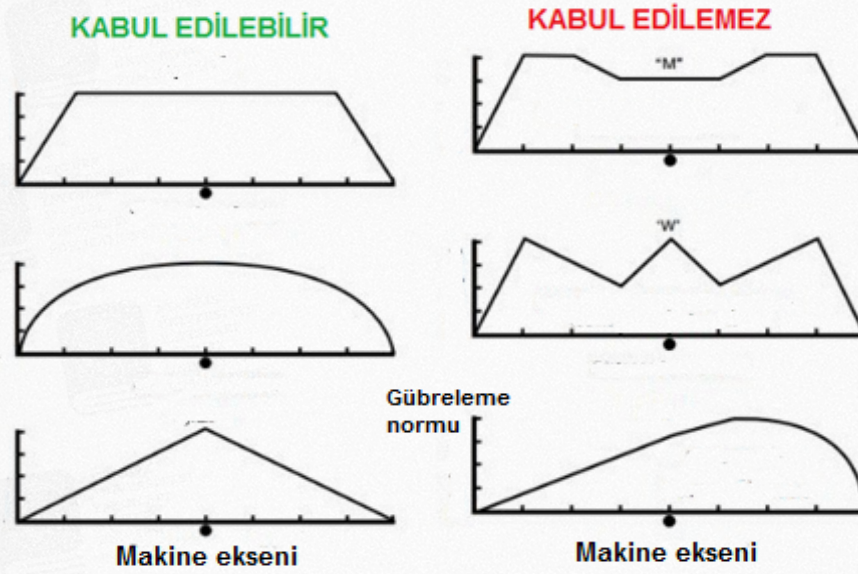


Şekil 21. Tek diskli santrifüj gübre dağıtma makinelerinde gübre dağılım düzgünlüğü (Dursun, 2017)



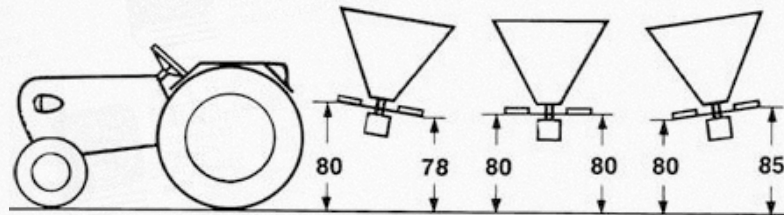
Şekil 22. Çift diskli santrifüj gübre dağıtma makinelerinde gübre dağılım düzgünlüğü (Dursun, 2017)

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)



Şekil 23. Diskli santrifüj gübre dağıtma makinelerinde gübre dağılım düzgünlüğü

Santrifüj gübre dağıtma makineleri traktöre takılırken; dik ve yere paralel konumda olmaları sağlanmalı ve yan gergiler sıkılarak sağa sola kaçmaları önlenmelidir (Şekil 24). Traktörün pozisyon kontrol konumunda çalıştırılmalıdır. Tarlada gübrelemeye başlamadan önce; traktör hidrolik kumanda kolunu pozisyon kontrol konumuna getirerek yükseklik ayarı yapılır. Pozisyon kontrol konumunda, hidrolik kolu hafifçe oynatıldığında; makine yukarı kalkar, bir seviyede durur, kola tekrar hareket verilirse, biraz daha kalkar tekrar durur, yani, çeki kontrolde olduğu gibi en üst noktaya kadar çıkmaz.

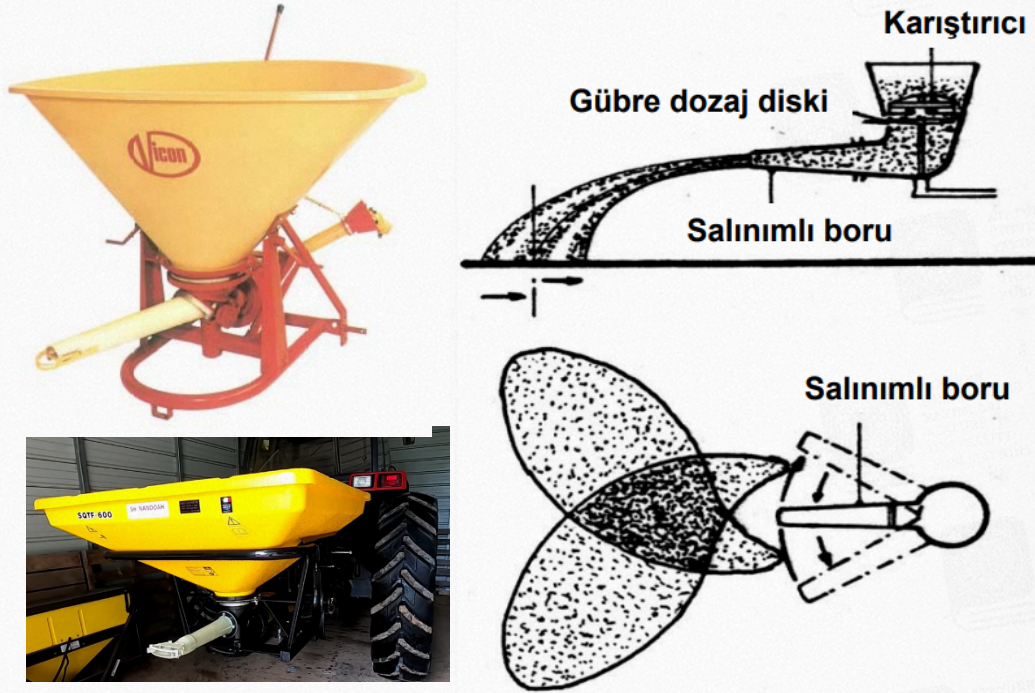


Şekil 24. Diskli santrifüj gübre dağıtma makinelerinde konum ayarı

Santrifüj gübre dağıtma makinelerinde fırlatma uzaklığı;

- Disk çapına,
- Diskin çevre hızına,
- Disklerin yerden yüksekliğine,
- Kanat sayısına,
- Kanatların konum açılarına,
- Gübre çeşidi ve yapısına,
- Tarla ve hava koşullarına bağlıdır.

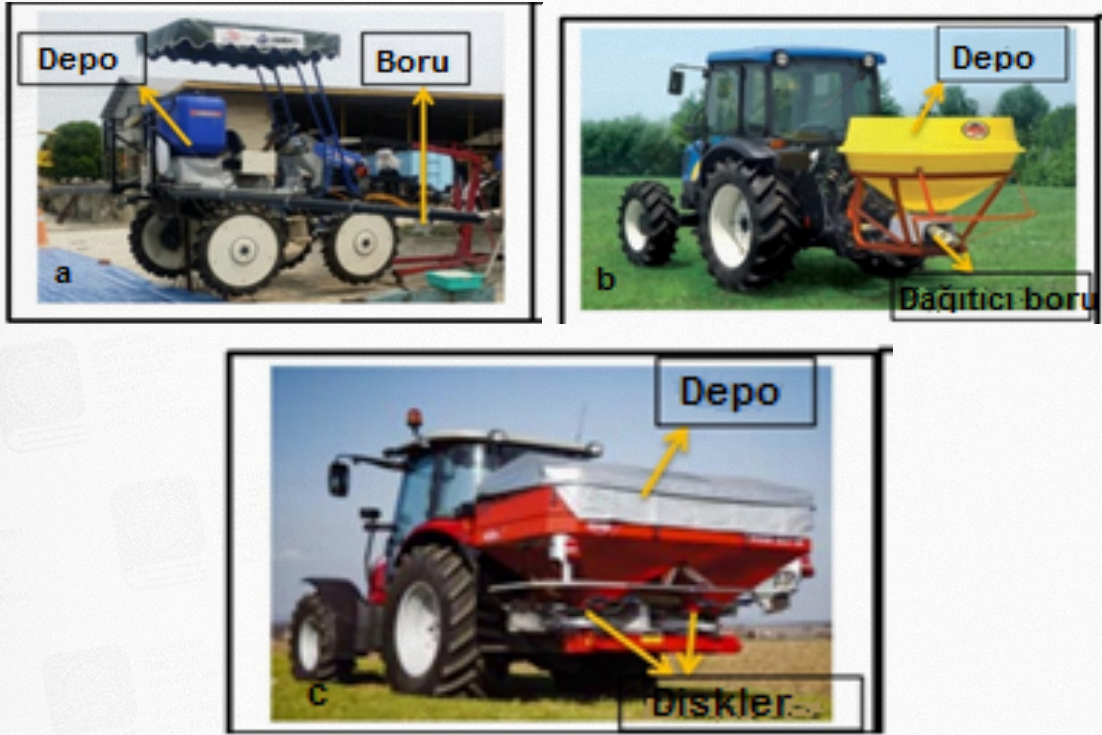
Salınım hareketli santrifüj granül gübre dağıtma makineleri: Depo ve deponun altında yatay olarak çıkıntı yapan ve yatay düzlemde bir yandan diğer yana salınan çelik veya plastik bir boruya sahiptirler. Boru hareketini kuyruk milinden alır. Dağıtılan gübre miktarı borunun uç kısmında bulunan açıklıktan ayarlanabilir ve boru salındıkça gübreler dışarı doğru savrulur. Borunun ucundaki bir saptırıcı granüllerin dağılmasına yardımcı olur. Salınım hareketli dağıtıcılar diskli gübre dağıtıcılara göre tarla yüzeyinde daha homojen bir dağılım deseni sağlarlar (Şekil 25).



Şekil 25. Salınım hareketli gübre dağıtma makineleri (Erol ve Göknur Dursun, 1998)

Liedekerke (2007)'e göre Avrupa'da gübrelerin %90'ından fazlası santrifüj etkili döner diskli gübre dağıtma makineleri kullanılarak uygulanmaktadır. Döner diskli dağıtıcılar popülaritesi, düşük maliyet, yüksek iş başarısı (yüksek çalışma genişliği) ve ayrıca bakımının kolay olmasından kaynaklanmaktadır. Salınım hareketli ve pnömatik dağıtıcılar diskli tiplere göre çok daha az kullanılır. Bu tiplerin ana dezavantajı küçük çalışma genişliği ve pnömatik tip için yüksek maliyettir.

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)



Şekil 26. Ying ve ark. (2020) tarafından karşılaştırılan gübre dağıtıcılar. a. Pnömatik, b. Salınım hareketli, c. Diskli

Ying ve ark. (2020) pnömatik (hassas), salınım hareketli ve diskli granül gübre dağıtma makinelerini karşılaştırmıştır (Şekil 26). Araştırma sonuçlarına göre pnömatik dağıtıcılarda gübre taşıyıcı borularda çözünebilmekte ve böylece sadece hazneyi değil aynı zamanda boruları da etkilemektedir. Belirli bir süre sonra gübre borularının içinde sıkışıp kalmakta, sistemi tıkamakta ve bu da temizlemede zorluklara yol açmaktadır. Bu nedenle bakım maliyeti çok yüksek olmakta ve zaman zaman bu nedenlerle parçalarının değişmesi gerekmektedir.

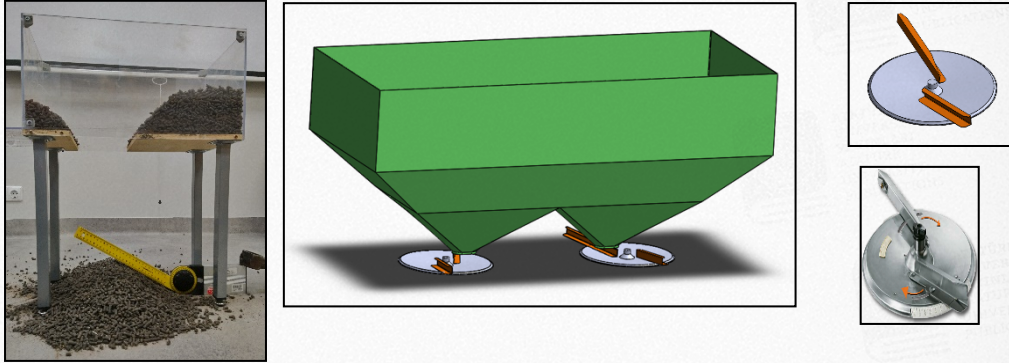
Salınım hareketli gübre dağıtma makinelerinde gübre çok kısa bir süre için serpmeye çubuğunda kaldığı için bu durum oluşmaz. Ancak serpmeye çubuğunun hızlı hareketi nedeniyle gübreler tarlaya dağıtılmadan önce toz haline gelebilmektedir. Bu da istenmeyen bir durum oluşturmaktadır. Araştırmacılar tarafından gübre dağıtma makinelerinin karşılaştırılması sonucu elde edilen sonuçlar Tablo 2’de özetlenmiştir.

Tablo 2. Ying ve ark. (2020) tarafında pnömatik, salınım hareketli ve diskli tip gübre dağıtıcıların karşılaştırması sonucu elde edilen sonuçlar.

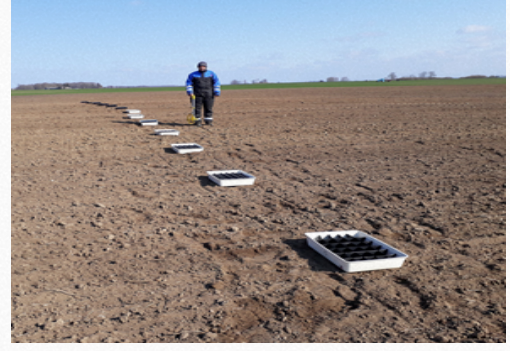
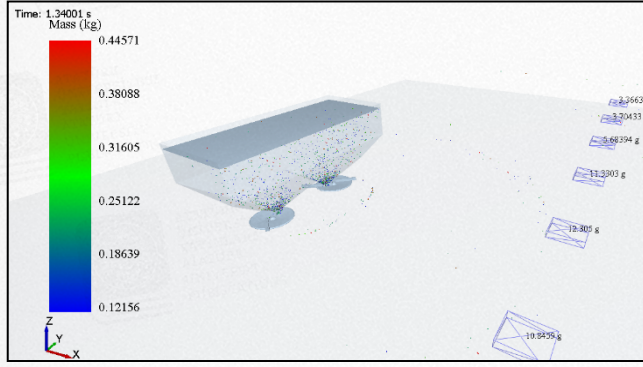
Parametreler	Pnömatik	Diskli	Salınım hareketli
Bakım maliyeti	Yüksek	Düşük	Orta
Dağılım Düzgünlüğü	Yüksek	İyi	İyi
Gübre	Bumlarda çözünme ve tıkanma	Depo içinde çözünme	Toz formuna dönüşme

Jotautienė ve ark. (2023a, b) peletlenmiş organik granül gübrelerin santrifüj gübre dağıtma makinesi ile dağılım düzgünlüğünü bilgisayar simülasyonları ve arazi denemeleri ile araştırmıştır. Denemelerde organik gübreler 5.49 ± 0.11 mm çapında ve 9.60 ± 0.73 mm, uzunluğunda peletlenmiştir. DEM simülasyonu ve tarla denemeleri sonuçlarına göre 600 kg/ha ve daha yüksek gübreleme normlarında ilerleme hızının nispeten düşük (5 km/h) olması gerektiği bildirilmiştir. Denemelerde kullanılan gübre dağıtma makinesinin marka/modeli Amazone ZA-M-1001, disk çapı 455 mm, kanatların uzunluğu 260 mm (kısa kanat), 360 mm (uzun kanat), organik gübreler için kanat ayar konumu 15° (kısa kanat), 43° (uzun kanat); disk hızı 720 d/d, iş genişliği 20 m, fırlatma genişliği 40 m'dir (Şekil 27).

Denemeler Şekil 28'de görüldüğü gibi bilgisayar simülasyonları ve tarlada yapılan doğrulama denemeleri olarak iki aşamadan oluşmuştur. Araştırma sonuçlarına göre diskli santrifüj gübre dağıtma makinelerinin peletlenmiş çiftlik gübrelerinin dağıtımı için kullanılabilirliği bildirilmiştir.



Şekil 27. Denemelerde peletler, kullanılan santrifüj gübre dağıtma makinesi ve disklerin katı modeli (Jotautiene ve ark., 2020)



Şekil 28. Simülasyon çalışması ve tarla denemesi

Kuyruk Milinden Hareketli Gübre Dağıtma Makinelerinin Kalibrasyonu: Kuyruk milinden hareketli gübre dağıtma makinelerinin kalibrasyonu için gübre besleme açıklığı ayarlanabilir olan makineler belirli bir süre çalıştırılır (1 dakika) ve makine tarafından atılan gübreler belirli bir yerde toplanarak tartılır. Böylece gübreleme verdisi (Q) belirlenir. Daha sonra aşağıdaki eşitlik ile gübreleme normu (N) hesaplanır.

$$N = \frac{10000 Q}{V B}$$

Burada, N gübreleme normu (kg/ha veya l/ha); Q, gübreleme verdisi (kg/min veya l/min); v, ilerleme hızı (m/min); B, iş genişliği (m)

Granül gübre dağıtma makinelerinde istenen özellikler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Gübre dağılımı tüm tarlada homojen olmalı,
- Gübre normu 2-200 kg/da arasında hassas olarak ayarlanabilmeli,
- Makine çalışma sırasında arazi engebelerinden ve titreşimden fazla etkilenmemelidir,
- Makinenin gübre ile temas eden bölümleri korozyona dayanıklı malzemeden imal edilmeli,
- Bakımı ve temizlenmesi kolay olmalı,
- Gübreyi toprak içerisine bırakan sistemlerde derinlik ayar düzenekleri bulunmalı ve ayarlanan derinlik gübreleme boyunca homojen kalmalıdır.

Mikro Granül Kimyasal Gübre Dağıtma Makineleri

Mikro granül gübre dağıtma makineleri, toprak işleme, ekim veya bakım makinelerine monte edilerek ekim toprak işleme veya çapalama gibi bakım işlemleri sırasında mikro granül gübreleri toprağa uygulamak için kullanılır. Bu makineler tohum deposu altında bulunan ve elektrik ile çalışan dozajlama ünitesinden (ekici ünite) oluşur ve birçok tarım makinesine kolayca monte edilebilir. Gübreleme yanında yem bitkileri gibi küçük tohumlu bitkilerin ekiminde de kullanılır. ISOBUS yazılımı üzerinden kontrol edilebilir (Şekil 29).



Şekil 29. Mikro granül gübre dağıtıcılar

Sıvı Kimyasal Gübre Dağıtma Makineleri

Sıvı kimyasal gübrelerin dağıtılmasında kullanılan başlıca alet ve makineler (Şekil 30);

- ❖ Sıvı kimyasal gübreleri toprak veya yaprak yüzeyine yayan gübre dağıtma makineleri,
 - ❖ Pülverizatörler,
 - ❖ Sıvı organik gübre dağıtma makineleri,
 - ❖ Sıvı kimyasal gübreleri toprak altına enjekte eden basit aletler ve gübre dağıtma makineleri,
 - ❖ Sıvı gübreyi sulama suyuna karıştıran karıştırma düzenleri

Sıvı gübreler, kullanım kolaylığı ve hızlı sonuç vermesi nedeniyle son yıllarda daha çok tercih edilmektedir. Bu gübreler toprağa veya bitki örtüsüne (yaprak gübresi) uygulanabilir. Her türün kendine özgü avantajları vardır ve uygun yönergelere uyularak kullanıldığında mükemmel sonuçlar sağlayabilir. Sıvı gübrelerin uygulanmasında çoğunlukla pülverizatörler tercih edilir. Pülverizatör kullanılarak yapılan uygulamalarda sıvı gübreler için geliştirilmiş ve bir kısmı Şekil 31’de sunulan memeler kullanılmalıdır.



Şekil 30. Sıvı kimyasal gübre dağıtma makineleri (Lechler, 2023)

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

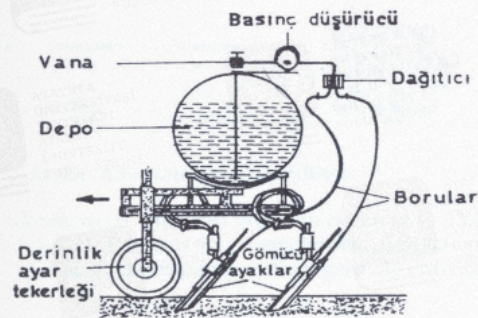


Şekil 31. Sıvı gübre dağıtma için kullanılan memeler (Lechler, 2023)

Sıvı gübre uygulaması için mevcut yöntemler arasında, sırt pülverizatörlerinin kullanımı önemli bir popülerlik kazanmıştır. Sırt pülverizatörleri, çiftçilere sıvı gübre uygulama konusunda oldukça etkili bir yöntem sunar. Hafif ve taşınabilir tasarımı sayesinde çiftçiler tarlalarında kolaylıkla hareket ederek daha kısa sürede daha geniş alanları gübreleyebilir. Ayarlanabilir memeler ve püskürtme düzenleri hassas uygulamaya olanak tanıyarak gübrelerin mahsullere eşit şekilde dağıtılmasını sağlayabilir (Şekil 32). Sıvı gübrelerin toprak altına uygulanması için çapa veya diskli toprak işleme ekipmanları kullanılabilir. Basıncılı gübreler bir hortum ile çapa veya diskli ayakların açtıkları çiziye püskürtülür (Şekil 33).



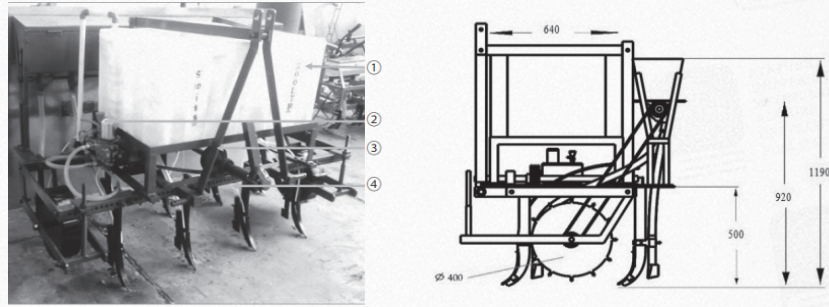
Şekil 32. Sıvı gübrelemede kullanılacak sırt pülverizatörleri





Şekil 33. Sıvı gübrenin toprak altına enjeksiyonu (Erol ve Gökür Dursun, 1998)

Sundaram ve ark. (2023) sıvı gübreyi tohumla aynı anda toprağa yerleştirebilen, traktörle çalıştırılabilen sıvı gübre dağıtma makinesi geliştirmiştir (Şekil 34). Sıvı gübre olarak Üre - Amonyum Nitrat kullanılmıştır. Sıvı gübre dozajlama ünitesi pistonlu pompa, kontrol vanası, dağıtıcı ve sevk borularından oluşturulmuştur. Pistonlu pompa, traktör kuyruk milinden tahrik edilmiştir. Gübrenin toprağa iletilmesi için çapa tipi bir çizi açıcı kullanılmıştır. Bunlar sıvı gübreyi buğday tohumunun 3-4 cm altına yerleştirmiştir. Prototip sıvı gübre dağıtma makinesinin tam depo yükünde (300 litre) ortalama 3.2 kN çeki kuvvetine gereksinim duymuştur. Makine ortalama 1.78 km/h ilerleme hızında sürekli çalışması durumunda ortalama tarla kapasitesi 0.23 ha/h, tarla etkinliği ise %72'dir.



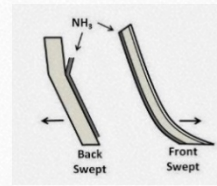
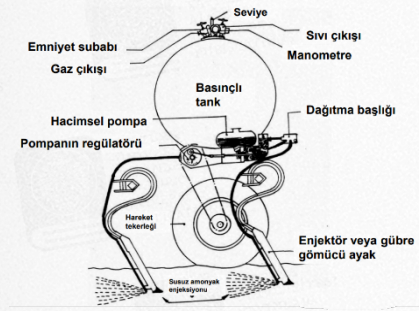
Şekil 34. Sundaram ve ark. (2023) tarafından geliştirilen sıvı gübre dağıtma makinesi. 1-Depo, 2-Pompa, 3-Kasnak, 4-Gübre borusu

Gaz Kimyasal Gübre Dağıtma Makineleri

Başlıca gaz kimyasal gübre, amonyak anhidrid ya da susuz amonyaktır. Oda koşullarında gaz halinde bulunan susuz amonyak, ortam basıncının artması ve/veya sıcaklığın -32' nin altında düşmesi koşulunda sıvı hale dönüşür. Susuz amonyakın belirli bir derinlikten toprak altına enjekte edilmesine yarayan çeşitli kimyasal gaz gübre dağıtma makineleri vardır. Gübre dağıtma makinesinin tankının içerisinde belirli bir basınç altında

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

sıvı halde bulunan susuz amonyak, 10-20 cm iş derinliğinden toprak altına enjekte edilir (Şekil 35). Bu amaçla çapa ayaklar gibi dar açılı uç demirleri kullanılabilir. Susuz amonyağın belirli bir derinlikten toprak altına enjekte edilmesinin başlıca nedeni, amonyağın buharlaşarak uçmasına ya da azot kaybını engellemektir.



Şekil 35. Susuz Amonyacı Toprak Altına Enjekte Eden Gübre Dağıtma Makinesi (Dursun, 2017)

TOHUM KAPLAMA İLE BİTKİ BESLEME

Tohum kaplama sistemleri genellikle tohumların korunması için kullanılır, bitki besleme için kullanımı yeterince yaygınlaşmamıştır. Ürünün gelecekteki büyüme dönemi ve kalitesi için tohum ekiminden fide gelişim periyoduna kadar iyi bir besleme şarttır. Bu besleme tohum kaplama malzemesi içerisinde çeşitli bitki besin elementleri eklenerek sağlanabilir.

Tohum kaplama teknolojileri;

- Peletleme,
- Film kaplama ve
- Her iki uygulamanın bir arada (pelet+film kaplama) yapıldığı üç ana uygulamayı kapsamaktadır.

Peletleme kaplama: Küçük, hafif ve şekilsiz tohumların makineli ekime uygun hale getirilmesi için katı partiküllerin tohumun etrafına sardırılması işlemidir (Şekil 36). Peletleme kaplamanın asıl amacı; tohumların çaplarının büyütülmesi ve tohumlara şekilsel olarak küresel yapıyı kazandırmaktır (500-800% ağırlık artışı sağlar).

Pelet malzemesi için odun talaşı, perlit tozu ve kum başta olmak üzere pek çok malzeme kullanılsa da çoğunlukla kil tercih edilmektedir. Peletlemede kilin şekil almasını ve bunu korumasını sağlamak için pelet bağlayıcısı (yapıştırıcı) olarak saf su ve ticari olarak satışı yapılan tohum kaplama amaçlı geliştirilmiş olan yayıcı-yapıştırıcılar kullanılmaktadır. Bu materyaller su bazlı olmalı ve nem ortamında tohumun çimlenmesine engel olmamalıdır.



Haşhaş



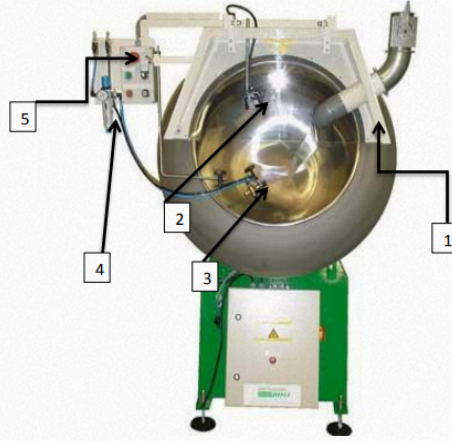
Soğan



Havuç

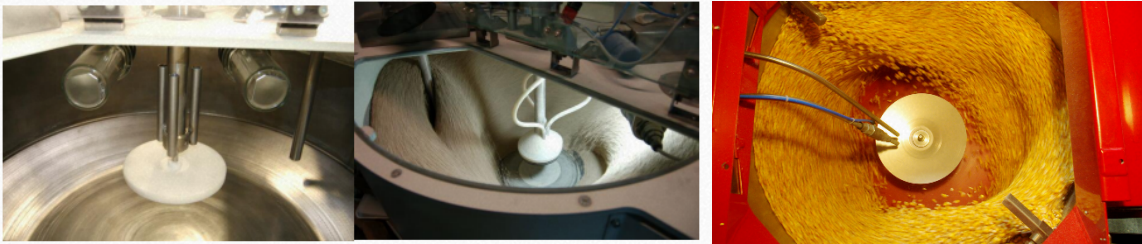
Şekil 36. Peletle kaplanmış haşhaş, soğan ve havuç tohumları

Peletleme materyalini oluşturan kil ve yapışkanlığı sağlamak için kullanılan sıvıların homojen bir şekilde karıştırılması gerekmektedir. Bu amaçla geliştirilmiş ve "tohum peletleme makinesi" adıyla ticari olarak satılan pek çok cihaz bulunmaktadır. Bu makineler çoğunlukla karıştırma hazneleri değişken devirli hız sürücüsü ile donatılmış olup, dönüş hızı ayarlanabilmektedir. Karıştırma etkinliğini artırabilmek için haznenin düşey ile yaptığı açısı 0-90 derece arasında ayarlanarak çalıştırılabilmektedir (Şekil 37 ve 38). Tohumlara uygulanan pelet kaplama malzemesi içerisinde tohumu koruyucu etki sağlaması için fungusit ilavesi ya da besin elementi ve bitki büyüme düzenleyicileri de eklenebilir (Gölçöl ve Duman, 2018).



Şekil 37. Yarı otomatik yatay açılı tohum kaplama makinesi.

1. Sıcak hava üfleci, 2. Yapıştırma sıvısı püskürtücü, 3. Boya maddesi püskürtücü,
4. Regülatör, 5. Kumanda ünitesi (Hacıyusufoğlu ve ark., 2015).



Şekil 38. Tohum kaplama kazanı iç kısmı (Hacıyusufoğlu ve ark., 2015).

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

Film kaplama: Tohumların orijinal şekillerinde herhangi bir değişiklik meydana getirmeden bitki besin elementi + yararlı bakteri ve yararlı mantar + plastikliği sağlayıcı maddeler (polimer vb.) ile tohumun ince bir film tabakası ile kaplanmasıdır. Tohumda %20-200 ağırlık artışı sağlar (Şekil 39 ve 40).

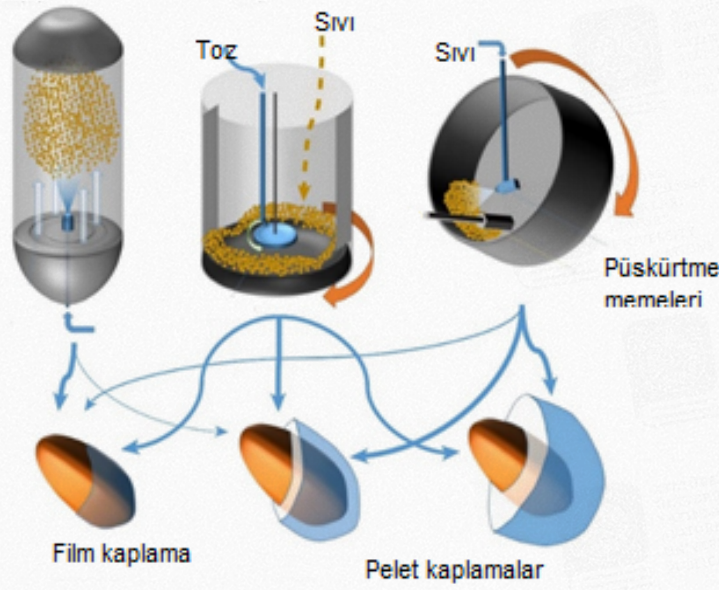
Tohum film kaplama uygulaması, hazırlanan polimer ürünün tohum üzerine buhar halinde püskürtülmesi şeklinde uygulanmaktadır (Şekil 41). Film kaplama uygulamasında kullanılan materyal peletlemeden farklılık gösterir. Bu materyal tohum ağırlığında artış oluşturmaya karşılık tohum boyutlarında önemli bir farklılık oluşturmaz (Gökçöl ve Duman, 2018). Film kaplamada, silindir içinde yüzer halde hava akımına maruz kalan tohumun kaplanması için akışkan yataklar kullanılır (Pedrini ve ark., 2016).



Şekil 39. Film kaplanmış tohumlar (Seed Innovations, 2023)



Şekil 40. Pelet ve film kaplama uygulamalarının karşılaştırılması (Gökçöl ve Duman, 2018)



Şekil 41. Tohum kaplama teknolojileri (Pedrini ve ark., 2016)

Kaplama ile tohumlara aşağıda sıralanan özellikler kazandırılır.

- Küçük ve şekilsiz tohumlarda hacim artırılarak makineli ekim işlemi kolaylaştırılabilir (*peletleme*).
- Birim alana daha az tohum ekimi yapılarak tohumdan tasarruf sağlanabilir.
- Ekildikleri ortamda tohumların daha hızlı ve yüksek oranda çimlenme/çıkış oranı sağlanabilir.
- Tohumların nem ve hava alışverişi kısıtlandığı için depo ömürleri uzatılabilir.
- Diğer tohum kalite özelliklerini iyileştirici (priming vb) uygulamalar ile kombine edilebilir.
- Tohumlara uygulanan kaplama malzemesi içerisine tohuma koruyucu etki sağlaması için fungusit ilavesi ya da besin elementi de eklenebilir. Böylece tohumların çimlenme sonrası topraktan istedikleri besin maddeleri kaplama sırasında verildiğinden köklenme ve vejetatif gelişim daha iyi olabilir.
- Kaplama materyaline pestisit eklenerek tohumlar ekildikleri ortamda karşılaşılabilecekleri hastalık ve zararlılara karşı korunabilir.
- Tohumların albenisi artar.
- Kaplama materyali rengine göre tohumlarda tür ve çeşit gruplaması yapılabilmektedir. (Gölçöl ve Duman, 2018 ; Seedefe, 2023)

Kıtır Şen (2021) Konya bölgesinde yaptığı denemeler ile farklı soya çeşitlerinde tohum kaplamasında mikrobiyal gübre uygulamasının verim ve kalite unsurlarına etkisini incelemiştir. Araştırmacı soya fasulyesi tohumu kaplamasında 'Bactoboost' (bakteri) adlı ticari bir ürün kullanmıştır. Bu ürün yoğun sıvı formdadır ve *Bacillus megaterium*, *Bacillus subtilis*, *Lactococcus spp.* içerir. Toplam canlı organizma miktarı 1×10^6 cfu/ml'dir. 50 ml ürün 100 ml su ile karıştırılarak soya fasulyesi tohumlarına Centricoater CC150 marka/model tohum kaplama makinesi ile 3 dakika aşılandıktan sonra 15 dakika kurumaya

bırakılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre tohum kaplama uygulamasının verim artışına etkisi istatistiksel olarak $P < 0.01$ düzeyinde anlamlı bulunmuş ve tohumun mikrobiyal gübre ile kaplanması verim ve verim parametrelerini arttırdığı belirtilmiştir.

Hacıyusufoğlu ve ark. (2015) fındık turp, havuç ve çörekotu tohumlarını kaplayarak çimlenme olanaklarını araştırılmıştır. Bu amaçla yatay olarak çalışan bir kazan ile tohum kaplama düzeneği kullanılmıştır (Şekil 42). Kaplama materyali olarak toz haline getirilmiş olan bentonit, vermikulit, talk pudrası, torf, perlit, kireç, çimento ve sıvı formdaki bitki besin maddesi belirli oranda homojen olarak karıştırılarak hazırlanmıştır. Yapıştırma sıvısı olarak şekerli su kullanılmıştır. Tohumlar peletleme yöntemi ile ortalama 2 mm çapında kaplanmıştır. Çimlenme denemelerinde fındık turp tohumu %95, çörekotu tohumu %17 ve havuç tohumu ise %75 oranında çimlenme başarısı göstermiştir. Peletleme ile kaplama fındık turpun çimlenme oranını %2, çörek otunun %46, havucun ise %15 azaltmıştır.



Şekil 42. Hacıyusufoğlu ve ark. (2015) tarafından kullanılan tohum kaplama düzeneği

Khiabani ve Çelen (2013) acemüçgülü tohumlarına ön çimlendirme (priming) uygulaması yapılmış, film kaplama tekniği kullanılarak polimer ile birlikte potasyum nitrat (KNO_3) yüklenmiş ve kontrol, priming uygulaması, potasyum nitrat uygulaması ve tohum kaplama ile bu uygulamalarının kombinasyonları karşılaştırılmıştır. Film kaplama uygulaması için Incotec firmasından temin edilen Disco AG Blue L-517 (Koyu mavi), Disco HP Pearl Green 506 (Yeşil) ve Disco AG 321 (Kırmızı) renkli su bazlı polimerlerden yararlanılmıştır. Kaplama işlemi 'CIMBRIA' marka laboratuvar tipi CC-lab (centricoater) tohum film kaplama ünitesinde yapılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda ön çimlendirme (priming) sonrası potasyum nitrat uygulaması yapılmış acemüçgülü tohumlarında çimlenme ve çıkış oranının %81.3'den (kontrol) %94.1'e yükselerek maksimuma ulaştığı belirlenmiştir. Ortalama çimlenme zamanı açısından ise en hızlı çimlenme süresinin gerek yalın gerekse priming uygulaması sonrasında yapılan KNO_3 uygulaması yapılarak kaplanan tohumlarda (2.61 gün) gerçekleştiğini tespit edilmiştir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

- Gübre dağıtma makinelerinin kullanımı, verimli ve etkili gübreleme için önemli bir unsurdur.
- Gübre dağıtma makineleri, gübrenin eşit ve doğru bir şekilde uygulanmasını sağlamaya yardımcı olur, bu da verimi artırabilir ve çevresel etkiyi azaltabilir.
- Ülkemizde farklı tipte gübre dağıtma makineleri kullanılmaktadır ama bu alandaki çeşitlilik ve makine sayısı özellikle çiftlik gübresi dağıtma makineleri açısından yetersizdir. Bu bağlamda Tarım ve Orman Bakanlığımızın Kırsal Kalkınma Desteklerinde yer alan Makine Ekipman Hibe Desteklerinde Gübre Dağıtma Makinelerine öncelik verilmesi önemlidir.
- Belirli bir uygulama için en iyi dağıtıcı tipi, kullanılan gübre türü, tarlanın büyüklüğü, zamanlama ve istenen uygulama normu gibi bir dizi faktöre bağlı olacaktır.
- Çiftçilerimize gübrelemede doğru makine kullanımı, bakımı ve kalibrasyonu konusunda eğitim ve bilgi sağlanması son derece önemlidir. Özellikle makinelerinin kalibrasyonu ve bakımı zamanında yapılmalı ve bu konularla ilgili gerekirse teknik destek sağlanmalıdır.
- Akademik olarak ise; ülkemizde gübrelemede mekanizasyon üzerine yapılan araştırmalar son derece kısıtlı olup bu konuda yapılacak çalışmaların artırılması hem mevcut makinelerinin daha etkin kullanımı, hem de makine çeşitliliğinin artırılması açısından katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Altıkat, S., & Çelik, A. (2009). Erzurum ilinin mekanizasyon özellikleri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 40(2), 57-70.
- Bozkurt, M., & Aybek, A. (2016). Şanlıurfa ili harran ovasının tarımsal yapı ve mekanizasyon özellikleri. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 19(3), 319-331.
- Comart, A., & Akıncı İ. (2017). Antalya ili tarım işletmelerinin tarımsal yapı, üretim ve mekanizasyon özelliklerinin belirlenmesi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 30(3), 227-234.
- Dursun, İ. (2017). Gübre Dağıtma Makinaları. <https://acikders.ankara.edu.tr/> Erişim tarihi: 20 Kasım 2023.
- Dursun, İ., & Dursun, E. (2019). Tankersiz ve tankerli sıvı ahır gübresi dağıtma makinalarının karşılaştırılması. *Uluslararası Tarım ve Orman Kongresi*, 21-23 Haziran, Ankara.
- Erol, M.A., Gökür Dursun, İ. (1998). Ekim, Bakım ve Gübreleme Makinaları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yayın No: 1499, Ankara.
- Gökçöl, A., & Duman, İ. (2018). Tohum kaplama teknolojileri. *Türkiye Tohumcular Birliği Bülteni*, 26, 23-25.
- Hacıyusufoğlu, A.F., Akbaş, T., & Şimşek, E. (2015). Bazı küçük çaplı tohumlara peletle tohum kaplama yönteminin uygulanması. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 11(3), 257-263.

- Jotautiene, E., Bivainis, V., Zinkeviciene, R., & Mieldazys, R. (2020). Investigation in spreading uniformity of granular manure. In Engineering for Rural Development. Proceedings of the International Scientific Conference (Latvia). Latvia University of Life Sciences and Technologies.
- Jotautienė, E., Bivainis, V., Karayel, D., Juodišius, G. (2023a). The relevance of spreading control of organic granulated fertilizer within the European Green Deal. 29th International Scientific-Practice Conference – Human and Nature Safety, 10–12 May 2023, Kaunas, LT (only, oral presentation)
- Jotautienė, E., Karayel, D., Bivainis, V., Juodišius, G. (2023b). The spreading control of granulated bio-waste fertilizer using DEM method. 11. International Scientific Conference Rural Development 2023 – Bioeconomy for Green Deal, 26-28 September 2023, Kaunas, Lithuania. (oral presentation, abstract published)
- Khiabani, S.R., Çelen, A.E. (2014). Acem üçgülü (*Trifolium resupinatum* L) tohumlarında çimlenme ve çıkış performansını artırıcı uygulamalar üzerinde araştırmalar. Türkiye Uluslararası Katılımlı 5. Tohumculuk Kongresi (pp.164-168). Diyarbakır, Turkey.
- Kim, Y.J., Kim, H. J., Ryu, K.H., & Rhee, J.Y. (2008). Fertiliser application performance of a variable-rate pneumatic granular applicator for rice production. *Biosystems engineering*, 100(4), 498-510.
- Landry, H. (2005). Numerical Modeling of Machine-Product Interactions in Solid and Semi-Solid Manure Handling and Land Application. Doctorate thesis Head of the Department of Agricultural and Bioresource Engineering University of Saskatchewan, Saskatoon.
- Lechler (2023). Lechler liquid fertilizer nozzles for an efficient fertilizer application. Erişim tarihi: 29 Kasım 2023. <https://www.lechler.com/de-en/news-events/press-news/press-news/lechler-liquid-fertilizer-nozzles-for-an-efficient-fertilization-1>
- Long, G. W., and Tien, Y. S. (1993). Performance and Economic Benefit Research of a Turnplate Type Manure Spreader. *Bulletin of Taichung District Agricultural Improvement Station*, 1993, No. 38, 23-36 ref. 14
- Norman, H.A., Hanna, H.M. and Richard, T.L. (2008). Solid Manure Distribution By Rear and Side-Delivery Spreaders. *Transactions of the ASABE*, 51(3), 831 – 843
- Özgül, M. M., Türker, U., & Beyaz, A. (2010). Türkiye'nin tarımsal yapısı ve mekanizasyon durumu. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 28(2), 89-100.
- Öztekin, S., Barut, Z.B., Bozdoğan, A.M., Bayat, A., Özcan, M.T., Güzel, E., İnce, A., Yıldız, Y., (2006). Tarım Makinaları 2. Nobel Kitapevi, Adana. ISBN: 975-8561-65-0
- Pami, (1997). A guide to pipeline manure injection systems. PAMI, Research Uptade 729, <https://open.alberta.ca/publications/afmrc-729>, Erişim tarihi: 20 Kasım 2023
- Pedrini, S., Merritt, D. J., Stevens, J., & Dixon, K. (2017). Seed coating: science or marketing spin. *Trends in plant science*, 22(2), 106-116.
- Peng, M., Zhang, Z., Zhang, W., Huang, H., Zhang, G., Liu, W., & Zhang, J. (2023). Design and Optimization of Sugarcane Spiral Fertilizer Applicator Based on Response Surface Methodology and Artificial Neural Networks. *Processes*, 11(10), 2881.

- Saral, A., Vatandaş, M., Güner, M., Ceylan, M., & Yenice, T. (2000). Türkiye tarımının makinalaşma durumu. Ziraat Mühendisliği V. Teknik Kongresi, Ankara.
- Seedefe, (2023). <https://seedefe.com/urun/tohum-kaplama/6>, Erişim tarihi: 20 Kasım 2023
- Seed Innovations, (2023). Film Coating. <https://www.seedinnovations.co.nz/services/film-coating/> Erişim tarihi: 11 Kasım 2023.
- Sheffield, R. (2001). Land application equipment. Lesson 36. USDACSREES, MidWest Plan Service, Iowa State University, Ames, Iowa 50011-3080.
- Şen, N. K. (2021). Microbial Fertilizer Seed Coating Effect on Different Soybean (Glycine Max L.) Varieties Growth Yield and Quality in Altınekin (Konya) Ecological Conditions. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 459-465.
- Sundaram, P. K., Mani, I., Lande, S. D., & Parray, R. A. (2023). Design and Development of a Tractor-drawn Liquid Fertilizer Applicator. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*, 54(1), 28.
- Ülger, P., Güzel, E., Kayışoğlu, B., Eker, B., Akdemir, B., Pınar, Y., Bayhan, Y. ve Sağlam, C. (2002). Tarım Makinaları İlkeleri. T.Ü. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Ders Kitabı, No: 29, Tekirdağ.
- Ünal, H., Kuraloğlu, H., Fırat, M., Kahya, D., Özalp, K., & Yanık, E. (2016). Çiftlik Gübresi Dağıtma Makinasının Farklı İlerleme Hızlarındaki Bazı İşletme Özellikleri. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 30(1), 113-125.
- Ünal, H., Erdoğan, H., Gürçan, S., Satioğlu, S., & Özgür, F. (2017). Sıvı gübre dağıtma makinasının farklı çalışma hızlarındaki işletme özelliklerinin belirlenmesi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 31(1), 49-60.
- TÜİK. (2022). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). Tarım Alet ve Makine İstatistikleri. <http://data.tuik.gov.tr>
- Van Liedekerke, P. (2007). Study of the granular fertilizers and the centrifugal spreader using Discrete Element Method (DEM) simulations. <https://lirias.kuleuven.be>, Erişim: 20 Kasım 2023
- Ying, E.P., Ngali, M.Z., & Ahmad, M.T. (2020). A Review on the Selection of Granular Fertiliser Distribution Methods for Malaysias Paddy Field on a Large Scale. *Journal of Business Management and Accounting*. 6(1), 127-140
- Zhang, M., Tang, Y., Zhang, H., Lan, H., & Niu, H. (2023). Parameter optimization of spiral fertilizer applicator based on artificial neural network. *Sustainability*, 15(3), 1744.
- Zeren, Y., Tezer E., Tuncer, İ. K., Evcim, Ü., Güzel, E., & Sındır, K. O. (1995). Tarım alet-makina ve ekipman kullanım ve üretim sorunları. Ziraat Mühendisliği Teknik Kongresi, 95, 9-13, Ankara.

**BİTKİ VE TOPRAK VERİMLİLİĞİNİN SAĞLANMASI AMACIYLA KULLANILAN AKILLI
TARIM TEKNOLOJİLERİ**

Doç. Dr. Mehmet Metin ÖZGÜVEN^{1*}

¹ Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri
Mühendisliği Bölümü, Ankara, TÜRKİYE

*mmozguven@ankara.edu.tr

Özet

Nüfusun sürekli arttığı ve tarım alanlarının hızla azaldığı dünyada, insanları besleyebilmek için tarımsal üretimi arttıracak yönde verimliliğin yüksek olması zorunlu hale gelmiştir. Verimliliği etkileyen en önemli faktörlerden biri toprakta bulunan bitki besin elementlerinin durumudur. Bitkilerin büyüüp gelişebilmesi, buldukları toprakta yeterli mineral besin maddelerinin olmasına ve bitki tarafından bu besin maddelerinin alınabilirliğine bağlıdır. Besin maddelerinin yeterli olmadığı durumlarda, bitkilerde bir takım beslenme bozuklukları görülmekte ve verimde azalma meydana gelmektedir. Teknolojinin sunduğu teknik olanaklar sonucu geliştirilen sensörler, kameralar ve uzaktan algılama teknikleri gibi yöntemler kullanılarak toprakların bazı fiziksel özellikleri, bitki besin elementleri ve toprak nem durumları gibi bilgiler toplanabilmektedir. Özellikle toprak özellikleri ve bu özelliklerin değişimini tarlada hareket halindeyken belirleyen ve konum bazlı kaydeden gerçek zamanlı toprak sensörleri bulunmaktadır. Örneğin bitkinin azot ihtiyacını gerçek zamanlı ölçen ve ölçülen bu değerlere göre anında değişken oranlı gübreleme yapan gübreleme sistemleri bulunmaktadır. Ayrıca toprak nem durumunun tüm üretim sezonu boyunca düzenli olarak takip edilebilmesi için istenilen toprak derinliklerine sabit olarak yerleştirilen nem sensörleri ile ölçümler yapılabilmektedir. Ölçülen nem ile ilgili veriler nesnelere interneti, radyo frekansı, ZigBee, Wi-Fi gibi kablosuz iletişim yöntemleriyle merkezi bir birime iletilmekte ve iletilen veriler çeşitli karar destek sistemleri tarafından değerlendirilerek en iyi sulama yönetimi için kararlar alınabilmektedir. Bu çalışmada bitki ve toprak özelliklerinin belirlenmesi, verilerin değerlendirilmesi ile gübreleme ve sulama gibi tarımsal uygulamalarda kullanılan akıllı tarım teknolojileri örnek çalışmalar verilerek açıklanmıştır.

**SMART AGRICULTURAL TECHNOLOGIES USED TO ENSURE CROP AND SOIL
FERTILITY**

Abstract

In the world where the population is constantly increasing and agricultural areas are rapidly decreasing, it has become necessary to have high productivity to increase agricultural production in order to feed people. One of the most important factors affecting productivity is the state of plant nutrients in the soil. The ability of plants to grow and

develop depends on the presence of sufficient mineral nutrients in the soil and the availability of these nutrients by the plant. In cases where nutrients are not sufficient, some nutritional deficiencies occur in plants and a decrease in productivity occurs. Information such as some physical properties of soils, plant nutrients and soil moisture conditions can be collected by using methods such as sensors, cameras and remote sensing techniques developed as a result of the technical possibilities offered by technology. In particular, there are real-time soil sensors that determine soil properties and their changes while moving in the field and record them on a location basis. For example, there are fertilization systems that measure the nitrogen need of the plant in real time and instantly apply variable rate fertilization according to these measured values. In addition, measurements can be made with moisture sensors placed permanently at desired soil depths to monitor the soil moisture status regularly throughout the entire production season. Data about measured humidity is transmitted to a central unit via wireless communication methods such as the Internet of Things, radio frequency, ZigBee, Wi-Fi, and the transmitted data is evaluated by various decision support systems and decisions can be made for the best irrigation management. In this study, the determination of plant and soil properties, evaluation of data, and smart agricultural technologies used in agricultural practices such as fertilization and irrigation were explained by giving example studies.

GİRİŞ

Fosil yakıt kullanımı ve ormansızlaşma gibi insan kaynaklı faaliyetler sonucu oluşan sera gazlarının atmosfere karışması nedeniyle küresel ısınma ve iklim değişikliği sorunları yaşanmaktadır. İklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin en belirgin olduğu sektör tarım sektörüdür. İklim değişikliğine bağlı olarak tarım sektöründe düzensiz yağışlar, kuraklık, su kıtlığı, toprağın bozulması, hastalık ve zararlıların artması gibi çeşitli sorunlara neden olmaktadır. Bu sorunlar tarımsal üretimde verim düşüklüğüne ve kalite düşüklüğüne neden olmaktadır (Ozguven ve Bilgili, 2023). Verimlilik artışı yüksek verimli kaliteli tohumluk materyalin geliştirilmesi ve tarımda makine kullanılması ile sulama, gübreleme, tarımsal savaş uygulamalarının usulüne uygun ve zamanında yapılmasının getirdiği iş gücü, zaman ve üretim maliyetlerinden tasarruf sağlanmasıyla gerçekleştirilebilmektedir. Bitkilerin büyüüp gelişebilmesi, buldukları toprakta yeterli mineral besin maddelerinin olmasına bağlıdır. Besin maddelerinin yeterli olmadığı durumlarda, bitkilerde bir takım beslenme bozuklukları görülmekte ve verimde azalma meydana gelmektedir. Yetiştirilen bitkilerin ihtiyaç duyacağı gübre çeşidi ve miktarı, asit reaksiyonlu toprakların kireç ihtiyaçları ve toprakların bazı fiziksel özellikleri, toprak örnekleme ve analizleriyle belirlenmektedir (Özguven, 2018).

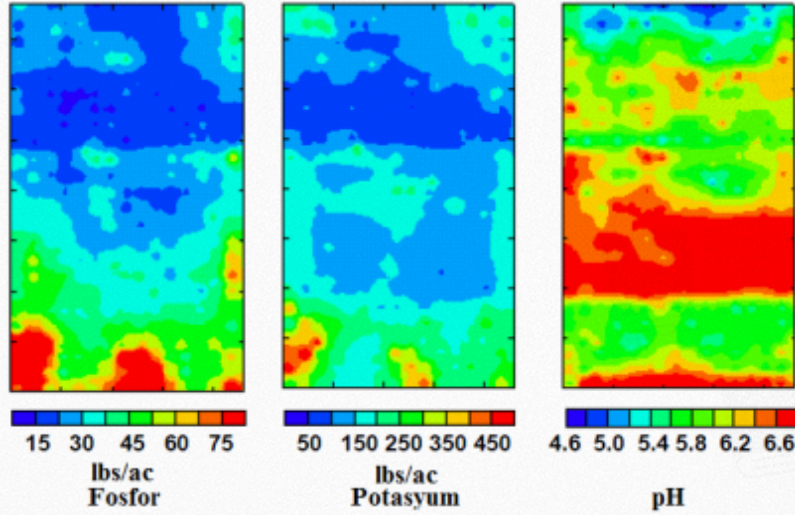
Birim alanda bitkisel üretimin artırılmasında en önemli etmen kuşkusuz sulama ve gübrelemedir. Gübrelerin toprakta bitkilerin alabileceği forma dönüşmesinde ve bitkiler tarafından alınmasında toprak suyuna mutlak ihtiyaç vardır (Doğan, 2001). Her bir toprak ve bitkinin kendine özgü azot, fosfat ve diğer bitki besin maddeleri ihtiyacı olduğundan, gübre uygulama normunun ayarı çok önemlidir. Atılacak en uygun dozun tayininde, geleneksel olarak toprak analizi sonuçlarından yararlanılmaktadır. Azot için gübreleme normunun tayininde bitkinin azot isteği ile, toprak tarafından sağlanan azot (topraktaki

halihazırdaki azot ile tahmin edilen nitrifikasyonu içermektedir) arasındaki eksiklik esas alınmaktadır (Van Liedekerke ve ark., 2006). Geleneksel uygulamalarda gübreleme normu yetiştirilecek bitki ve toprak analiz sonuçları göz önünde bulundurularak belirlenmekte ve bu norm tüm tarlada sabit olarak uygulanmaktadır. Ancak toprak özelliklerinin tarlanın farklı bölümlerinde genellikle değişkenlik göstermesinden dolayı, sabit norm uygulamalar tarlanın bazı alanlarına ihtiyaçtan fazla veya az gübre verilmesine sebep olmaktadır. Bu uygulamalar gereksiz gübre kullanımı sonucu girdi masraflarının artmasına, toprak kalitesinin bozulmasına ve çevre kirliliği gibi olumsuzluklara sebep olmaktadır. Teknolojinin sunduğu teknik olanaklar, tarımsal bilgi birikimi ve tecrübeler, bu ve tarımsal üretim sırasında görülen diğer sorunların giderilmesi veya azaltılması, tarımsal işlemlerin doğru ve zamanında yapılması veya kolaylaştırılmasına katkı sağlanması amacıyla akıllı-dijital tarım uygulamalarının geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Bu sayede akıllı tarım uygulamaları tarımsal üretimin etkin, verimli ve kaliteli yapılmasına önemli katkılar sağlamaktadır. Bu çalışmada özellikle toprak ve bitki verimliliğinin sağlanması amacıyla kullanılan akıllı tarım teknolojileri açıklanmıştır.

Hassas Tarım ve Değişken Oranlı Gübre Uygulaması

Gübrelemede amaç, çevreyi olumsuz etkilemeden yüksek mahsul verimi için toprağa besin maddesi sağlamaktır. Çoğu durumda toprağın ve mahsullerin özellikleri bireysel tarlalar içinde farklılık gösterdiğinden, alana özgü değişken oranlı gübrelemeye ihtiyaç vardır. Buradaki zorluk, gübre uygulamasının alana özgü kontrolü için uygun sinyaller sağlayan algılama tekniklerini isabetli bir şekilde kullanmaktır. Bu zorluğun üstesinden gelmeye yönelik uygun yaklaşımların temeli; önceki mahsullerin veriminin ve bundan elde edilen besin gideriminin kaydedilmesi, iyon seçici elektrotlar aracılığıyla topraktaki besin maddelerinin elektrokimyasal olarak gösterilmesi ve topraktaki veya bitkilerdeki besin maddelerinin optik yansıma yoluyla algılanmasıdır (Heege, 2013a). Geleneksel tarımda, tarımsal işlemler tarlanın her yerine sabit normda yapılmaktadır. Hassas tarımda ise küresel konum belirleme, uzaktan algılama, coğrafi bilgi sistemi, değişken oranlı uygulama teknolojileri sayesinde; arazinin farklı bölgelerindeki değişkenlik kolayca belirlenebilmekte, değişkenlik haritalandırılmakta ve değişkenliğe bağlı olarak alana özgü uygulamalar yapılmaktadır. Herhangi bir uygulama için değişken normların hangi seviyelerde olacağına karar verilirken, alanın o uygulama için ihtiyaç miktarlarının uygulama öncesi veya uygulama sırasında gerçek zamanlı belirlenmesi gerekmektedir. Karar verme aşaması bir sensörden gelen veriye bağlı yapılabileceği gibi, bazı durumlarda verim haritaları, toprak haritaları, toprak analizi sonuçları, toprak pH'sı, toprak sıklığı, elektriksel iletkenlik, bitki gelişim durumları, hastalık ve yabancı ot haritaları, toprak nemi, topoğrafya gibi alana ait mevcut olan tüm bilgilerin mekânsal olarak birlikte değerlendirilmesiyle de yapılabilmektedir. Tarımsal işlemler öncesi veya uygulama sırasında uygulama haritaları oluşturulmaktadır. Hassas tarımın sağladığı değişken oranlı uygulamalar, girdilerin etkin kullanımını, üretim maliyetlerinin ve olumsuz çevresel etkilerin azalmasını, ürün kalitesi ve verimliliğinin artmasını sağlamaktadır. Şekil 1'de toprak analizi sonuçlarına göre hazırlanmış bir tarlaya ait toprak haritaları üzerinde fosfor, potasyum ve pH değerlerindeki değişkenlikler görülmektedir. Örnek olarak verilen

haritalardaki skalalar incelendiğinde, tarlanın farklı bölümlerinde bulunan değişkenlik görülmektedir. Hassas tarımda değişkenlik değerleri, gübreleme sırasında göz önünde bulundurulmakta ve alana özgü uygulamalarla ihtiyaç miktarında gübre değişken oranlı verilmektedir (Ozguven, 2023).



Şekil 1. Değişkenlik gösteren toprak haritaları (Davis ve ark., 1998).

Bitkiler fotosentez olarak tanımlanan işlemle ışık enerjisini kimyasal bağlı enerjiye dönüştürürken, topraktan sürekli bitki besin elementi almaktadır. Dolayısıyla bitki kök bölgesinde yer alan besin elementleri bitkisel yaşam açısından hayati öneme sahiptir. Birçok tarım toprağında bitki besin elementlerinin topraktan uzaklaştırılma hızı ve miktarı, doğal yollarla toprağa kazandırılma oranından daha yüksektir. Bu nedenle, özellikle tarım yapılan alanlarda bitki besin elementleri toprağa ilave edilmedikleri takdirde, toprakta besin elementi noksanlığı söz konusu olmaktadır (Turan ve Horuz, 2012). En uygun gübre formuna, dozuna ve uygulama yöntemine karar verebilmek için ise mutlaka gübreleme yapılacak olan araziden toprak örneği alınmalı ve tekniğine uygun olarak gerekli toprak analizleri yapılmalıdır. Diğer taraftan geniş tarım alanları için uygulanan homojen bir gübreleme programı genellikle bitki besin elementlerinin israfına, besin elementleri arasındaki dengenin bozulmasına, doğal kaynakların kirlenmesine ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Arazinin farklı yerlerinden alınan karma örneklemeyle yapılan toprak analizi sonuçlarına göre uygulanan homojen gübreleme sonucu, arazinin bazı yerlerine ihtiyaçtan fazla, bazı yerlerine ise ihtiyaçtan daha az gübre düşebilmekte, bu durum da ihtiyacın üzerinde gübre verilen alanlarda gübrelerin toprakta birikmesine veya yıkanmasına, ihtiyacın altında gübre verilen alanlarda ise verim düşüklüğüne neden olabilmektedir. Bu durum ayrıca, besin elementleri arasındaki oransal dengenin bozulmasına da yol açabilmektedir (Karaman ve ark., 2012).

Değişken oranlı uygulamada en yoğun kullanılan girdi uygulamaları olarak ekim, gübre ve ilaç uygulamaları bulunmaktadır. Bu girdiler gübreleme ve ilaçlamada toz, granül ve sıvı şeklinde, ekimde ise tohumlar taneli yapıdadır. Toz ve granüle kimyasal gübre ve ilaçlar diskli tip ve pnömatik tip gübre ve ilaç dağıtma makinalarıyla, sıvı gübreler ise

değişken oranlı pülverizatörler ile toprağa dağıtılmaktadır. Diskli tip gübre dağıtıcıda gübre veya ilaç partikülleri döner disk üzerine düşmekte ve disk kanatları tarafından ivmelendirilmektedir. Değişken oranlı uygulama yapılabilmesi için konveyör veya zincir hızının değiştirilmesi, kapağın açılmasının ayarlanması ve uygulama hızının değiştirilmesi ile sağlanmaktadır. Konveyör veya zincir hızını kontrol etmek için kullanılan tahrik mekanizması pnömatik, elektrik veya hidrolik motor olabilmektedir. Bu motorlar ekim normunun ayarlanmasında da kullanılmaktadır (Özgüven, 2018).

Gerçek Zamanlı Hareketli Toprak Örnekleme Araç ve Sensörleri

Gerçek zamanlı hareketli sensörlü toprak örneklemede, toprak özellikleri ve bunların değişimi gerçek zamanlı olarak tarlada hareket halindeyken, ilgili özellik sensör ile ölçülmekte, ölçülen değerler analiz edilmekte ve bilgisayara aktarılmaktadır. Mümkün olduğu takdirde, toprak özelliklerine ait ölçülen verilerden hareket edilerek gübreleme normu belirlenmektedir. Veriler gübre uygulama normunu ayarlayan değişken oranlı gübre dağıtıcısının kontrol birimine aktararak uygulama yapılmaktadır. Bu uygulamanın yararı, ölçüm ile uygulamayı birleştirerek tek bir işlemde yapılmasıdır (Keskin ve Görücü Keskin, 2012). Tarımda yetiştiriciliğin yapıldığı ortam ve çevre şartlarının belirlenmesinde çeşitli sensörler kullanılabilir. Örneğin toprak özelliklerinin belirlenmesi için organik madde, pH düzeyi ve bitki besin elementleri, elektriksel iletkenlik, nem içeriği ve toprak sıkışıklığı gibi sensörler kullanılmaktadır. Ayrıca sıcaklık, nem, basınç, rüzgâr hızı, yağış, konum gibi çevre hakkında bilgi elde edilmesi için de çeşitli sensörler kullanılmaktadır (Özgüven, 2023). Optimum bitki gelişimi için, toprağın değişik düzeylerde bitki besin elementlerine sahip olması gerekmektedir. Ürün gelişimini etkileyen bu elementlerin düzeyinin belirlenmesi amacıyla toprak analizleri yapılmaktadır. Bu analizlere göre toprağın ihtiyacı değişken oranlı uygulamalarla karşılanabilmektedir. Hassas tarımda esas olan, eksikliğin olduğu yerleri tespit ederek doğrudan ilgili yerdeki eksikliği gidermektir. Toprak özelliklerinin ölçülmesi için hareket halinde kullanılan gerçek zamanlı sensörler (Vatandaş ve ark., 2005):

- ✓ Organik madde,
- ✓ Toprak pH düzeyi ve bitki besin elementleri,
- ✓ Elektriksel iletkenlik,
- ✓ Nem içeriği,
- ✓ Toprak sıkışıklığı sensörleridir.

Otomatik Toprak Örnekleme Araçları

Tarım alanlarının toprak özelliklerinin belirlenmesi amacıyla alınması gereken örnek sayısı, arazinin büyüklüğüne göre değişmektedir. 20 dekarlık bir alandan en az 6 örnek alınması gerektiği düşünülürse, büyük alanlı tarlalarda bu sayı yüzlerce olabilmektedir. Örneklerin normal toprak örnekleme prosedürlerine uygun olarak insan gücüyle alınması zaman kaybına neden olabilmektedir. Geliştirilen otomatik toprak örnekleme araçları, bu işlemleri kolaylaştırmakla birlikte, örneklemenin hızlı, homojen ve istenilen derinlikte yapılmasını da sağlamaktadır (Şekil 2). Araçların hidrolik sistemi, alınan numunelerin doğruluğunu ve tekrarlanabilirliğin aynı kalmasını sağlamaktadır. Bu şekilde hassas değişken oranlı gübre uygulamalarının verimliliğini artıracakları düşünülmektedir. Farklı firma ve araştırmacılar tarafından geliştirilmiş çok sayıda otomatik toprak örnekleme aracı bulunmaktadır. Bunlar, genelde ATV türü araçlar üzerine yerleştirilmekle birlikte, traktör üç nokta askı sistemine bağlanan araçlarda bulunmaktadır. GPS sistemiyle donatılmış bu araçlar, hidrolik sondayı toprağa daldırarak istenilen derinlikten aldığı toprak örneklerini etiketleyerek saklamaktadır. Bu şekilde toprak örneklerinin alındığı yerlerin coğrafi konumları kaydedilmekte ve daha sonra değişken oranlı kireç ve gübre haritalarının hazırlanmasında bu bilgilerden yararlanılmaktadır. Tüm fonksiyonlar sürücü koltuğundan otomatik olarak yapılmaktadır. 30 cm ve 60 cm derinliğe kadar farklı derinliklerden numune alabilen, saatte 38 toprak örneği alabilen araçlar mevcuttur (Özgüven, 2018).



Şekil 2. Otomatik toprak örnekleme aracı (Özgüven, 2018).

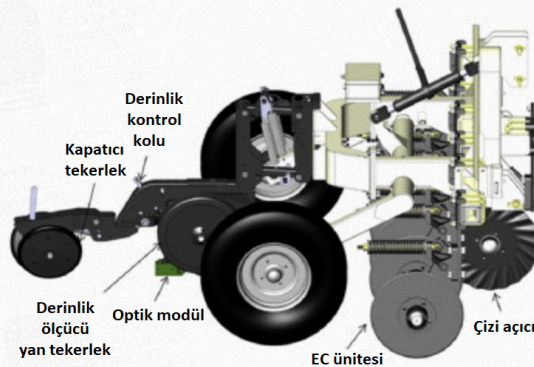
Organik Madde Sensörleri

Organik madde; mikroorganizmaların temel besin maddesi olması, bitkilere besin kaynağı olarak görev yapması ile toprakta fiziksel ve kimyasal olayların yürütülmesinde etkilidir. Görevleri ve yararları sayılamayacak kadar çoktur. İyi havalanma, bol su tutma, su ve hava iletkenliği, erozyona karşı direnç, yapının gelişmesi ve işleminin kolaylaşması, besin maddelerinin bitkilere hazır durumda tutulması, zehirlere ve asitlik-alkaliliğe karşı tamponluk gibi görevlerde organik maddenin payı büyüktür (Ünver, 2014). Toprak özelliklerinde değişiklikler, insan gözüyle bile ışık yansımadaki farklılıklara dayanarak tespit edilebilmektedir. Daha koyu topraklar, açık renkli topraklardan daha yüksek seviyede

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

nem veya organik madde içermektedir. Bu görsel olarak tespit edilebilir iken, görünür ve yakın kızılötesi (Vis-NIR) ışık sensörleri, yansıma özelliklerini niceleyebilmekte ve toprağın kalibrasyonlarını geliştirmek için gereken verileri sağlayabilmektedir (Lund, 2011). Topraktaki organik madde miktarının belirlenmesi amacıyla geliştirilen hareketli sensörler, optik cihazlara dayalı olarak fotometre yöntemiyle çalışmaktadır. Sensörler, en az bir ışık kaynağı ve bir ışık alıcısından oluşmaktadır. Işık kaynağı toprağa ışık göndermekte ve algılayıcı topraktan yansıyan ışığı almaktadır. Organik madde miktarı fazla olan topraklar daha koyu renkli olduklarından, açık renkli topraklara göre ışığı daha az yansıtmaktadır. Bu yansıtma ilişkisi kullanılarak organik madde düzeyi ölçülmektedir (Özguven, 2018).

Kweon ve Maxton (2013) tarafından organik madde algılanması için hareket halindeyken optik toprak algılama sistemine sahip bir platform geliştirilmiştir. Platform Şekil 3'de şematik olarak gösterildiği gibi çizi açıcı, derinlik kontrol ünitesi, optik ünite ve EC ünitesinden oluşmaktadır. Oluklu disk toprağı keser ve toprakta bir yuva açar. Optik modül, değişen toprak koşullarında tutarlı bir derinliği koruyan özel olarak yapılandırılmış bir sıra ünitesine monte edilmiştir. Sıra ünitesinde oluğa giren iki disk bulunmakta ve bu diskler hafif bir açıyla çalışarak toprakta V şeklinde bir yuva oluşturmaktadır. Her disk için derinlik ölçen bir yan tekerlek derinliği kontrol etmekte ve ölçümler yapılırken V yuvasını yerinde tutmaktadır. Optik modül yuvanın tabanına bastırılmakta ve tutarlı basınç, kendi kendini temizleme işlevi sağlamaktadır. Ölçümler, toprak yüzeyinin yaklaşık 5 cm (2,5 ila 7,5 cm arasında ayarlanabilir) altındaki bir safir pencere aracılığıyla toplanmaktadır. 4 mm kalınlığındaki safir pencere, görünür NIR bölgesi boyunca yaklaşık %90 geçirgenliğe sahiptir ve sürekli toprak aşınmasına dayanacak kadar dayanıklıdır. Sıra ünitesi, zemin dalgalanmalarını takip etmek için paralel bir bağlantı, toprak koşullarına uyacak şekilde ayarlanabilir bastırma kuvveti ve erozyonu önlemek amacıyla ölçüm yuvasını kapatmak için kapatma tekerleklerine bulunmaktadır.



Şekil 3. Organik madde miktarının belirlenmesi için geliştirilen platform (Kweon ve Maxton, 2013).

Toprak pH Düzeyi ve Bitki Besin Elementi Sensörleri

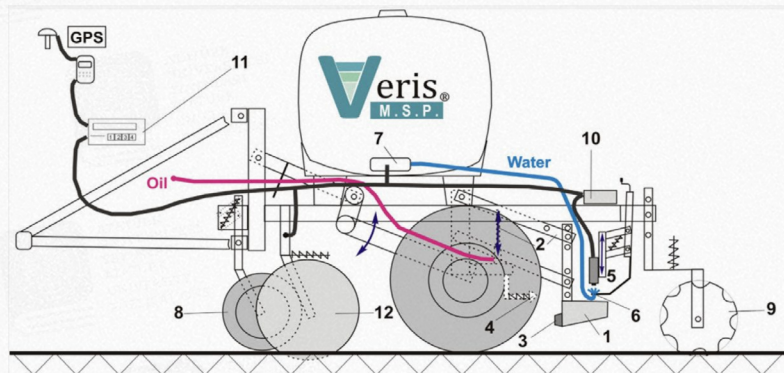
Toprağın en önemli kimyasal özelliklerinden biri asitlik veya alkalilik derecesidir. Buna toprak reaksiyonu (pH) adı verilmektedir. Toprak reaksiyonu bitki besin elementlerinin yarayırlılığını ve toprakta oluşan toksik maddelerin miktarını tayin ve dolayısı ile bitki gelişmesi ve mikroorganizma faaliyetlerini kontrol eden bir özelliktir. Bazı bitkiler yalnız kuvvetli asit reaksiyonu gösteren topraklarda gelişebilmekte olup, nötr ve alkalın topraklarda ölmektedir. Diğer taraftan bazı bitkiler nötr veya alkalın reaksiyonları tercih etmektedir. Asitlik ve alkaliliğin derecesi aynı zamanda toprak ve yararlı mikroorganizma topluluklarını da kontrol altında bulundurmaktadır (Akalın, 1987).

Toprağın sahaya özgü besin kaynağını tespit etmek için kullanılan iyon seçici elektrot yöntemi, kimyasal olarak farklı elektrik iletkenleri temas ettiğinde oluşan elektrokimyasal potansiyel serisine (voltaj) dayanmaktadır. İyon seçici elektrotlarda amaç elektrik üretmek değil, yalnızca belirli iyonları tespit etmek için belirtilen voltajı kullanmaktır. Besin maddeleri gibi belirli iyonlar hakkında bilgi almak için ilgili elektrotlar bir zar yoluyla toprakla veya toprak-su karışımıyla temas etmektedir. Bu zarın işlevi yalnızca algılanacak ilgili iyonları iletmeştir. Dolayısıyla toprak algılama durumunda, sadece H^+ veya NO_3^- veya K^+ vb. iyonları ileten membranlar seçilmektedir. İyon seçici elektrotların geliştirilmesindeki temel amaç, istenmeyen iyonların geçişini etkili bir şekilde önleyen ve toprak pH'ının kaydedilmesi için yalnızca belirli mineral besin iyonlarının veya suyun geçişine izin veren membranlar bulmak olmuştur. Şu anda iyon seçici elektrotlar toprakların pH'ını taşınabilir el aletleriyle veya laboratuvarlarda sabit modda ölçmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Heege, 2013a). Adamchuk ve ark. (2005) yaptıkları çalışmada, doğal olarak nemli toprak örneklerinde hareket halinde pH, K, Na ve NO_3 ölçümü için doğrudan toprak numunesi almak için iyon seçici elektrot teknolojisini kullanarak sınırlı bir başarı elde etmişlerdir. İyon seçici elektrotlar ve ilgili referans yöntemleri ile belirlenen değerler arasındaki regresyonların R^2 sırasıyla pH, K, NO_3-N ve Na için 0.93-0.96, 0.61-0.62, 0.41-0.51 ve 0.1 olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışma, iyon seçici elektrot teknolojisiyle toprak besin maddesi algılanmasında uygulanabilirliğini ortaya koymaktadır. Ancak bazı durumlarda iyi sonuçlar bildirilmesine rağmen, bir takım kalibrasyon ve doğruluk konuları ele alınmaya devam etmektedir (Kim ve ark., 2009).

Veris Technologies tarafından geliştirilen "The Soil pH Manager™" toprak pH haritalaması için gerçek zamanlı bir sensördür. Üç ana bileşenden oluşmaktadır: hidrolik toprak örnekleme sistemi, pH elektrot ölçüm sistemi ve suyla yıkama sistemi (Şekil 4). Toprak örneklerini otomatik olarak toplamakta ve hareket halindeyken toprak ile doğrudan temas ederek toprak pH'ını ölçmektedir. Sürüş esnasında toprak numune alma aparatı (1), paralel bir bağlantı (2) üzerindeki hidrolik silindir aracılığıyla toprağa indirilmektedir. Örnekleme derinliği ve süresi ayarlanabilir ancak genellikle 0,01 m ve 2 s'ye ayarlanmaktadır. Toprak içindeyken numune alma aparatının ön tarafı bir koni (3) ile toprak malzemesini kesmekte ve aparatın oluşu boyunca bir toprak numune akışı üretmektedir. Daha sonra toprak örneğini iki antimon pH elektroduyla (5) doğrudan temasa getirmek için aparat kaldırılmaktadır. Aynı anda aparat ön kısmını temizlemek için bir sıyırıcıdan (4) geçmektedir. Aparatın yukarı ve aşağı hareketi yakınlık sensörü tarafından kontrol edilmektedir. Ölçüm, işlenmemiş, doğal olarak nemli toprak malzemesiyle

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

yapılmaktadır. Böylece elektrotlarla temas ettirilmeden önce toprağa hiçbir çözelti eklenmez. Elde edilen pH değeri daha sonra iki elektrotun ortalama voltaj çıkışlarından hesaplanmaktadır. Gerilimin pH birimlerine dönüştürülmesi, bilinen pH değerleri 4 ve 7 olan iki standart çözeltinin ölçümünü içeren bir kalibrasyon rutini ile gerçekleştirilmektedir. Ölçüm süresi elektrot tepkisine bağlıdır ve 7 ila 25 saniye arasında değişmektedir. PH ölçümü bittikten sonra aparat tekrar toprağa indirilmekte ve analiz edilen toprak numunesi, koni içinden akan yeni toprak materyali ile boşaltılmaktadır. Eş zamanlı olarak elektrotlar, elektrot tutucunun her iki yanına monte edilen iki yıkama nozulu (6) tarafından durulanmaktadır. Su, iki elektrikli su pompası (7) bulunan 359 L'lik bir tankta depolanmaktadır. Sıra temizleyiciler (8) numune alıcı aparatının önündeki ürün kalıntılarını temizlemekte ve aparat tarafından oluşturulan karık izini doldurmak için karık kapaticılar (9) mevcuttur. Numune alma işlemi ve pH elektrot sinyalleri, verileri bir kullanıcı etkileşim cihazına (11) gönderen harici bir kontrolör (10) tarafından yönetilmektedir. Kontrol cihazını, örnekleyicinin ve suyla yıkama sisteminin manuel olarak çalıştırılmasına olanak tanıyan manuel duruma ayarlamak mümkündür. Saha çalışması sırasında, numune alıcı pabucunun topraktan çekildiği anda diferansiyel GPS koordinatları kaydedilmektedir. "The Soil pH Manager™" Veris Mobil Sensör Platformunun (MSP) bir modülüdür ve temel ünite (12) de bir de toprak elektrik iletkenliği/direnç cihazı bulunmaktadır. Görünen elektrik direnci ($\Omega \cdot m$) dört nokta yöntemiyle ölçülmekte ve görünen elektrik iletkenliğine ($mS \cdot m^{-1}$ cinsinden ECa) dönüştürülmektedir. Altı EC diskli elektrot, sistemin iki toprak derinliğinden toprak ECa verilerini sürekli olarak haritalamasını sağlamaktadır. Dar elektrotlar için etkin derinlik (sinyal katkı etkisinin %50'sinin türetildiği derinlik) dar elektrotlar için 0,12 m ve geniş elektrotlar için 0,37 m'dir (Schirrmann ve ark., 2011).

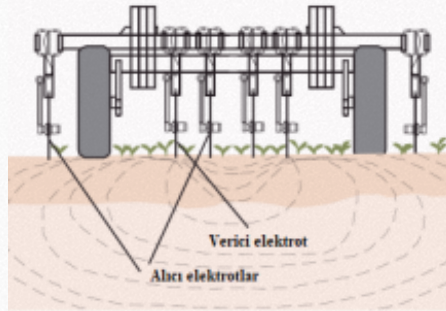


Şekil 4. The Soil pH Manager™ ve Toprak Elektriksel İletkenlik Araştırmacısını içeren Veris Çoklu Sensör Platformunun şeması (Schirrmann ve ark., 2011).

Elektriksel İletkenlik Sensörleri

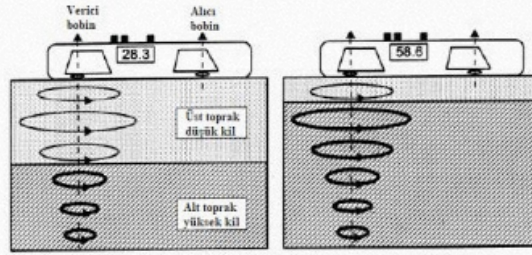
Toprak elektrik iletkenliği (EC), toprak dokusu, katyon değişim kapasitesi (CEC), drenaj koşulları, organik madde seviyesi, tuzluluk ve toprak altı özellikleri dahil olmak üzere mahsul verimliliğini etkileyen toprak özellikleriyle ilişkili bir ölçümdür. Toprakların elektrik iletkenliği, toprak parçacıklarının tuttuğu nem miktarına bağlı olarak değişmektedir. Kumların iletkenliği düşük, siltlerin orta iletkenlikte ve killerin iletkenliği yüksektir. Sonuç olarak EC, toprak parçacık boyutuna ve dokusuna kuvvetle bağlıdır. Toprakta EC ölçümleri, mS/m değerinin 100'e bölünmesiyle elde edilen okuma oranı olan (dS/m) birimiyle rapor edilebilmektedir. Arazide EC toprağını ölçmek için ticari olarak temin edilebilen iki tür sensör vardır. Sensör türleri temaslı veya temassızdır (Grisso ve ark., 2007):

Temaslı Sensör Ölçümleri: Bu tür bir sensör toprağa temas etmek ve elektrik iletkenliğini ölçmek için elektrot olarak diskler kullanmaktadır. Bu yaklaşımda, toprak yüzeyinden toprak içerisine daldırılan izole edilmiş metal elektrotlar arasından toprak içerisine elektrik akımı göndermektedir. Cihazda disk şeklindeki bir çift elektrot toprak içine elektrik akımı uygularken, diğer alıcı disk şeklindeki elektrotlar aralarındaki gerilim düşüşünü ölçmektedir (Şekil 5). Toprak EC bilgisi, konum bilgisi ile birlikte bir veri kaydediciye kaydedilmektedir. GPS, veri kaydediciye konum bilgisi sağlamaktadır.



Şekil 5. Temaslı EC sensörünün çalışma prensibi (Grisso ve ark., 2007).

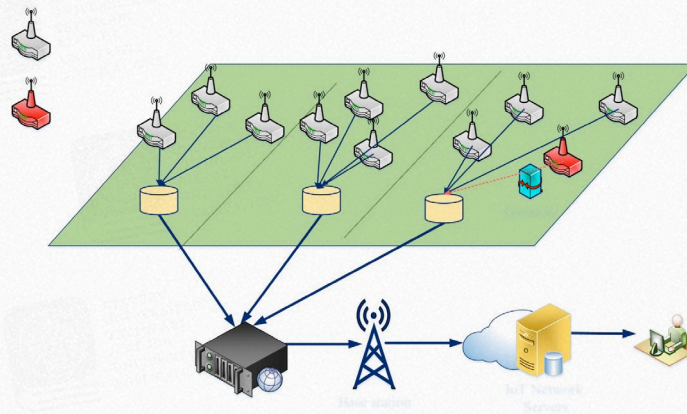
Temassız Sensör Ölçümleri: Temassız EC sensörleri elektromanyetik induksiyon (EMI) prensibi üzerinde çalışırlar. EMI doğrudan toprak yüzeyine temas etmez. Cihaz, genellikle ünitenin karşı uçlarına takılan bir verici ve bir alıcı bobininden oluşmaktadır (Şekil 6). Cihazdaki bir sensör, akımın indüklediği ortaya çıkan elektromanyetik alanı ölçmektedir. Bu ikincil elektromanyetik alanın gücü toprak EC ile orantılıdır. Bir kaynak ile bir sensör elektrotu arasındaki voltaj düşüşünü doğrudan ölçen bu cihazlar, karışmayı önlemek için metalik olmayan bir arabaya monte edilmelidir. Bu sensörler hafiftir ve tek bir kişi tarafından kolaylıkla ele alınabilmekte ve böylece küçük alanlar için yararlı olmaktadır.



Şekil 6. Temassız tipteki EC sensörünün çalışma prensibi. Verici bobin toprağa bir elektrik alanı göndermekte ve elektrik alanını taşıma kabiliyeti toprağın özellikleriyle ilişkilidir. Soldaki birimle birlikte, daha az iletken kumlu yüzey toprağı, toprak profilinde daha fazla kil olan sağdaki birimle karşılaştırıldığında alan şiddetini azaltmaktadır (Grisso ve ark., 2007).

Nem İçeriği Sensörleri

Bitkiler normal gelişimlerini sürdürebilmek için topraktan kökleri aracılığıyla su almaktadır. Alınan bu su ile kök ortamındaki besinler uç noktalara taşınmaktadır. Döngünün sürekliliği bitkinin yapraklarındaki suyun terleme yoluyla uzaklaştırılmasıyla sağlandığı için kök bölgesinde sürekli olarak yeterli nem seviyesinin sağlanması gerekmektedir. Bitkilerin su ihtiyacını belirlemek için nötronmetre, TDR veya nem sensörleri kullanılmaktadır. Nötronmetre ve TDR ölçümlerinde kalibrasyon ihtiyacı, ölçüm yöntemi ve cihazın maliyetinin yüksek olması nedeniyle yeni nem sensörlerinin geliştirilmesi ve kullanımı son yıllarda artmıştır. Ayrıca bu sensörler nem ölçümü dışında elektriksel iletkenlik, toprak sıcaklığı gibi farklı toprak özelliklerini belirleyen bir sensör füzyonundan da oluşabilmektedir. Tarlada önceden belirlenen yerlere ve bitkiye göre istenilen toprak derinliğine nem sensörleri yerleştirilerek ölçümler yapılmaktadır. Yerleştirme genellikle toprağa sabit yerleştirme şeklinde yapılmaktadır. Böylece toprağın nem durumu tüm üretim sezonu boyunca düzenli olarak takip edilebilmektedir. Ölçülen değerler Nesnelerin İnterneti (IoT), radyo frekansı (RF), ZigBee, Wi-Fi vb. kablosuz iletişim yöntemleriyle merkezi bir birime iletilmektedir (Şekil 7). Daha sonra tarladaki nem değişimlerini gösteren veriler sayısallaştırılarak sulama haritaları hazırlanmaktadır (Ozguven, 2024).

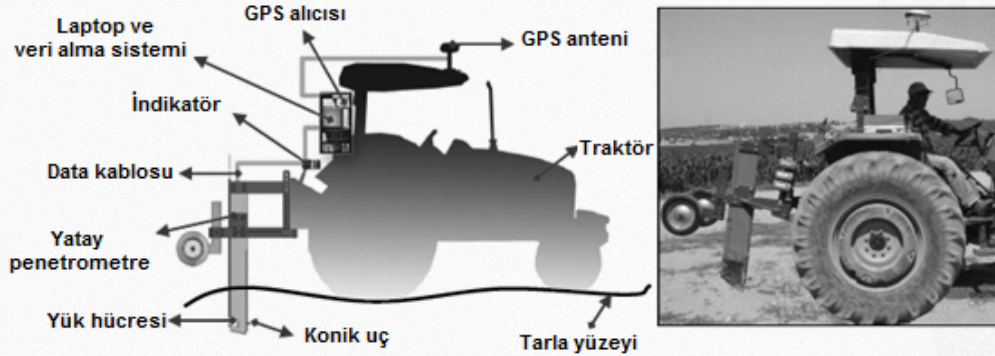


Şekil 7. Toprak nem sensörleri verilerinin iletilmesi ve değerlendirilmesi (Khan ve ark., 2022).

Toprak Sıkışıklığı Sensörleri

Toprak sıkışıklığı, kök büyümesi ve bitki çıkışı için önemli bir fiziksel sınırlayıcı faktördür ve dünya çapında ürün verimini azaltan başlıca nedenlerden biridir. Toprak sıkışma profillerinin belirlenmesi, uygulanacak toprak işlemenin ve derinliğinin belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Toprak koni penetrometreleri bu amaç için yaygın olarak kullanılmasına rağmen, gerekli olan değeri elde etmek için çok sayıda ölçüm yapmak uzun zaman almakta ve işgücü gerektirmektedir. Bu nedenle son yıllarda coğrafi koordinat temelli mekansal ölçümler yapabilen sistemler tercih edilmeye başlanmıştır. Bu sistemler işlemlerin kolaylaştırıldığı mekanizma ve sistemlere sahip olmasıyla, büyük alanlardan kısa zamanda çok sayıda veri alınabilmesini mümkün kılmaktadır (Gül ve ark., 2020).

Topkacı ve ark. (2010), 40 cm çalışma derinliğinde yatay doğrultudaki toprak penetrasyon direncinin gerçek zamanlı olarak ölçülmesi ve haritalanması amacıyla traktör üç nokta askı sistemine takılabilen yatay penetrometre sistemi geliştirmişlerdir (Şekil 8). Sistem 3 temel bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm, traktör üç nokta askı sistemine takılabilen ve uç noktasında konik uç ve yük hücresi düzeneği bulunan mekanik donanımdır. İkinci bölüm, yük hücresi ve GPS alıcılarından elde edilen verileri gerçek zamanlı olarak toplayan veri alma sistemidir. Üçüncü bölüm ise elde edilen verileri analiz eden ve CBS yazılımlarına uygun dosya formatını üreten yazılım bölümüdür. Geliştirilen sistem ile 20 ha alanda penetrasyon direnci verisi toplanarak toprak sıkışıklığı haritasının üretildiği bildirilmiştir.



Şekil 8. Yatay penetrometre sisteminin yapısı (Topkacı ve ark., 2010).

Azot Sensörleri

Yara marka azot sensörü, bir bitkinin gübre dağıtma makinesi tarladan geçerken gerçek zamanlı olarak azot ihtiyacını ölçen bir sensördür. Ölçülen bu değerlere göre alanın her bir bölümünde doğru ve optimum gübre oranının değişken oranlı olarak gübrenin katı veya sıvı olmasına göre değişken oranlı gübre dağıtıcı veya pülverizatör ile uygulanmasını sağlamaktadır (Şekil 9). Azot sensörü, yaklaşık 50m²'lik toplam alanı kapsayan bitkinin klorofil içeriği ve biyokütle ile ilgili belirli dalga bantlarındaki ışık yansımaları oranını ölçerek azot ihtiyacını belirlemektedir. Ölçümler, her bir saniyede normal çalışma hızlarında alınmaktadır (Ozguven, 2023).



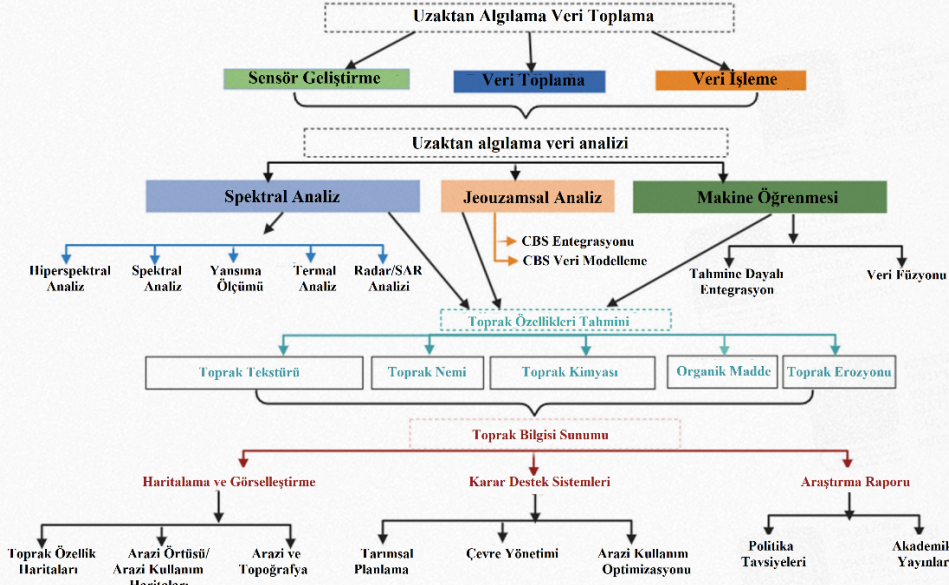
Şekil 9. Hareket halinde sensör tabanlı gerçek zamanlı azot ihtiyacını ölçen azot sensörü (Yara, 2016).

Uydu ve İnsansız Hava Araçları ile Uzaktan Algılama

Alana özgü uygulamalar çok sayıda numune gerektirmektedir. Bu nedenle mümkün olan her yerde manuel numune almanın yerini otonom veya yarı otonom algılama almalıdır. Bu algılama, ilgili toprak veya mahsulle doğrudan temasla veya temassız olarak gerçekleştirilebilmektedir. Bu nedenle yöntemler temaslı veya temassız algılama olarak sınıflandırılabilir. Örneklemin tarım makineleriyle birlikte gerçekleştiği durumlarda temaslı veya temassız yöntemlerden herhangi biri kullanılabilirken, uydular ve hava platformları yalnızca temassız algılamaya dayalıdır. Temassız yöntemler neredeyse tamamen elektromanyetik radyasyonla algılamaya dayanmaktadır. Elektromanyetik radyasyon, birçok toprak ve ürün özelliğinin temassız algılanmasına olanak sağlamaktadır. Teorik olarak, toprağın ve mahsullerin bileşenleri de dahil olmak üzere herhangi bir madde, yansıyan, iletilen, emilen veya yayılan radyasyondan türetilen bir elektromanyetik indeksle tanımlanmaktadır. Bu elektromanyetik indeks, ilgili maddenin veya bileşenin optik parmak izi görevi görebilmektedir. Uydulardan veya hava platformlarından algılama, taktik incelemeler için tarlalardan veya daha geniş alanlardan toprak veya ürün özellikleri hakkında yaklaşık aynı sürede genel bakış sağlayan haritaların elde edilmesine olanak tanımaktadır (Heege, 2013b).

Tarımsal faaliyetlerde ortomozaik haritaların oluşturulması, arazilerin sınıflandırılması, 3 boyutlu modelleme yapılması, NDVI türetilmesi, bitki hastalık ve zararlılarının tespiti, bitki özellikleri hakkında bilgi edinilmesi, nem tahmininin yapılması, ürün su stresinin izlenmesi, bitki gelişiminin izlenmesi gibi bilgilerin elde edilmesi için özellikle drone ile çeşitli kamera ve sensörler kullanılabilir (Özguven ve ark., 2022). Uzaktan algılama teknikleri, büyük ölçekli kapsama alanı, tahribatsız bir yapı, geçici izleme, çok bantlı yetenekler ve hızlı veri toplama dahil olmak üzere toprak özelliklerini ölçmek için diğer yöntemlere göre avantajlar sunmaktadır. Toprak ölçümlerinde en uygun uzaktan algılama tekniğini belirlemek için her yöntemin avantajları ve sınırlamalarının yanı sıra toprak ölçümlerinin özel bağlamı ve amacının dikkate alınması önemlidir. Ayrıca uzaktan algılama, çeşitli yöntemler kullanarak toprak özelliği ölçümlerini iyileştirmektedir.

Ancak doğruluğu ve uygulanabilirliğini artırmak için kalibrasyon, sensör füzyonu, yapay zeka, doğrulama ve makine öğrenimi uygulamalarının daha fazla araştırılmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Şekil 10'da bazı son teknoloji uzaktan teknikleri, veri analizi ve özellikle toprak ölçümlerinde tarımdaki uygulamaları için şematik bir çerçeve sunulmaktadır (Abdulraheem ve ark., 2023).



Şekil 10. Uzaktan algılama teknikleri, veri analizi ve toprak ölçümlerindeki uygulamaların şematik çerçevesi (Abdulraheem ve ark., 2023).

Son yıllarda toprak parametrelerinin tahmini için farklı uzaktan algılama sensörleri ve tekniklerine (pasif ve aktif) dayalı olarak farklı metodolojiler önerilmiştir. Pasif uzaktan algılama için geliştirilen dört ana sensör tipi (Zribi ve ark., 2011):

- ✓ özellikle bitki örtüsü tanımı ve arazi kullanım analizi için uyarlanmış sınırlı sayıda bantla (örn. SPOT, ASTER, LANDSAT, vb.) optik uzaktan algılama,
- ✓ özellikle toprak dokusu tanımına uyarlanmış, hiperspektral sensörlere dayalı optik uzaktan algılama,
- ✓ toprak sıcaklığı tahmini için uyarlanmış termal kızılötesi bantlı optik uzaktan algılama,
- ✓ toprak nemi ve bitki örtüsü tahminine uyarlanmış pasif mikrodalga uzaktan algılamadır.

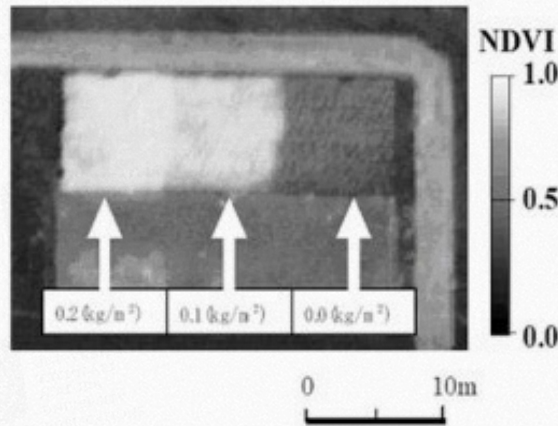
Aktif uzaktan algılama ise özellikle yerel ve bölgesel çalışmalara uyarlanmış yüksek uzaysal çözünürlüğe sahip sentetik açıklıklı radar (SAR) ve toprak parametrelerinin küresel tahminlerine daha fazla uyarlanmış dağılım ölçer (scatterometer) sensörü olmak üzere iki tür sensöre dayanmaktadır. Ayrıca toprak parametrelerinin tahmini için genellikle üç tür metodoloji kullanılmaktadır. Bunlar; yalnızca uydu ve yer veri tabanlarına dayanan ampirik modeller, fiziksel modelleme ile gerçek veriler arasındaki bir karışıma dayanan yarı ampirik modeller ve son olarak uzaktan algılama sinyalleri ile toprak parametreleri arasındaki ilişkiyi analiz etmek için yalnızca ışınımsal transfer fiziğinin tanımına dayanan

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

fiziksel modellerdir. Bu uzaktan algılama çalışmaları özellikle dört toprak parametresini (nem, pürüzlülük, sıcaklık ve doku) ilgilendirmektedir (Zribi ve ark., 2011):

- ✓ Toprak nemi, yağmur suyunun buharlaşma, sızma ve akıntı olayları arasında paylaşılma şeklini etkileyen önemli bir parametredir.
- ✓ Toprak yüzeyi pürüzlülüğü, su akışının sızma ve akışa ayrılmasında rol oynar. Ayrıca yüzey pürüzlülüğünün gelişiminin izlenmesi, özellikle tarım alanlarında erozyon riskini tahmin etmenin bir yoludur.
- ✓ Toprak dokusu, çoğu fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak sürecini etkileyen en önemli toprak özelliklerinden biridir. Bu nedenle toprak yönetimi için önemli bir özelliktir.
- ✓ Toprak sıcaklığı, buharlaşma ve terleme ile yüzey-atmosfer arayüz süreçlerinin tanımlanmasında önemli bir parametredir.

Bitkiler özellikle yakın kızılötesi bölgede yansıma yaparlar. NDVI değerleri veya yakın kızılötesi bandı, kırmızı bantla oranlayarak elde edilen sonuçlar, yeşil bitki örtüsüyle ilgili bilgiyi verdiği gibi bitkinin zayıf olduğu veya bitkisiz boş alanları da belirlemektedir. Ayrıca bitki indeksi 1 değerine ne kadar yakın olursa bitkinin iyi gelişim gösterdiğini, 0 değerine yaklaştıkça bitki örtüsünün zayıf ya da yok olduğunu, negatif olduğunda ise alanların kesinlikle bitkisiz olduğunu göstermektedir (Düzgün, 2010). Havadan ölçümü yapılan hiperspektral görüntülerinden hesaplanmış NDVI görüntüsü Şekil 11'de gösterilmektedir. Çalışmada buğday arazisinin her bir test alanında (8×8 m²), bir önceki yıl dikimden önce 0; 0,1 veya 0,2 kg/m² azot gübresi normu uygulanmıştır. Yaklaşık 20 cm'lik çözünürlükle birlikte dört bandın (R, G, B ve NIR) multispektral görüntüleri takip eden bahar mevsiminde, buğdayların büyümesi sırasında ölçülmüştür. NDVI; R (0,610-0,660 µm) ve NIR (0,835-0, 885 µm) görüntüleri kullanılarak $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$ denklemiyle hesaplanmıştır. Gübre uygulaması yapılmış iki test alanı, yüksek büyüme oranına ve yüksek NDVI değerlerine sahiptir. Gübre uygulaması yapılmayan sağdaki alanın değeri ise, test alanının altındaki mera alanı değeri kadar düşüktür (Omasa ve ark., 2006).



Şekil 11. Buğday tarlasının farklı miktarlarda azot gübresi uygulanmış haliyle NDVI görüntüsü (Omasa ve ark., 2006).

Yapay Zeka ve Makine Öğrenmesi

Yapay zeka, insan zekasının sahip olduğu algılama, öğrenme, geçmiş tecrübe ve düşünme yeteneğinin bilgisayar, makine veya sistemlere kazandırılarak tahmin edilebilen veya edilemeyen yeni durumlar karşısında karar vermesini sağlama ve gerekli işlemi yapabilmesidir. Bu karar verme işlemi sırasında insan zekası tarafından ilgili konunun hangi parametrelerine bakılıp değerlendiriliyorsa yapay zekaya bu değişkenler öğretilmekte ve karar vermenin sağlanması için de insanın zihinsel fonksiyonlarına benzeyen yorumlar yapabilen bilgisayar modelleri yardımıyla formüller oluşturulmaktadır. Böylece insanın düşünce yapısına benzer, bilgisayar yazılımlarıyla bir düşünme ve karar verme modeli oluşturulmaktadır (Özguven, 2019). Makine öğrenmesinde ise hedef, daha önce hiç görünmeyen bir girdi için doğru tahminler yapmak veya karar vermek ve bu tahmin ve karar verme süreçlerini otomatikleştiren verimli algoritmaların geliştirilmesidir. Algoritmalar geliştirilirken kuralların oluşturulması sırasında, bir uzmanın bir kararı alırken nelere dikkat etmesi gerektiğine dair kriterler dikkate alınmalıdır. Makine öğrenmesi yöntemlerinin uygulanmasında hesaplama karmaşıklığı, eğitim karmaşıklığı ve eğitilmiş algoritma uygulaması karmaşıklığı gibi karmaşıklıklar bulunabilmektedir. Bir algoritmanın performansı test hatasına göre değerlendirilmektedir. Ayrıca bir algoritma çalışırken çok sayıda test noktası bulunabilmekte ve bu noktalarda hızlı karar alınması istenmektedir. Bu nedenle test işleminin düşük hesaplama yüküne sahip olması gerekir (Ozguven, 2023).

Toprak-su içeriklerinin ve toprak dokularının eşit olmayan coğrafi dağılımı, küresel toprak veri tabanının geliştirilmesinde büyük bir engeldir. Rastgele ormanlar, destek vektör makineleri ve sinir ağları gibi makine öğrenmesi algoritmaları, mevcut toprak verilerine ve yardımcı çevresel değişkenlere dayalı olarak tahmine dayalı modeller geliştirmek için kullanılabilir. Ek olarak, kriging ve co-kriging gibi jeostatistik teknikler, toprak özelliği değerlerinin enterpolasyonu ve ekstrapolasyonunda önemli bir rol oynayarak veri setinin mekansal temsiliyi geliştirmektedir. Ayrıca, doğru ve güvenilir toprak analizi sağlamak için toprak-su içerikleri sonuçlarındaki yanlış pozitiflik ve gelişmiş tespit tekniklerindeki hatalar gibi zorlukların ele alınması gerekmektedir. Yapay zeka modellerini iyileştirmek ve toprak analizi uygulamalarındaki performanslarını iyileştirmek için daha fazla araştırma ve geliştirmeye ihtiyaç vardır. Sağlam toprak-su içerikleri ve toprak dokusu analizi için geleneksel istatistiksel araçların tek başına yetersiz olduğu açıktır. Yapay zeka ve ilgili teknolojilerin entegrasyonu, toprak analizi verimliliğini artırmak, akıllı karar almayı mümkün kılmak ve sürdürülebilir arazi yönetimi uygulamalarını kolaylaştırmak için umut verici bir yol sağlar (Awais ve ark., 2023).

Motia ve Reddy (2021) yaptıkları derleme makalede, toprak özelliklerinin tahmini ve değerlendirilmesine yönelik makine öğrenmesi modelleri ele alınmıştır. Araştırmacılar, yayınlanan çalışmalarda toprağın tahmine dayalı analizi ile ilgili farklı uygulamalar için farklı teknikler bulunduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmalarda en çok tercih edilen makine öğrenmesi yöntemlerinin,

- ✓ Destek vektör makineleri (SVM) ve Rastgele Orman (RF), toprak sağlığı yönetimi için toprak parametrelerinin tahmininde,

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

- ✓ RF, Ridge Regresyonu (RR) ve En Küçük Mutlak Küçülme ve Seçim Operatörü (LASSO) tarım topraklarının fizyo-kimyasal özelliklerinin tahmininde,
- ✓ RF ve RR, gübre tavsiyesi uygulamalarında,
- ✓ SVM ve Hatayı Geriye Yayma Sinir Ağı (Backpropagation neural networks) toprak besin maddelerinin tahmininde,
- ✓ Genel regresyon bazlı modeller, toprak sağlığı yönetimi uygulamalarında makine öğrenmesi bazlı analizlerde,
- ✓ Ortalama Karekök Sapması (RMSE) ve Determinasyon Katsayısı (R^2), toprak analizinde kullanılan en iyi araç olduğunu bildirmişlerdir.

Veri Güvenliği

Akıllı tarım, tarımsal süreçleri iyileştirmek için bir dizi teknolojiyi, cihazı, protokolü ve hesaplamalı paradigmayı entegre etmektedir. Büyük veri, yapay zeka, bulut ve uç bilgi işlem, bileşenler tarafından oluşturulan devasa verileri saklamaya, depolamaya ve analiz etmeye yönelik yetenekler ve çözümler sağlamaktadır. Ancak akıllı tarım hala gelişmektedir ve düşük düzeyde güvenlik özelliklerine sahiptir. Gelecekteki çözümler, çiftçilere yardımcı olacak kilit noktalar olarak veri kullanılabilirliği ve doğruluğunu gerektirecek ve güvenlik, sağlam ve verimli sistemler oluşturmak için hayati önem taşımaktadır. Akıllı tarım çok çeşitli ve miktarda kaynak içerdiğinden güvenlik; uyumluluk, kısıtlı kaynaklar ve büyük veriler gibi konuları ele almaktadır (De Araujo Zanella ve ark., 2020). Bu güvenlik sorunları, çiftçilerin gizli verilerine yetkisiz erişime, kimlik hırsızlığına, itibar kaybına, mali kayba veya gıda tedarik zincirinde aksamaya yol açabilecek güvenlik ihlalleriyle sonuçlanabilmektedir. Güvenlik ihlalleri kasıtlı veya kasıtsız eylem veya olaylar nedeniyle meydana gelebilmektedir. Araştırmalar, hatalar veya sistem açıkları nedeniyle güvenlik ihlallerine neden olmadıkça insanların önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Bu anlamda tarımın diğer sektörlerden hiçbir farkı yoktur. Farkındalığı artırarak, en iyi güvenlik uygulamalarını ve standartlarını teşvik ederek ve güvenlik uygulamalarını sistemlere yerleştirerek çiftliklerdeki verileri ve bilgi teknolojileri varlıklarını korumaya yönelik artan bir ihtiyaç vardır. Genel olarak güvenlik sorunlarının kaynağı insan hatası, teknoloji ve fiziksel boyutlar olmak üzere üç kategoriye ayrılabilir. İnsan hataları, kullanıcıların bir güvenlik ihlalinin oluşmasına izin veren kasıtsız eylemleri veya eylemsizliklerini ifade etmektedir. Kötü amaçlı yazılım içeren bir e-posta ekinin indirilmesi, kimlik avı e-postasının açılması, zayıf parolaların kullanılması ve kişisel parolaların başkalarıyla paylaşılması bu tür eylemlere örnek olarak gösterilebilmektedir. IBM'in raporuna göre (IBM Security Services, 2014), güvenlik ihlallerinin %95'inin temel nedeni insan hatasıdır. Fidye yazılımı ve kötü amaçlı yazılım gibi teknolojik güvenlik riskleri, yazılımdaki güvenlik açıklarından, sistem tasarımı veya kurulumlarındaki eksikliklerden, yapılandırma hatalarından veya teknolojiyle ilgili diğer sorunlardan (ör. birlikte çalışabilirlik eksikliği) kaynaklanan risklerdir. Fiziksel veri güvenliği sorunları ise, sunucu odalarına yetkisiz erişim gibi güvenlik ihlaline neden olan somut olaylardır. Bu güvenlik kategorilerinin her biri tarım sistemine onarılamaz zararlar verebilmektedir (Hazrati ve ark., 2022).

TARTIŞMA VE SONUÇ

Akıllı-dijital tarım uygulamaları, tarım alanlarından elde edilen bilgiler ve verilerin çeşitli sensör, kamera veya sistemlerden gerçek zamanlı olarak toplanması, elde edilen verilerin geliştirilen yazılımlara iletilmesi, verilerin yazılımlar ile analiz edilmesi, verilerin depolanması ve veriye bağlı işlemlerin yönetilmesi ve analiz edilmesi aşamalarından oluşmaktadır (Özgüven, 2023). Akıllı tarım uygulamaları ile toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri, bitki besin elementleri, toprak nemi gibi toprak özellikleri ve bu özelliklerin değişimi ile su kaynakları ve arazi kullanımı, bitki örtüsü indeksleri, bitki türleri, bitki verimi vb. bilgiler kolaylıkla elde edilebilmektedir. Böylece daha verimli ve daha kaliteli üretim için daha etkin yönetim kararlarının alınması, girdi kullanımının iyileştirilmesi, işletmenin verimliliğinin en üst düzeye çıkarılmasına yardımcı olmaktadır. Ancak akıllı tarım uygulamaları, çeşitli donanım ve yazılımların kullanıldığı farklı düzeylerde teknik ve teknolojiyi gerektirmektedir. Tüm bu teknolojilerin bir veya birkaçını kullanabilme imkanı, günümüz şartlarında teknolojinin pahalı olması veya ekonomik krizler gibi ekonomik nedenlerin yanında teknolojiye ulaşım ve çiftçilerin eğitilmiş olması gibi teknik ve sosyal olarak zorluklar içerebilmektedir. Çiftçi veya tarımsal işletmeler imkan ve olanakları dahilindeki akıllı tarım uygulamalarını kullanmaya çalışabilir. Akıllı tarım uygulamalarının kullanılıp kullanılmayacağına karar vermede temel belirleyici kriter, uygulama sonucunda ekonomik ve çevresel fayda sağlanıp sağlanmadığının değerlendirilmesi olmalıdır.

KAYNAKLAR

- Abdulraheem, M. I., Zhang, W., Li, S., Moshayedi, A. J., Farooque, A. A., Hu, J., (2023). Advancement of Remote Sensing for Soil Measurements and Applications: A Comprehensive Review. *Sustainability*. 15(21):15444. <https://doi.org/10.3390/su152115444>.
- Akalan, İ., (1987). Toprak Bilgisi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:1058, Ders Kitabı No: 309. Ankara.
- Awais, M., Naqvi, S.M.Z.A., Zhang, H. et al., (2023). AI and machine learning for soil analysis: an assessment of sustainable agricultural practices. *Bioresour. Bioprocess.* 10, 90. <https://doi.org/10.1186/s40643-023-00710-y>
- Davis, G., Casady, W., Massey, R., (1998). Precision Agriculture: An Introduction. University of Missouri Extension, WQ450.
- De Araujo Zanella, A. R., da Silva, E., Pessoa Albini, L. C., (2020). Security challenges to smart agriculture: Current state, key issues, and future directions. Volume 8, 100048. <https://doi.org/10.1016/j.array.2020.100048>.
- Doğan, O., (2001). Toprak-Su-Gübre-Bitki İlişkilerinde Araştırmanın Önemi. T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Tarımın Yeniden Yapılanmasında Toprak-Su Politika Toprak Muhafaza ve Sulama Politikaları Sempozyumu, 30-31 Ocak 2001, Ankara.
- Düzgün, H. Ş., (2010). Uzaktan Algılamaya Giriş Dersi, Ünite 1 – Uzaktan Algılamaya Giriş. Ulusal Açık Ders Malzemeleri Konsorsiyumu.

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

- Grisso, R., Alley, M., Holshouser, D., Thomason, W. (2007). Precision Farming Tools: Soil Electrical Conductivity. Virginia Cooperative Extension, pp. 442-508.
- Gül, E. N., Özgüven, M. M., Özgöz, E., (2020). Toprak Sıkışması Ölçüm Sistemleri ve Teknolojik Gelişmeler. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*. Cilt.9, S.3, ss.75-89.
- Hazrati, M., Dara, R., Kaur, J., (2022). On-Farm Data Security: Practical Recommendations for Securing Farm Data. *Front. Sustain. Food Syst.* 6:884187. doi: 10.3389/fsufs.2022.884187.
- Heege, H. J., (2013a). Site-Specific Fertilizing. In *Precision in Crop Farming*. (Heege, H.J., Ed.). Springer: Dordrecht, The Netherlands. pp. 295–311. ISBN 978-94-007-6759-1.
- Heege, H. J., (2013b). Sensing by Electromagnetic Radiation. In *Precision in Crop Farming*. (Heege, H.J., Ed.). Springer: Dordrecht, The Netherlands. pp. 295–311. ISBN 978-94-007-6759-1.
- IBM Security Services, (2014). Cyber Security Intelligence Index. (2014). Analysis of Cyber Attack and Incident Data from IBM's Worldwide Security Operations. Armonk, NY: IBM Global Technology Services. Available online at: https://i.crn.com/sites/default/files/ckfinderimages/userfiles/images/crn/custom/IBM_SecurityServices2014.PDF.
- Karaman, M. R., Brohi, A. R., Müftüoğlu, N. M, Öztaş, T., Zengin, M., (2012). Sürdürülebilir Toprak Verimliliği. *Koyulhisar Ziraat Odası Kültür Yayınları* No:1.
- Keskin, M., Görücü Keskin, S., (2012). Hassas Tarım Teknolojileri. *Mustafa Kemal Üniversitesi Yayınları* No:35. Hatay.
- Khan, A. I., Alsolami, F., Alqurashi, F., Abushark, Y. B., Sarker, I. H., (2022). Novel Energy Management Scheme in Iot Enabled Smart Irrigation System using Optimized Intelligence Methods. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Volume 114, 104996, <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.104996>.
- Kim, H. J., Sudduth, K. A., Hummel, J. W., (2009). Soil Macronutrient Sensing for Precision Agriculture. *Journal of Environmental Monitoring*. 11: 1810-1824. DOI: 10.1039/b906634a.
- Kweon, G., Maxton, C., (2013). Soil Organic Matter Sensing with an On-The-Go Optical Sensor. *Biosystems Engineering*, Volume 115, Issue 1, Pages 66-81. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.02.004>.
- Lund, E., (2011). Proximal Sensing of Soil Organic Matter using the Veris® OpticMapper™. In *Proceedings of The Second Global Workshop on Proximal Soil Sensing*, Montreal, 2011, pp. 76–79.
- Motia, S. and Reddy, S. R. N., (2021). Exploration of machine learning methods for prediction and assessment of soil properties for agricultural soil management: a quantitative evaluation. *IOP Publishing. J. Phys.: Conf. Ser.* 1950 012037. doi:10.1088/1742-6596/1950/1/012037.

- Omasa, K., Oki, K., Suhama, T., (2006). Section 5.2 Remote Sensing from Satellites and Aircraft, pp. 231-244 of Chapter 5 Precision Agriculture, in CIGR Handbook of Agricultural Engineering Volume VI Information Technology. Edited by CIGR-The International Commission of Agricultural Engineering; Volume Editor, Axel Munack. St. Joseph, Michigan, USA: ASABE. Copyright American Society of Agricultural Engineers. (Çevirmenler: Demircioğlu, P. ve Böğrekci, İ.; Çeviri Editörleri: Tarhan, S. ve Özgüven, M.M.).
- Ozguven, M. M., (2023). The Digital Age in Agriculture. CRC Press Taylor & Francis Group LLC. ISBN 978-103-23-8577-8.
- Ozguven, M. M., Bilgili, M.E., (2023). The Effect of Climate Change on Agricultural Production. Quantum Journal of Engineering, Science and Technology. 4 (3), 29-37.
- Ozguven, M. M., (2024). Contribution of Precision Agriculture to Drought and Food Security, (Editor: Baig, M.B.) Climate Change Food Security and Climate-Smart Agriculture. Springer Nature Singapore Pte Ltd.. ISBN (in print).
- Özgüven, M. M., (2018). Hassas Tarım. Akfon Yayınları, Ankara. ISBN: 978-605-68762-4-0.
- Özgüven, M. M., (2019). Teknoloji Kavramları ve Farkları. International Erciyes Agriculture, Animal & Food Sciences Conference 24-27 April 2019- Erciyes University - Kayseri, Türkiye.
- Özgüven, M. M., Altaş, Z., Güven, D., Çam, A., (2022). Tarımda Drone Kullanımı ve Geleceği. Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 12 (1), 64-83. <https://doi.org/10.54370/ordubtd.1097519>
- Özgüven, M. M., (2023). Bahçe Bitkileri Yetiştiriciliğinde Kullanılan Dijital Tarım Teknolojileri. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi. 19(3), 2023: 174-193.
- Schirrmann, M., Gebbers, R., Kramer, E., Seidel, J., (2011). Soil pH Mapping with an On-The-Go Sensor. Sensors 11, no. 1: 573-598. <https://doi.org/10.3390/s110100573>.
- Topakci, M., Unal, I., Canakci, M., Celik, H. K., Karayel, D., (2010). Design of a Horizontal Penetrometer for Measuring On-the-Go Soil Resistance. Sensors. 2010, 10, 9337-9348; doi: 10.3390/s101009337.
- Turan, M., Horuz, A., 2012. Bitki Besleme. (Editör: M.R. Karaman). Gübretaş Rehber Kitaplar Dizisi: 2. Ankara.
- Ünver, İ., (2014). Toprakların Kimyasal ve Biyolojik Özellikleri (Editörler İ. Ünver ve D. Anaç). Toprak Bilgisi ve Bitki Besleme. Anadolu Üniversitesi Yayınları No:2302. Eskişehir.
- Van Liedekerke, P., De Baerdemaeker, J. and Ramon, H., (2006). Section 5.5 Fertilizer Application Control, pp. 273-278 of Chapter 5 Precision Agriculture, in CIGR Handbook of Agricultural Engineering Volume VI Information Technology. Edited by CIGR-The International Commission of Agricultural Engineering; Volume Editor, Axel Munack. St. Joseph, Michigan, USA: ASABE. Copyright American Society of

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

Agricultural Engineers. (Çevirmen: Ömer Faruk TAŞER Çeviri Editörleri: Sefa TARHAN ve Mehmet Metin ÖZGÜVEN).

Vatandaş, M., Güner, M., Türker, U., (2005). Hassas Tarım Teknolojileri. Ziraat Mühendisleri Odası. Ankara.

Yara, (2016). Yara N-Sensor field guide. http://www.yara.co.uk/images/Yara%20N-Sensor%20Field%20Guide_tcm430-246448.pdf.

Zribi, M., Baghdadi, N., Nolin, M., (2011). Remote Sensing of Soil. Applied and Environmental Soil Science, vol. 2011, Article ID 904561, 2 pages, 2011. <https://doi.org/10.1155/2011/904561>.

ERZURUM İLİ TARIM TOPRAKLARININ VERİMLİLİK DURUMLARININ VERİTABANI VE HARİTALAR OLUŞTURULARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Meryem BAYRAKTUTAN^{1*}, Alper POLAT², Murat ŞİMŞEK³, Mustafa Serdar TOKSOY⁴

¹ Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Toprak ve Bitki Besleme Bölümü, ERZURUM

² Bingöl Üniversitesi, Gıda Tarım ve Hayvancılık Meslek Yüksek Okulu, BİNGÖL

³ Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Toprak ve Bitki Besleme Bölümü, ANTALYA

⁴ Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, BURDUR

meryem.bayraktutan@tarimorman.gov.tr

Özet

Bu çalışma Erzurum ili tarım topraklarının verimlilik durumlarını belirlemek, CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) tekniği kullanılarak veri tabanı ve dağılım haritalarını oluşturmak amacıyla 2013-2017 yıllarında yürütülmüştür. Araştırma kapsamında, tarım alanlarını temsil edecek şekilde 2.5 km x 2.5 km aralıklarla 0-20 cm toprak derinliğinden 759 toprak örneği alınmıştır. Alınan toprak örneklerinde; pH, EC, kireç, organik madde ile ekstrakte edilebilir fosfor ve ekstrakte edilebilir potasyum analizleri yapılmıştır. Toprak analiz sonuçları, belli kriterlere göre sınıflandırılarak, besin maddelerinin eksiklik, yeterlilik veya fazlalık seviyeleri belirlenmiştir. Araştırma sonucuna göre, Erzurum ili tarım topraklarının % 54'ü orta alkali, % 57'si çok hafif tuzlu, % 50'si kireçsiz-çok az kireçli, % 54'ü ise çok az-az organik maddeye sahip olduğu belirlenmiştir. Ekstrakte edilebilir elementler bakımından % 89'unda fosfor yetersiz, % 98'i ise potasyum bakımından zengin olarak belirlenmiştir. Toprak örneklerinin alındığı araziler eğim, taşlılık ve kayalılık durumlarına göre de sınıflandırılmıştır. Arazilerin genel olarak % 46'sı düz, %77'si çok az taşlı ve % 80'i çok az kayalı olarak belirlenmiştir. Toprak parametrelerinin sınıflandırılmasından sonra CBS kapsamında veri tabanı oluşturulmuş ve IDW yöntemi kullanılarak toprak dağılım haritaları üretilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Erzurum, toprak verimliliği, IDW, veri tabanı

FERTILITY STATUS OF AGRICULTURAL SOILS IN ERZURUM PROVINCE CREATING AND EVALUATING DATABASES AND MAPS

Abstract

This study conducted between 2013 and 2017 focused on assessing the fertility of agricultural soils in Erzurum province and developing a database and distribution maps through GIS (Geographical Information System) techniques. Around 759 soil samples were collected from the top 20 cm of soil at 2.5 km intervals across agricultural areas. These samples underwent analysis for pH, electrical conductivity (EC), lime content, organic matter, extractable phosphorus, and extractable potassium. The results were categorized based on specific standards to determine nutrient levels—whether deficient, sufficient, or

excessive. The findings revealed that 54% of Erzurum's agricultural soils were moderately alkaline, 57% were slightly saline, 50% had minimal lime content, and 54% had low organic matter. Regarding extractable elements, 89% were deficient in phosphorus, while 98% were potassium-rich. Additionally, the soil samples were classified by slope, stoniness, and rockiness. The majority of the lands were flat (46%), very slightly stony (77%), and very slightly rocky (80%). Following parameter classification, a GIS-based database was established, and soil distribution maps were generated using the Inverse Distance Weighting (IDW) method.

Keywords: Erzurum, soil fertility, IDW, database

GİRİŞ

Oluşumu binlerce yıl süren tarım toprakları, üretilemeyen ve yenilenmesi mümkün olmayan tek kaynaktır. Ülkelerin gelişmesi ve insanların hayat seviyelerinin yükseltilmesi için, tarım topraklarının sürdürülebilir biçimde kullanılıp yönetilmesi mecburiyeti vardır. Ülke topraklarımızın sürdürülebilir biçimde kullanılıp yönetilmesi toprak kaynaklarının yeterli şekilde incelenmesi ve izlenmesiyle mümkün olacaktır. Tarım alanlarının daha ayrıntılı olarak tanımlanması ve sürekli olarak izlenmesi yeni teknolojilerin bu alanlarda kullanımını da artıracaktır.

Tarım alanlarında sürdürülebilir yönetim ve kullanım faaliyetlerinin planlanıp uygulanabilmesi her geçen gün daha da artan bir önem kazanmaktadır. Çünkü hızlı nüfus artışı ve insan ihtiyaçlarının zaman içinde çeşitlenip artmasına bağlı olarak, tarım ürünlerine duyulan ihtiyacın artması sonucunda, tarım alanları üzerindeki baskılar her gün şekil değiştirerek artmaktadır. Bu durum, toprak kaynaklarına ait bilgilerin sürekli değişmesine neden olmakta ve izleme çalışmalarının sürekli olmasını gerekli kılmaktadır. Bu sürekli izleme neticesinde, coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama tekniklerinin de kullanılmasıyla, tarım alanlarının yönetim ve kullanım faaliyetlerinin planlanmasında, çabuk, doğru ve objektif karar verilmesi imkânı bulunacaktır.

Gerçek anlamda bir tarımsal arazi planlamasının hayata geçirilebilmesi için bölgeye ait ekolojik ve sosyo-ekonomik bilgilerin yanı sıra, öncelikle sağlıklı toprak verilerine gereksinim duyulmaktadır. Böylece arazinin en rasyonel ve ekonomik kullanım altında değerlendirilebilmesi için, yetiştirilecek bitkinin ekolojik uygunlukları ile toprak istekleri belirlenmekte ve bunlar eşleştirilerek, üreticinin ekonomik koşulları da dikkate alınmak suretiyle en uygun arazi değerlendirilmesi yapılabilmektedir.

Bitki yetiştirme ortamı olarak toprak, son derece karmaşık bir yapı olup, verimlilik özellikleri birçok faktörün etkisi altındadır. Bitki yetiştiriciliği açısından, her an bitkinin kullanımına hazır yeteri kadar besin elementi sağlayabildiği ölçüde toprak, mükemmel bir ortam sayılır. Bir başka ifade ile, yeterli ve dengeli oranda bitki besin elementlerini içeren, fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri uygun durumda bulunan topraklar verimli topraklar olarak değerlendirilir.

Tarım alanlarımızın verimliliklerinin sürdürülebilmesi için, öncelikle bu alanların özelliklerinin en iyi şekilde tanımlanması gereklidir. Bu tanımlamayı sağlamak için, topraklarımızın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi gereklidir. Toprakların bitkiye yararlı besin maddesi sağlama gücü; toprak pH'sı, kireç, organik madde, tuz içeriği gibi çeşitli toprak özellikleri yanında iklim faktörleri başta olmak üzere diğer çevre etmenleri ile yakından ilişkilidir. Bu nedenle toprakların bu özelliklerinin iyi bilinmesi ve o toprakta yetiştirilen bitkilerin ihtiyaç duyduğu besin elementleri yönünden yeterliliğinin değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Tarım alanlarının özelliklerinin belirlenip güncelleştirilerek bir veri tabanı oluşturulması, toprak kaynaklarının doğru kullanımına yönelik yeni araştırma projeleri için de ön bilgiler sağlayacaktır. Coğrafi koordinatları belli toprak örnekleri üzerinde yapılacak analizler sonucunda, belirlenen özelliklerin zaman içindeki değişimleri de takip edilerek, tarım alanlarındaki değişimler kontrol altına alınabilecektir. Bilişim teknolojisinde hızlı gelişmelere tanıklık eden çağımızda, her türlü bilgiyi toplamak, işlenebilir hale getirmek ve bilgiyi toplum yararına paylaşmak en önemli değerler olmuştur. Bu anlamda, tüm bilgilerin %80' ini oluşturan harita bilgilerinin elektronik ortamda yönetilmesinde etkin bir araç haline gelen Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), bugünün ve geleceğin en önemli bilgi teknolojisi sayılmaktadır. Farklı niteliklere sahip toprakların en üretken şekilde kullanılması amaçlandığında çeşitli kullanım türlerinin gereksinimleri dikkate alınarak bir planlamaya gidilmesi zorunludur. Bu nedenle çok karmaşık bir yapıya sahip olan toprakların da bitkiler, hayvanlar ve diğer objeler gibi sınıflandırılması zorunluluğu vardır (Roberts, 1979).

Tarım alanlarımızın bazı özelliklerini ortaya koyma amacına yönelik bazı çalışmalar geçmişte de yürütülmüş ve sonuçlandırılmıştır. TOPRAKSU Genel Müdürlüğü tarafından her ilimizin verimlilik envanteri ve gübre ihtiyaç raporu hazırlanmıştır. Bu raporlarda, illerimizin topraklarının pH, tuzluluk, kireç, organik madde, alınabilir fosfor ve ekstrakte edilebilir potasyum miktarları belirlenmiştir. Bu raporda, Erzurum ili topraklarının % 69'u alkalın, % 99'u tuzsuz, % 35,5'i az kireçli, % 77'si organik madde; % 49'u da fosfor bakımından yetersiz bulunmuştur. Potasyum bakımından ise toprakların tamamının yeterli olduğu belirlenmiştir (Anonim, 1984). Ancak, o zamanki imkânlarla yapılan bu çalışmalarda toprak örneklerinin koordinatlarının belirlenmemiş olması nedeniyle elde edilen sonuçlar sürdürülebilir bakımından yetersiz kalmaktadır.

Coğrafi koordinatları belli toprak örnekleri üzerinde yapılacak olan analizler sonucunda, belirlenen mevcut özelliklerin zaman içindeki değişimleri de takip edilerek, tarım alanlarındaki olumsuz değişimler kontrol altına alınabilecektir. Bu konuda tüm illerde verimlilik çalışmaları yapılmıştır. Özyazıcı ve ark., (2016), Karadeniz Bölgesi'nde yaptıkları çalışmada, bölgeden almış oldukları toprak örneklerinde, bünye, pH, elektriksel iletkenlik, kireç, organik madde, alınabilir fosfor ve ekstrakte edilebilir potasyum analiz sonuçlarını belirlemişlerdir. Toprak analiz sonuçları, sınıflandırılarak, besin maddesi eksiklik veya fazlalık seviyeleri tespit edilerek, CBS kapsamında veri tabanı oluşturulmuş ve toprak verimlilik haritaları üretilmiştir.

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

Bu kapsamda Erzurum ili tarım topraklarının verimlilik durumlarını belirlemek ve bir veri tabanı oluşturma amacıyla yapılan bu çalışma ile edilen veriler CBS kapsamında IDW yöntemi kullanılarak değerlendirilmiş ve toprak haritaları oluşturulmuştur.

MATERYAL VE METOT

Materyal

Araştırma yeri coğrafi konumu

Doğu Anadolu Bölgesinde bulunan Erzurum ili; 40° 15' ve 42° 35' doğu boylamları ile 40° 57' ve 39° 10' kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Kuzeyinde Artvin-Rize, batısında Bayburt-Erzincan, güneyinde Bingöl-Muş ve doğusunda Ağrı-Kars illeri bulunmaktadır. İki coğrafi bölgede toprakları bulunan Erzurum İlinin arazi büyüklüğü yaklaşık 25.066 km² dir. Bu toprakların kuzey kesimi yani İspir, Narman, Oltu, Olur, Pazaryolu, Tortum ve Uzundere İlçelerinin toprakları Karadeniz Bölgesinin Doğu Karadeniz sınırları içinde kalmaktadır. Ancak bu kesim İl topraklarının yaklaşık % 30'luk bir payını oluşturur. Geriye kalan % 70 gibi önemli bir pay Doğu Anadolu Bölgesinde yer alır. İl arazi büyüklüğü bakımından sırayla Konya Sivas ve Ankara İllerinden sonra Türkiye'nin 4. büyük ili konumundadır (Anonim, 2018a).

Yerleşme alanı yer yer 2000 metreye kadar yükselen bir ova üzerinde bulunmakta olup, Türkiye'nin en yüksek şehri konumundadır. Örneğin platoların deniz düzeyine göre yükseklikleri 2000 m'yi bulur bunların üstünde yer alan dağların yükseklikleri ise 3000 m ve daha yüksektir. Platolar ve dağlar arasında yükseklikleri yaklaşık 1500 ila 1800 metrelere ulaşan depresyon ovalarıyla oluklar yerleşmiştir. Karasu-Aras Dağlarının bazı dağ kütleleri Erzurum İli arazisini güneyde engebelendirmiştir. Bunların en önemlileri Erzurum kenti ve Erzurum ovası (825 km²) güneyinde yer almakta olan Palandöken Dağları (Büyük Ejder 3176 m) ve Pasinler Ovası (540 km²) güneyinde yer alan Şahveled Dağları (Çakmak Dağı 3063 m) olup Bingöl Dağlarının kuzey yarısı da yine Erzurum İli sınırları içinde kalmaktadır (Anonim, 2018a).

Araştırma Yerinin İklim Özellikleri

Bölgede yazlar sıcak ve kurak, kışları uzun ve sert geçen tipik karasal iklim hakimdir. Toprak uzun süre karla kaplıdır. Gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farkı çok yüksektir. Tablo 1'de Erzurum iline ait uzun yıllar ortalamaları halinde bazı iklim değerleri verilmiştir. Erzurum'da ortalama sıcaklık 5,4 °C'dir. Sıcaklığın en yüksek olduğu ay Ağustos ayı olup 36,5 °C'dir. Sıcaklığın en düşük olduğu ay Aralık ayı olup -37,2 °C'dir.

Tablo 1. Erzurum ili uzun yıllar ortalama iklim verileri (1970-2013) (Anonim (DMİ), 2014)

İklim verileri	Aylar												Yıllar ort/top
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Ortalama sıcaklık (°C)	-9.9	-8.2	2.2	5.5	10.4	14.9	19.3	19.3	14.4	7.8	0.1	-6.6	5.4
Ort. max sıcaklık (°C)	-4.3	-2.5	3.1	11.5	16.9	21.9	26.9	27.4	23.1	15.4	6.3	-1.4	12.02

Ort. min sıcaklık (°C)	-15.2	-13.6	-7.1	-0.1	3.7	6.7	10.6	10.4	5.5	1.0	-5.1	-	-1.22
Ort. Güneşlenme saati	3.6	3.5	4.5	6.0	7.5	10.1	11.1	10.4	8.6	6.3	4.3	2.5	6.53
Ortalama yağışlı gün	11.5	11.4	12.9	14.8	16.9	10.8	6.7	5.6	4.9	10.4	9.7	11.2	10.56
*Extrem max sıcaklık (°C)	7.7	9.6	21.4	26.5	27.2	31.0	35.6	36.5	33.3	27.0	17.8	14.0	23.96
*Extrem min sıcaklık (°C)	-36.0	-37.0	-33.2	-	-7.1	-5.6	-1.8	-1.1	-6.8	-	-	-	-19.71
				22.4						14.1	34.3	37.2	

*1970-2014 yıllarına aittir. (Toprak örneklerinin alındığı yıl esas alınmıştır).

Metot

Erzurum ili tarım yapılan toprakları tanımlayacak şekilde; toprak örnekleme yapılarak, toprakların verimlilik durumunu belirlemek amacıyla gerçekleştirilen bu araştırma başlıca 3 aşamada yürütülmüştür.

Toprak örnekleme alanlarının belirlenerek örneklerin alınması

Araştırmada alınacak toprak örneği sayısını tespit etmek için, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından sayısal ortama aktarılan 1/25000 ölçekteki toprak haritalarından; sulu tarım, kuru tarım, bağ, bahçe gibi tarım yapılan alanlar dikkate alınarak çalışma alanı belirlenmiştir. Türkiye haritası üzerinde 2.5x2.5 km'lik gridler oluşturulmuş ve tarım alanlarına düşen alanlar seçilerek tespit edilmiştir.

Toprak örneklerinde laboratuvar analizleri

Toprak Reaksiyonu (pH): Hazırlanan saturasyon çamurunda cam elektrotlu pH metre ile ölçülmüştür (Methods of Soil Analysis, 1982).

Elektriksel İletkenlik (EC) (dS/m): Toprakların toplam tuz içerikleri, saturasyon çamurundan çıkartılan ekstrakta kondaktivite cihazı ile ölçülmüştür (Methods of Soil Analysis, 1982).

Kireç (CaCO₃) (%): Scheibler kalsimetresinde volümetrik olarak belirlenmiştir (Methods of Soil Analysis, 1982).

Organik Madde (%): Modifiye edilmiş Walkley-Black yöntemiyle belirlenmiştir (Methods of Soil Analysis, 1982; ISO 14235, 1998).

Alınabilir Fosfor (mg/kg): Alkalin ve nötr karakterli toprakların fosfor içerikleri Olsen yöntemine göre, asit karakterli toprakların fosfor içerikleri ise Bray ve Kurtz yöntemine göre belirlenmiştir (Methods of Soil Analysis, 1982).

Alınabilir Potasyum (kg K₂O/da): Toprak örneklerinin potasyum içerikleri, 1 N Amonyum asetat (pH=7.0) ile ekstrakta edilerek flamefotometrede ölçülmek suretiyle tespit edilmiştir (Richards, 1954).

Veri Tabanı Oluşturma, İstatistik Analizler ve Haritalama

Projenin üçüncü aşamasında; birinci ve ikinci aşama sonuçlarında elde edilen verilerin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kapsamında değerlendirilmesi, analiz edilmesi, veri tabanının oluşturulması ve haritalanması işlemleri gerçekleştirilmiştir. Koordinatlı olarak alınan toprak örneklerine ait toprak analiz sonuçlarını içeren veriler ayrı ayrı ele alınarak CBS'nin analiz fonksiyonlarından yararlanılarak değerlendirilmiştir. Toprak örneklerine ilişkin parametrelere ait haritaların çiziminde ArcMap10.4 coğrafi bilgi sistemleri paket programı kullanılmıştır. Jeostatistik yöntem olarak "ordinary kriging" yöntemi tercih edilmiştir.

BULGULAR

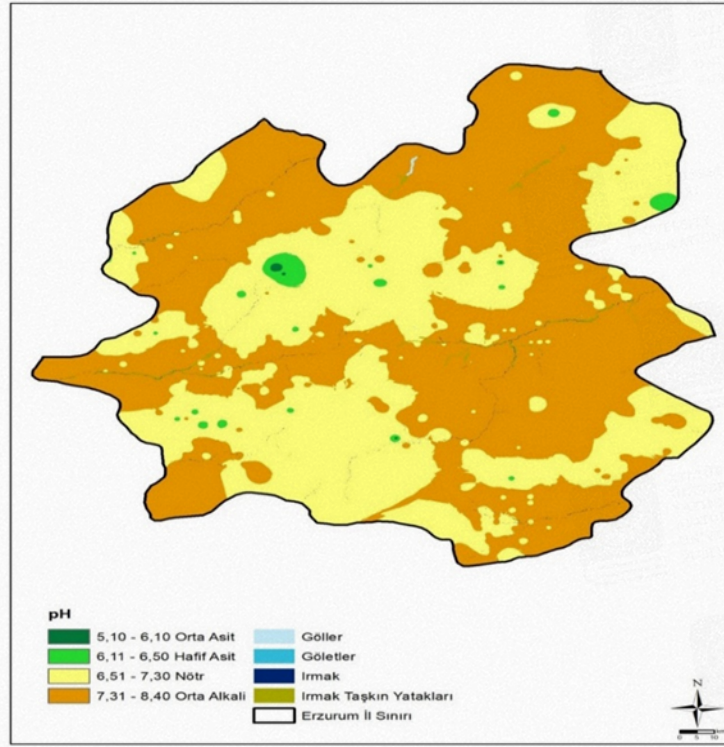
Erzurum İli Tarım Toprakların Bazı Verimlilik Özellikleri ve Dağılımları

Toprakların Reaksiyon (pH) Durumu

Erzurum ili topraklarının reaksiyon sınıflarına göre dağılımı Tablo 2'de, Erzurum topraklarının pH dağılımı haritası ise Şekil 1'de verilmiştir. Buna göre Erzurum ili topraklarının % 54'ü orta alkali, % 42'si nötr, % 4'ü hafif asit sınıfına girmektedir.

Tablo 2. Erzurum İli Topraklarının Reaksiyon Sınıflarına Göre Dağılımı

	Değeri	Tuzluluk Sınıfı	Toprak Sayısı	Dağılımı (%)
pH değeri	<5.1	Kuvvetli asit	0	0
	5.2-6.0	Orta asit	3	0
	6.1-6.5	Hafif asit	34	4
	6.6-7.3	Nötr	315	42
	7.4-8.4	Orta alkali	407	54
	>8.4	Kuvvetli alkali	0	0



Şekil 1. Erzurum topraklarının pH dağılımı haritası

Toprakta bitki besin elementlerinin alınabilirliği ve toprak mikroorganizmalarının faaliyetleri, birçok etkenin yanı sıra toprak pH'sı ile yakından ilişkilidir (Çengel, 2006). İncelenen topraklarda pH 5.8- 8.15 arasında değişmekte olup, ortalama pH değeri 7.33'dür.

Bitki besin elementi elverişliliğini olumsuz etkileyecek olumsuz toprak koşullarına neden olabilecek alanlarda toprak pH'sına göre uygun gübreleme ve gerekli tarımsal uygulamalar yapılmalıdır. Alkaliliğin görüldüğü yerlerde toprak reaksiyonunu iyileştirmek için toprağa jips ve kükürt verilebilir. Ayrıca drenaj kanalları açılarak topraklar su ile yıkanıp pH derecesi düşürülebilir.

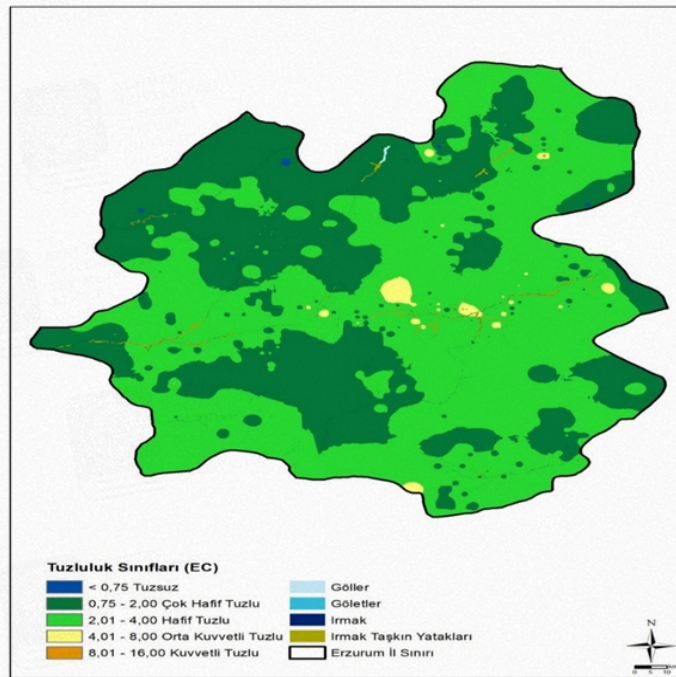
Toprakların Tuzluluk (EC) Durumu

Erzurum ili toprakları tuzluluk (EC) durumuna göre sınıflandırılmış ve dağılımları aşağıdaki Tablo 3'te, topraklarının EC dağılımı haritası ise Şekil 2'de verilmiştir. Toprakların tuz dağılımı incelendiğinde, % 2'sinin tuzsuz, % 37'sinin çok hafif tuzlu, % 57'sinin hafif tuzlu, % 4'ünün de orta kuvvetli tuzlu sınıfına girdiği görülmektedir.

Tablo 3. Erzurum İli Topraklarının Tuzluluk Sınıflarına Göre Dağılımı

	Değeri	Tuzluluk Sınıfı	Toprak Sayısı	Dağılımı (%)
EC (dS m ⁻¹ , 25 °C)	<0.75	Tuzsuz	14	2
	0.75-2	Çok hafif tuzlu	279	37
	2-4	Hafif tuzlu	433	57
	4-8	Orta kuvvetli tuzlu	31	4
	8-16	Kuvvetli tuzlu	2	0
	> 16	Aşırı tuzlu	-	-

İncelenen toprakların tuz içerikleri 0.24- 9.12 dS m⁻¹ arasında değişmekte olup, ortalama tuzluluk değeri 2,30 dS m⁻¹'dir. Topraklarının büyük bir kısmında tuzluluk sorunu bulunmamaktadır. Erzurum ilinde daha önceki yıllarda yapılmış çalışmalarda da bu bulguları destekleyen sonuçlar bulunmuştur (Özbek, 2003). Topraklarının büyük bir kısmında bitki yetiştiriciliği açısından herhangi bir tuzluluk sorunu bulunmamasının nedenleri; kaliteli sulama suyu kullanımı, derin taban suyu, ana materyalin yapısı, yağış ve kapalı havza bulunmayışı ile açıklanabilir.



Şekil 2. Erzurum topraklarının tuzluluk sınıfları (EC) dağılımı haritası

Toprakların Kireç Durumu

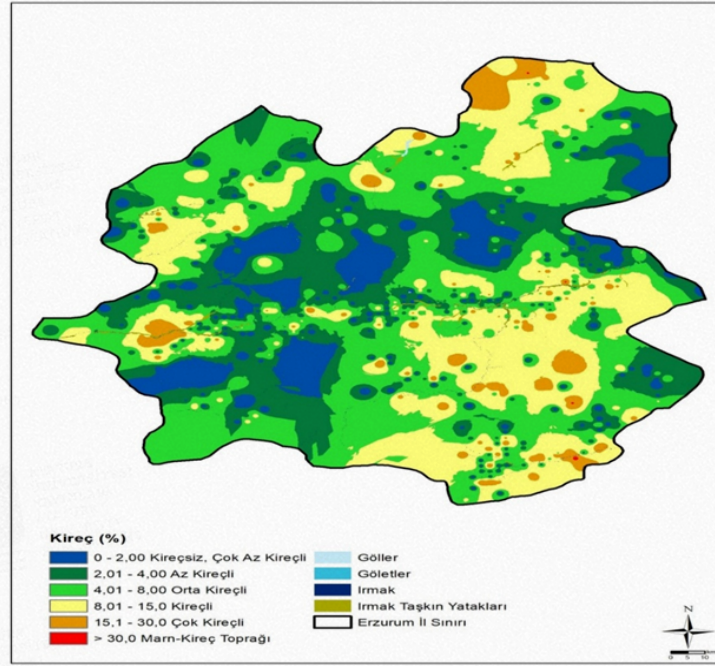
Toprakların kireç içerikleri % 0.05- % 36 arasında değişmekte olup ortalama kireç değeri % 6,44 olarak belirlenmiştir. Toprakların kireç sınıflarına göre dağılımı Tablo 4'te ve kireç içeriğini gösteren harita ise Şekil 3'de verilmiştir. Tablo 4 incelendiğinde, topraklarının % 38'i kireçsiz ya da çok az kireçli, % 12'si az kireçli % 18'i orta kireçli, % 22'si kireçli, %10'unun da çok kireçli sınıfına girdiği görülmektedir.

Tablo 4. Erzurum İli Topraklarının Kireç Sınıflarına Göre Dağılımı (%)

	Değeri	Sınıfı	Toprak Sayısı	Dağılımı (%)
% Kireç	0-2	Kireçsiz, çok az kireçli	288	38
	2-4	Az kireçli	86	12
	4-8	Orta kireçli	136	18
	8-15	Kireçli	168	22
	15-30	Çok kireçli	78	10
	> 30	Marn-kireç toprağı	3	0

Topraklarda belirli miktarlarda bulunan kireç, toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerinde olumlu etkide bulunurken, fazla miktarda bulunan kireç bitki gelişimi üzerinde olumsuz etkiler göstermektedir. Bu nedenle gerek toprak verimliliği gerekse de bitki istekleri yönüyle toprakta optimum miktarlarda kireç bulunması gereklidir. Çok sayıda çalışma sonucunda kimi bitkilerin belirli miktarlarda kireç içeren topraklarda iyi bir gelişme gösterebildiği bildirilmektedir.

Topraklarının yarısında kireç miktarı çok az ya da az miktardadır. Diğer yarısında ise, kireçli miktarı orta ve yüksek düzeydedir. Özellikle yetersiz ve yüksek düzeyde kireç içeren topraklarda sorunlarla karşılaşmamak için önlem alınmalıdır. Kireç miktarının yüksek olması da toprak verimliliğini sınırlamaktadır. Kireç içeriklerinin yüksek bulunması, ana materyalinin CaCO₃ içeriğinin fazla olması ve iklimsel özelliklere, özellikle de yağış miktarına bağlı olarak değiştiği düşünülebilir. Kireççe zengin topraklarda fosfor ve molibden gibi çözünlüğü düşük kalsiyum bileşiklerine dönüşmesi dışında Fe, Cu, Zn ve Mn gibi iz elementler de muhtemelen kireç içeriği normalin üzerinde olduğu toprak koşullarında bitkilere yararlılığı azalır, mevcutken bile bitki köküne geçişi engellenmiş olabilir (Yıldız, 2012). Gübreleme yaparken bu sorunlar dikkate alınarak mikro element gübrelemesi de yapılmalıdır.



Şekil 3. Erzurum topraklarının kireç dağılımı haritası

Toprakların Organik Madde Durumu

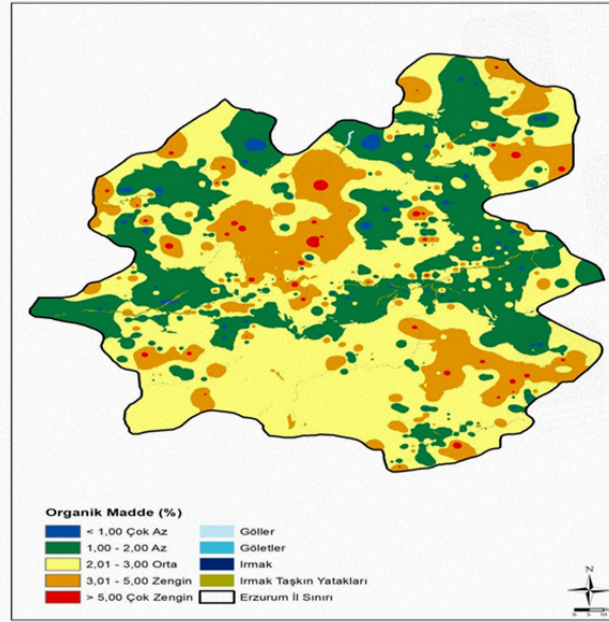
Erzurum ili topraklarının organik madde içerikleri % 0.48-7.34 arasında değişmekte olup, ortalama % 2.29'dır. Topraklar organik madde içeriği yönünden % 14'ü çok az, % 40'ı az, % 25'i orta, % 15'i zengin, % 6'sı ise çok zengin sınıfına girmekte olup (Tablo 5) olup toprakların organik madde durumunu gösteren harita Şekil 4'te verilmiştir.

Tablo 5. Erzurum İli Topraklarının Organik Madde Kapsamına Göre Dağılımı (%)

	Değeri	Sınıfı	Toprak Sayısı	Dağılımı (%)
Organik Madde (%)	<1.0	Çok az	103	14
	1.0-2.0	Az	299	40
	2.0-3.0	Orta	190	25
	3.0-5.0	Zengin	119	15
	>5.0	Çok zengin	48	6

Erzurum ili tarım arazilerindeki toprakların % 54'ü, organik madde bakımından yetersizdir. TOPRAKSU (1984)'ya göre Erzurum ili tarım topraklarının % 77'si organik madde bakımından yetersiz bulunmuştur. Organik madde bitkiler için önemli bir besin maddesi kaynağıdır. Topraktaki azotun %90'dan fazlasının toprak organik maddesinde bulunması nedeniyle, organik maddenin besin kaynağı işlevi ile azot açısından ayrı bir önem taşımaktadır (Altınbaş ve ark., 2004). Türkiye topraklarının % 75.6'sında organik madde miktarının az (Ülgen ve Yurtsever, 1974) olduğu dikkate alınır, azotlu gübre uygulamasının önemi ortaya çıkmaktadır. Ülkemiz topraklarının yaklaşık olarak % 64'ünde organik madde yeterli seviyenin altındadır. Bu duruma ilaveten toprakların % 23'ünü temsil

eden orta düzeydeki miktarın da hızla mineralize olduğu bu nedenle sürekli olarak organik madde ilavesine ihtiyaç duyduğunu kabul edersek; Ülkemizin topraklarının yaklaşık % 87 sinin organik madde yönünden yetersiz olduğu görülmektedir (Eyüpoğlu, 1999).



Şekil 4. Erzurum topraklarının organik madde dağılımı haritası

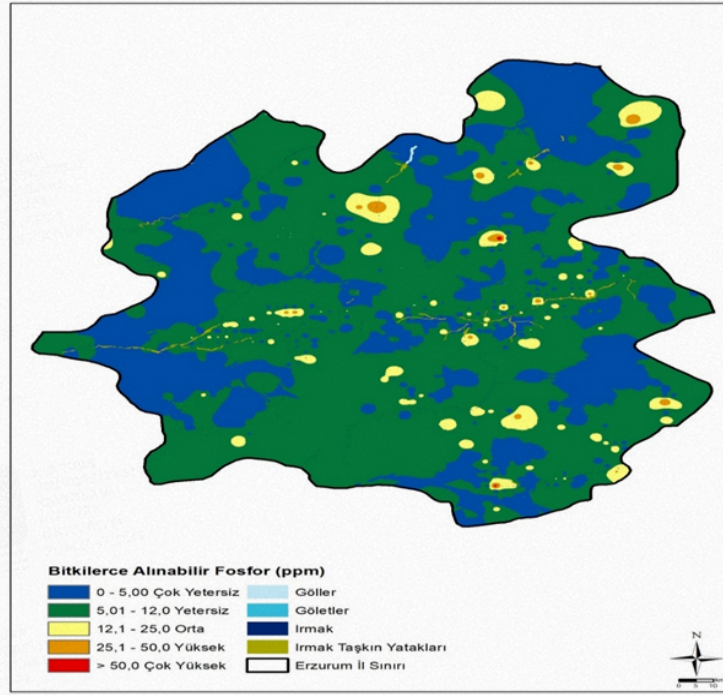
Organik madde toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirerek toprak verimliliğini etkileyen çok önemli bir etmendir. Toprak organik maddesini artırmak için gerekli tedbirler alınmalıdır. Analize dayalı gübre kullanımı teşvik edilerek toprakların bitki besin elementi ihtiyacı dozunda ve zamanında uygulanmalı, ekim nöbetlerinde kullanılacak bitki çeşitlerine, sürüm ve ekim tekniklerine dikkat edilmeli, yanmış ahır gübresi ve yeşil gübre kullanımına önem verilmelidir.

Toprakların Alınabilir Fosfor Durumu

Erzurum İl'inde alınan 759 adet toprak örneğinin Olsen metoduna göre alınabilir fosfor içerikleri 0.72 – 71.27 mg kg⁻¹ arasında değişmektedir. Topraktaki alınabilir fosfor miktarı ortalama 6.59 mg kg⁻¹'dir. Toprakların alınabilir fosfor bakımından % 57'si çok yetersiz, % 32'si yetersiz, % 9'u orta, % 2'si yüksek sınıfına girmektedir (Tablo 6). Erzurum topraklarının bitkilerce alınabilir fosfor dağılımı haritası ise Şekil 5'te verilmiştir.

Tablo 6. Erzurum İli Tarım Topraklarının Alınabilir Fosfor İçerikleri Dağılımı (mg kg⁻¹)

	Değeri	Sınıfı	Örnek Sayısı	Dağılımı (%)
Fosfor (P, mg kg ⁻¹)	<0-5.0	Çok yetersiz	432	57
	5.1-12.0	Yetersiz	241	32
	12.1-25.0	Orta	67	9
	25.1-50.0	Yüksek	17	2
	> 51	Çok yüksek	2	0



Şekil 5. Erzurum ili topraklarının bitkilerce alınabilir fosfor dağılımı haritası

Fosfor, bitkide çok önemli bazı organik bileşiklerin yapısında bulunur. Özellikle bitkinin ilk gelişim dönemlerinde oldukça etkili olup çiçeklenme, kök gelişimi, tohum ve meyve oluşumunda önemli rol oynar. Bitkilerde yeni hücrelerin oluşmasında, dokuların büyümesinde ve bitki bünyesindeki bazı organik bileşiklerin oluşumunda görev alır. Ayrıca bitkinin yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmesi için gerekli olan enerji metabolizmasında da fosfora ihtiyaç duyulur.

Fosfor hareketsiz bir gübre olduğu için topraktan alınması zor bir besin elementidir. Bitki besin maddeleri arasında bitkiye elverişlilik yönünden pH'dan en fazla etkilenen element fosfordur. Bu nedenle asitli topraklarda alkalin karakterli fosforlu gübreler, alkalin karakterli topraklarda ise asit özellikli fosforlu gübreler kullanılmalıdır. Erzurum ili topraklarının % 89'u fosfor bakımından yetersizdir. Erzurum ili topraklarında yapılan çalışmalarda fosfor miktarının yetersiz olduğu birçok araştırmacı tarafından da belirtilmiştir (Öztaş ve ark., 1997; Barik, 2011).

Araştırma toprakları genellikle bitki tarafından alınabilir durumdaki fosfor yönünden yoksuldur. Türkiye toprakları da bitkiye yararlı olabilecek haldeki fosfor bakımından yoksuldur. Türkiye topraklarının % 74,3'ün de fosforun yetersiz düzeyde olduğu dikkate alınacak olursa, fosforlu gübre kullanımının zorunlu olduğu anlaşılmaktadır (Ülgen ve Yurtsever, 1974). Topraklarımızdaki fosfor eksikliği sebebiyle, ülkemizde önemli miktarda fosforlu gübre tüketilmektedir. Uygulanacak gübre miktarının isabetli seçimi ekonomik kayıpların azaltılması bakımından önemlidir. Bu nedenle mutlaka toprak analizi yapılarak, gübrelemeden elde edilen fayda artırılmalıdır.

Toprakların Ekstrakte Edilebilir Potasyum Durumu

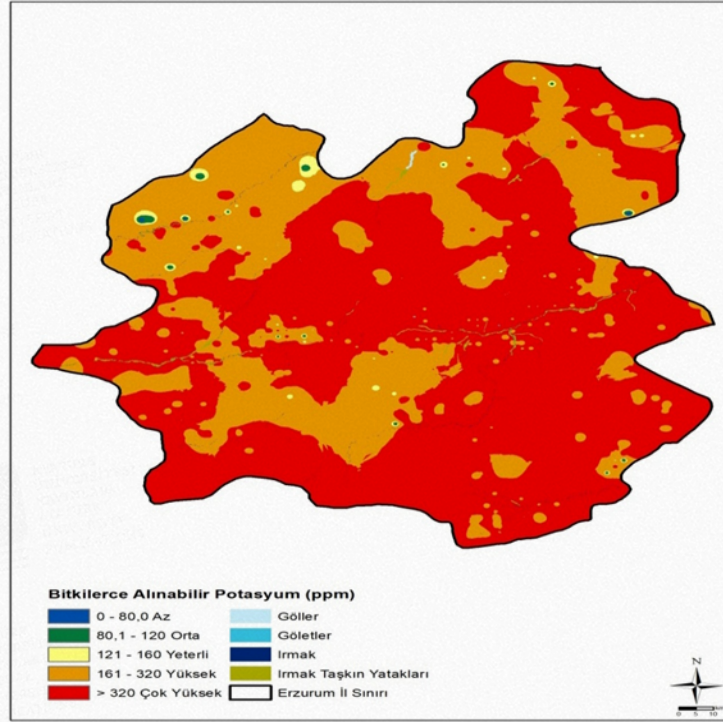
Erzurum ilinden alınan 759 adet toprak örneğinin amonyum asetatla ekstrakte edilebilir potasyum içerikleri 37 – 1965 mg kg⁻¹ arasında değişmektedir. Topraktaki potasyum miktarı ortalama 366 mg kg⁻¹'dir. Erzurum ili topraklarının ekstrakte edilebilir potasyum bakımından dağılımları Tablo 7'de; potasyum dağılım haritası ise Şekil 6 'da verilmiştir. Tabloya göre toprakların % 1'i az, % 1'i orta, % 3'ü yeterli, % 38'i yüksek, % 57'si çok yüksek sınıfına girmektedir.

Tablo 7. Erzurum İli Topraklarının Ekstrakte Edilebilir Potasyum İçerikleri Dağılımı, (mg kg⁻¹)

	Değeri	Sınıfı	Örnek Sayısı	Dağılımı (%)
Potasyum (K, mg kg⁻¹)	0-80	Az	7	1
	81-120	Orta	10	1
	121-160	Yeterli	22	3
	161-320	Yüksek	286	38
	> 320	Çok yüksek	434	57

Bitkiler tarafından en çok alınan elementler arasında ikinci sırada yer alan potasyum yer kabuğunun % 2.5'ünü oluşturmaktadır. Potasyum bitkilerde hayati öneme sahip metabolik, fizyolojik ve biyokimyasal işlevlere sahiptir. Bu işlevlerin etkisi sonucu bitkilerde ürün miktarı ve kalitesi artar. Potasyum bitkilerde kök gelişmesini ve büyümesini olumlu şekilde etkilerken bitkilerde yatmayı önler, soğuğa dayanıklılığı artırır, erkencilik sağlar, azotun etkinliğini artırır, hastalık ve zararlılara karşı dayanıklılığı olumlu şekilde etkiler. Bu etkinlikleriyle potasyum, ürün miktarı üzerine olumlu ve önemli etki yapar.

Erzurum ilinin topraklarının % 98'i, potasyum bakımından yeterlidir. Erzurum ilinin topraklarında önceki yıllarda yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar alınmıştır (Öztaş ve ark., 1997; Yıldız ve Bilgin, 2008; Barik, 2011). Ülkemiz topraklarının büyük bir çoğunluğu potasyum yönünden yeterli veya zengin bir durumdadır (Güçdemir, 2006). TOPRAKSU (1984)'ya göre Erzurum ili tarım topraklarında potasyum noksanlığına rastlanmamıştır. Tarım yapılan topraklarda üretim kaybı yaşanmaması için toprak analiz sonucuna göre potasyumlu gübre uygulanmalıdır.



Şekil 6. Erzurum topraklarının bitkilerce ekstrakte edilebilir potasyum dağılımı haritası

Topraklarının Arazi Durumuna Göre Sınıflandırılması ve Dağılımları Eğim Durumu

Erzurum ili tarım topraklarının alındığı arazilerin eğim ve taşlılık dağılımları da belirlenmiş olup aşağıdaki Tablo 8'de görülmektedir. Yapılan sınıflandırmaya göre, arazilerin % 46'sı düz ve düze yakın, % 19'u hafif eğimli, % 20'si orta eğimli, %10'u dik eğimli ve % 5'i de çok dik olarak belirlenmiştir.

Tablo 8. Topraklarının Alındığı Arazilerin Eğim Durumuna Göre Dağılımı (%)

	Değeri	Sınıfı	Toprak Sayısı	Dağılımı (%)
Eğim (%)	0-2	Düz ve düze yakın	346	46
	2-6	Hafif eğimli	141	19
	6-12	Orta eğimli	155	20
	12-20	Dik eğimli	80	10
	20-30	Çok dik	37	5
	> 30	Sarp	0	0

Taşlılık Durumu

Toprak örneklerinin alındığı arazilerin taşlılık durumu Tablo 9’da verilmiştir. Buna göre arazilerin % 2’si taşsız, % 77’si çok az taşlı, %17’si az taşlı % 4’ü çok taşlı olarak belirlenmiştir.

Tablo 9. Topraklarının Alındığı Arazilerin Taşlılık Durumuna Göre Dağılımı (%)

	Değeri	Sınıfı	Toprak Sayısı	Dağılımı (%)
Taşlılık (%)	0	Taşsız	13	2
	0-2	Çok az taşlı	589	77
	2-5	Az taşlı	126	17
	5-15	Yaygın taşlı	0	0
	15-40	Çok taşlı	31	4
	40-80	Çok aşırı taşlı	0	0

Kayalılık Durumu

Toprak örneklerinin alındığı arazilerin kayalılık durumu (çapı 60 cm ve üzeri çaplı kayalar) Tablo 10’da verilmiştir. Tablo 10’da Erzurum ilinin topraklarının alındığı arazilerin kayalılık durumlarına göre % 80’i çok az kayalı, % 20’si çok kayalı olarak belirlenmiştir.

Tablo 10. Toprakların Alındığı Arazilerin Kayalılık Durumuna Göre Dağılımı (%)

	Değeri	Kayalılık sınıfı	Toprak Sayısı	Dağılımı (%)
Kayalılık (%)	0	Yok	0	0
	0-2	Çok az kayalı	610	80
	2-5	Az kayalı	0	0
	5-15	Yaygın kayalı	0	0
	15-40	Çok kayalı	149	20
	40-80	Çok aşırı kayalı	0	0

SONUÇ

Tarımsal üretimin temeli topraktır. Hayvansal ve bitkisel üretimi oluşturan tüm maddeler topraktan sağlanır. Tarımda istenilen miktar ve kalitede ürünün elde edilmesinin birinci şartı, toprak verimliliğinin artırılmasıdır. Toprak verimliliğini arttırmada en önemli faktörlerden biri ise bitki besin elementleridir. Besin elementleri, bitki gelişiminin önemli bir parçası olup bir veya daha fazlasının noksanlığı verim ve kaliteyi olumsuz yönde etkilemektedir. Topraklardan en uygun verimi alabilmek için ise dengeli gübreleme yapmak ve bitki besin elementlerinin noksanlıklarını gidermek şarttır. Gübreleme amacıyla tarım alanlarına uygulanan bitki besin maddeleri, doğru yöntemlerle ve yeterli miktarlarda uygulandıkları takdirde toprak kirliliğine neden olmazlar. Ancak, bitki ihtiyacının çok üzerinde uygulanan ve topraktan kolayca uzaklaştırılmayan bazı besin maddeleri, diğer besin maddelerinin alınmasını engelledikleri için kirlenici unsur olabilirler. İstenilen

miktarda ve kaliteli ürün elde edebilmek için eksik olan veya bitkiler tarafından sömürülen besin elementlerinin toprağa geri kazandırılması gerekmektedir. Bilinçsiz ve yanlış yöntemler uygulanarak yapılan gübreleme hem ekonomik yönden maddi kayıp hem de toprakların doğal yapısının bozulması, dolayısıyla üretkenliklerinin azalması yönünden sakıncalıdır.

Erzurum ili tarım topraklarının geniş bir etüt çalışması kapsamında koordinatları belirlenerek alınan toprak örneklerinde belirlenen besin elementleri açısından verimlilik durumunun ortaya konması o yörede uygulanacak gübreleme programlarının düzenlenmesinde olduğu kadar, gübreleme denemelerinin planlanmasında da faydalı olacaktır. Bu şekilde söz konusu bölge topraklarının incelenen besin elementleri açısından yeterlilik durumları saptanarak, noksan ve problemlili sahalar ile yeterli ve uygun alanların belirlenebilmesi ve gerekli müdahalelerin planlanması mümkün olacaktır. Ayrıca bu çalışma ile toprakta incelenen parametreler ile oluşturulan dağılım haritaları, ilin tarım topraklarının genel özellikleri hakkında bilgi niteliğinde olup, yapılacak diğer araştırmalara önemli ön bilgi sağlayacak ve model oluşturacaktır.

KAYNAKLAR

- Altınbaş, Ü. Çengel, M. Uysal, H. Okur, B. Kurucu, Y. Delibacak, S., 2004. Toprak Bilimi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 557, İzmir.
- Anonim., 1984. Erzurum İli Verimlilik Envanteri ve Gübre İhtiyaç Raporu. Toprak Su Genel Müdürlüğü Yayınları. TOVEP Yayın No:33, Genel Yayın No:175, Ankara.
- Anonim.,(DMİ), 2014. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ERZURUM>
- Anonim, 2018a. <http://erzurumansiklopedisi.com/erzurum-cografik-ozellikleri/>.
- Anonim., 2018b. <http://bayburt.csb.gov.tr/cografik-yapisi-i-2616>.
- Barik, K., 2011. Ahır Gübresi Ve Pancar Küspesi İlavesinin Toprağın Bazı Özelliklerine Olan Etkisi. Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi (Journal of Agricultural Faculty of Atatürk University), 42 (2): 133-138.
- Çengel, M., 2006. Toprak Mikrobiyolojisi. Ege Üniv. Ziraat Fak. Yayınları No: 558, İzmir.
- Eyüpoğlu, F., 1999. Türkiye Topraklarının Verimlilik Durumu. KHGM Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Yayını Teknik Yayın No: T-67, Genel Yayın No: 220 Ankara.
- Güçdemir, İ., 2006. Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi. Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Ankara. Güncelleştirilmiş ve genişletilmiş baskı. Genel Yayın No: 213, Teknik yayın No: T69.
- Özbek, A.K., 2003. Karasu Ovası Topraklarının Tarım Potansiyelinin Belirlenmesi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 34 (4): 309-316.
- Öztaş, T. Aydın, A. Canbolat, M.Y., Akgül, M. Turan. M., 1997. Atatürk Üniversitesi Çiftliği Topraklarının Kimyasal Özelliklerinin İrdelenmesi, II. Kimyasal özellikler. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 1997, 28 (1): 49-63.
- Ülgen, N. Yurtsever, N., 1974. Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi. Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü, Teknik Yayınlar Serisi, Ankara, No:28.

Yıldız N, Bilgin, N., 2008. Erzurum Ovası Topraklarının Fosfor Ve Potasyum Durumunun Neubauer Fide Yöntemi İle Belirlenmesi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 39 (2): 159-165.

Yıldız, N., 2012. Bitki Beslemenin Esasları ve Bitkilerde Beslenme Bozukluğu Belirtileri. ISBN 978-605-62759-0-6, 1-477, Erzurum

ERZURUM İLİNDE BİTKİ BESLEMeye GENEL BAKIŞ VE YAŞANAN SORUNLAR

Ahmet Miraç DUMLU

Erzurum İl Tarım ve Orman Müdürlüğü Bitkisel Üretim ve Bitki Sağlığı Şube Müdürü,
ahmetmirac.dumlu@tarimorman.gov.tr

Özet

Dünya nüfusunun hızla arttığı günümüzde, beslenmenin önemi de artmaktadır. Gıdanın sosyal ve ekonomik açıdan önemi önümüzdeki dönemde daha sık gündeme gelecektir. Küresel iklim değişikliği, sel, kuraklık, orman tahribatı ekosistemi tehdit etmekte birlikte yer altı ve yer üstü sularında kirlenme, biyo çeşitlilikte azalmaya neden olmaktadır. Bilinçsizce yapılan sulama, ilaç ve gübre kullanımı toprağı verimsizleştirmektedir. Olumsuz etkenlerin baskısı su havzalarının kurummasına ve akarsularının yok olmasına neden olmaktadır. Dünya nüfusunun 30 yıl sonra 9 milyara ulaşacağı, Birleşmiş Milletlere bağlı Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) verilerine göre küresel ısınma seviyesinin 2 dereceyi geçmesi halinde dünyada açlık ve yoksulluk çeken insan sayısının daha da artacağı tahmin edilmekte ve insanların gıdaya ulaşımı ve beslenme gittikçe önem kazanmaktadır. Artan nüfus ile gelişen kentleşmenin artışı, sürekli kullanılan kimyasallarla tarım topraklarının üretkenliğini kaybetmesi, doğal afetler (deprem, sel, su baskınları vs.), çölleşme, erozyon ve tarım dışına çıkması gibi faktörlerin etkisi ile tarım alanları kayba uğramaktadır. Bu tehditler sonucu gıdaya ulaşım ve gıda güvenliği de tehdit altındadır. Son yıllarda yaşanan pandemi ve savaşlar gıdaya ulaşımın ne kadar önemli olduğunu da bir kez ortaya çıkarmıştır. Dünyada tarımsal üretimi etkileyen koşulların hızla değişmesi stratejik önceliklerimizi, Türkiye Yüzyılına uygun bir Tarım ve Orman vizyonu ile ortaya koymayı zorunlu hale getirmiştir. Bu vizyon; iklim değişikliği, nüfus artışı, göç hareketleri, jeopolitik riskler, doğal afetler, salgın hastalıklar, güvenilir gıda, toprak ve su kaynaklarının azalması ve kirlenmesi, küresel gıda arz güvenliği, gıda milliyetçiliği, gıda ticaretindeki korumacı eğilimler ve tarımsal girdi fiyatlarındaki istikrarsızlık gibi etkenler dikkate alınarak belirlenmiştir. ‘Yeni Normal’ olarak da adlandırdığımız bu dönemin zorluklarına tarım ve orman alanında sahip olduğumuz üretim gücüyle birlikte sürdürülebilirlik, verimlilik, kalite, kayıtlılık ve sektöre yatırımı artırarak cevap vereceğiz. Arz talep dengesini gözeterek planlı üretim yapısıyla, uluslararası rekabet gücünü artıran, ileri teknolojiye dayalı, altyapı sorunlarını çözmüş, verimliliği yüksek, sürdürülebilir bir tarım ve orman sektörünün oluşturulması temel amacımız olacaktır. Önceden olduğu gibi halkımızın güvenilir gıdaya erişimine, toprak ve su kaynaklarımız ile orman alanlarımızın korunmasına ve sürdürülebilir yönetimine özel önem verilecektir. Türkiye Yüzyılı “Üretimin ve Üreticinin Yüzyılı” yapmak için planlı, dirençli ve gelişime açık bir tarım sektörü oluşturulacak, kırsal alanların yaşam kalitesi ve refah seviyesi artırılacak, tarımsal girdi tedarikinde dışa bağımlılık azaltılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Tarımsal Üretim, Gıda güvenilirlik, sürdürülebilirlik, Bitki besleme, Nitrat, İyi tarım, Organik tarım

AN OVERVIEW OF PLANT NUTRITION IN ERZURUM PROVINCE AND PROBLEMS

Abstract

Today, when the world population is increasing rapidly, the importance of nutrition is also increasing. The social and economic importance of food will be on the agenda more frequently in the coming period. Global climate change, floods, droughts, forest destruction threaten the ecosystem and cause pollution in ground and surface waters and decrease in biodiversity. Unconscious irrigation, use of pesticides and fertilisers make the soil inefficient. The pressure of negative factors causes water basins to dry up and rivers to disappear. It is estimated that the world population will reach 9 billion in 30 years, and according to the data of the Food and Agriculture Organisation (FAO) of the United Nations, if the global warming level exceeds 2 degrees, the number of people suffering from hunger and poverty in the world will increase even more, and people's access to food and nutrition is becoming increasingly important. Agricultural areas are being lost due to factors such as increasing urbanisation with increasing population, loss of productivity of agricultural lands due to continuous use of chemicals, natural disasters (earthquakes, floods, floods, etc.), Agricultural areas are being lost due to factors such as desertification, erosion and out of agriculture. As a result of these threats, access to food and food security are also under threat. The pandemics and wars experienced in recent years have once again revealed the importance of access to food. The rapid change in the conditions affecting agricultural production in the world has made it necessary to put forward our strategic priorities with an Agriculture and Forestry vision suitable for the Turkish Century. This vision has been determined by taking into account factors such as climate change, population growth, migration movements, geopolitical risks, natural disasters, epidemics, reliable food, depletion and pollution of soil and water resources, global food supply security, food nationalism, protectionist tendencies in food trade and instability in agricultural input prices. We will respond to the challenges of this period, which we also call the 'New Normal', by increasing sustainability, productivity, quality, registration and investment in the sector with the production power we have in the field of agriculture and forestry. Our main goal will be to create a sustainable agricultural and forestry sector that increases its international competitiveness, is based on advanced technology, has solved infrastructure problems, has high productivity, and increases its international competitiveness with a planned production structure that observes the supply and demand balance. As before, special attention will be paid to the access of our people to reliable food, the protection and sustainable management of our soil and water resources and forest areas. In order to make the Turkish Century "Century of Production and Producer", a planned, resilient and open to development agricultural sector will be created, the quality of life and welfare level of rural areas will be increased, and foreign dependency in agricultural input supply will be reduced.

Keywords: Agricultural production, Food safety, sustainability, Plant nutrition, Nitrate, Good agriculture, Organic farming

GİRİŞ

Dünyada tarımsal üretimi etkileyen koşulların hızla değişmesi stratejik önceliklerimizi, Türkiye Yüzyılına uygun bir Tarım ve Orman vizyonu ile ortaya koymayı zorunlu hale getirmiştir. Bu vizyon; iklim değişikliği, nüfus artışı, göç hareketleri, jeopolitik riskler, doğal afetler, salgın hastalıklar, güvenilir gıda, toprak ve su kaynaklarının azalması ve kirlenmesi, küresel gıda arz güvenliği, gıda milliyetçiliği, gıda ticaretindeki korumacı eğilimler ve tarımsal girdi fiyatlarındaki istikrarsızlık gibi etkenler dikkate alınarak belirlenmiştir. ‘Yeni Normal’ olarak da adlandırdığımız bu dönemin zorluklarına tarım ve orman alanında sahip olduğumuz üretim gücüyle birlikte sürdürülebilirlik, verimlilik, kalite, kayıtlılık ve sektöre yatırımı artırarak cevap vereceğiz. Arz talep dengesini gözeterek planlı üretim yapısıyla, uluslararası rekabet gücünü artıran, ileri teknolojiye dayalı, altyapı sorunlarını çözmüş, verimliliği yüksek, sürdürülebilir bir tarım ve orman sektörünün oluşturulması temel amacımız olacaktır. Önceden olduğu gibi halkımızın güvenilir gıdaya erişimine, toprak ve su kaynaklarımız ile orman alanlarımızın korunmasına ve sürdürülebilir yönetimine özel önem verilecektir. Türkiye Yüzyılına “Üretimin ve Üreticinin Yüzyılı” yapmak için planlı, dirençli ve gelişime açık bir tarım sektörü oluşturulacak, kırsal alanların yaşam kalitesi ve refah seviyesi artırılacak, tarımsal girdi tedarikinde dışa bağımlılık azaltılacaktır.

Tarım ve Orman Bakanlığı bilindiği üzere kurumsal altyapısı, uzman personel ağı olarak ülke tarımına hizmet eden en güçlü kurumdur. Tarım ve Orman Bakanlığı’nın “Tarım, orman ve su kaynakları ile doğal ekosistemleri koruyarak, verimli ve sürdürülebilir tarımsal üretimi, yeterli ve güvenilir gıdaya erişimi ve kırsal kalkınmayı sağlamak amacıyla politikalar belirlemek ve uygulamak” misyonu gereği çalışmalarını yürüten Erzurum İl Tarım ve Orman Müdürlüğü il/ilçe teşkilatları ile birlikte kamu/özel sektör kuruluşları ve üniversiteler ile işbirliği içinde ilimiz tarım sektörüne hizmet etmektedir.

Erzurum İl Tarım ve Orman Müdürlüğü; ilin tarımsal kaynaklarının tarımsal kullanımı, sürdürülebilir bitkisel ve hayvansal üretim, güvenilir gıda üretimi ve erişilebilirliği, belirlenmiş gıda ve tarım politikaları çerçevesinde tarımsal üretim ve gıda piyasalarında etkili denetim ve düzenleme, halk sağlığını koruyucu tedbirler ile kırsal hayatın sosyo-ekonomik açıdan geliştirilmesi amacıyla; çiftçi eğitimi ve örgütlenmesi, bitki/hayvan hastalık ve zararlılarıyla ilgili mücadele ve karantina, tarımsal faaliyet gösteren kurum, kuruluş ve gıda üreticilerinin ruhsatlandırılması ve denetlenmesi, tarımsal işletmelere yönelik desteklerin etkinlik ve verimliliğinin sağlanması, tarımsal projelerin hazırlanması, uygulanması ve takibi ile biyolojik çeşitlilik ve gen kaynaklarının korunması faaliyetlerini yürüten yenilik ve gelişime açık bir kurum olup, 229 Mühendis, 142 Veteriner Hekim ve 282 diğer personel olmak üzere toplam 653 personelle çalışmalarını yürütmektedir.

İlimiz tarım sektöründe faaliyet gösteren, 123 adet Tarımsal Kooperatif, 21 adet Üretici Birliği, 19 adet Ziraat Odası, 3 adet Yetiştirici Birliği ve 2 adet Bölgesel Kooperatif Birliği bulunmaktadır.

Alan bazında, 25 Milyon da yüzölçümü ile ülke genelinde 4. Sırada bulunan Erzurum İli; 15,4 Milyon da Çayır Mera Alanı, 4,7 Milyon da Tarım Alanı ve 3,5 Milyon da

Orman Alanı ile birlikte bitkisel ve hayvansal üretimde faaliyet gösteren toplam 65 Bin işletme ile ülke genelinde tarımsal potansiyeli yüksek bir il olarak görülmektedir. Tarım alanlarımızın 3,7 Milyon Da lık kısmında tarla bitkileri, 20 Bin Da lık kısmında meyve, 15 Bin Da lık kısmında sebze üretimi yapılmakta olup, 320 Bin Da nadas ve 600 Bin da işlenemeyen tarım alanı bulunmaktadır. Erzurum İli hayvan varlığı, 696 Bin Büyükbaş, 878 Bin Küçükbaş ve 155 Bin Arı kolonisinden oluşmaktadır. Bunun dışında 37 tesiste kafes, 19 tesiste kara balıkçılığı faaliyeti yürütülmektedir.

Toprak ve su kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir kullanımı, toprak verimliliği, kirliliği, sağlığı ve bitki beslemede gübre ve toprak düzenleyicilerin bitki verim ve kalitesi üzerine etkinliği, kimyasal gübre kullanımında tasarruf sağlayacak alternatif yöntemler konusunda çalışmalar yürütülmektedir. Ayrıca tarımsal sulama ve arazi ıslahı, iklim değişikliği ve tarımsal ekoloji ile tarımsal mekanizasyon ve bilişim teknolojileri alanında çalışmalar yapılmaktadır.

Bitki Besleme Birimi Çalışmaları

Yeryüzündeki yaşam için toprak esastır ve tarımsal üretimin temel elementidir. Gıda güvenliği, beslenme hedefleri ve iklim değişikliğiyle mücadele için sağlıklı topraklara ihtiyaç vardır. Topraklarımız; gittikçe büyüyen şehirler, ormanların tahrip edilmesi, sürdürülebilir olmayan arazi kullanımı ve yönetim pratikleri, tuzlanma, evsel, tarımsal ve sanayi kaynaklı kirlilik, aşırı otlatma ve erozyon yüzünden büyük tehlike altındadır.

Sürdürülebilir toprak ve arazi yönetimi için; tarımsal üretim faaliyetinde bulunan üreticiler ile tüketicileri bilinçlendirmek, yatırımları teşvik etmek, denetim ve gözetim faaliyetlerini yürütmek önem arz etmektedir.

Bu kapsamda Erzurum İl Tarım ve Orman Müdürlüğü olarak, 09.06.2021 tarih ve 31506 mükerrer sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “Tarımda Kullanılan Gübrelerin Piyasa Gözetimi ve Denetimi Yönetmeliği” kapsamında kimyasal gübre denetim çalışmalarımız yürütülmektedir. İlimiz genelinde 62 adet Gübre Bayii ve 1 adet Leonardit kaynaklı Organik Toprak Düzenleyici Üreticisi bulunmaktadır.

2023 yılı içinde bayi ve üreticilere yönelik 97 adet denetim gerçekleştirilmiş olup, Bakanlığımız programı kapsamında 15 adet numune analize gönderilmiştir. 06.04.2017 tarih ve 30030 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan «Piyasaya Arz Edilen Gübrelerin İzlenmesine Yönelik Tebliğ» gereği ilimizde faaliyet gösteren 62 adet gübre bayimizde kamera sistemi mevcut olup, İçişleri Bakanlığı Güvenlik ve Acil Durumlar Koordinasyon Merkezi (GAMER) tarafından izlenmektedir. Gübrelerin piyasa gözetim ve denetiminin daha etkili yürütülebilmesi, gübreler ile ilgili daha sağlıklı politika geliştirilebilmesi ve daha etkin planlama yapılması amacı ile Bakanlığımızca uygulanan Gübre Takip Sistemi (GTS) üzerinden üretici/ithalatçıdan nihai tüketiciye kadar olan gübre hareketleri izlenmektedir.

Gübreleme Rehberleri

Araştırma sonuçlarına göre hazırlanmış olan ve uzun yıllardır gübre tavsiyelerinde kullanılan “Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi” TAGEM ve BÜGEM işbirliği ile

güncellenmiş ve 81 il için ayrı olmak üzere hazırlanmıştır. Rehber içerisinde ilgili il ve ilçesi için toprakların verimlilik durum haritaları, genel gübreler ve gübreleme bilgileri, gübreleme zamanı ve yöntemleri, illerde desteklenen bitkilerin gübre ihtiyaçları, verilmesi gerekli gübre miktarları tablolarını içerecek şekilde hazırlanmış ve BÜGEM tarafından İl Müdürlüğümüze gönderilmiştir. Söz konusu rehber, İl müdürlüğümüz eğitim ve yayım faaliyetlerinde kullanılmakla birlikte talep edilmesi halinde üreticilerimizle de paylaşılmaktadır.

Nitrat Kirliliği Çalışmaları

Bitkinin ihtiyacından fazla kullanılması ve bitkinin gübreden yararlanamadığı (ihtiyaç duymadığı) dönemde yapılan azotlu gübre uygulaması sonucunda oluşan fazla nitrat yağış ve sulama suları ile yıkanarak veya sızarak bitki kök bölgesinden uzaklaşır, yer üstü ve yer altı sularına geçerek kirliliğe neden olur. Sulardaki nitrat kirliliği büyük oranda tarımsal faaliyetlerden kaynaklanmaktadır. Bunlar; bilinçsiz sulama uygulamaları, bilinçsiz kimyasal gübre kullanımı, hayvansal gübrelerin yanlış depolanması ve kullanımı, tarım arazilerinin bilinçsiz kullanımı, bitki koruma ürünlerinin bilinçsiz kullanımıdır. Nitrat kirliliğinin oluşmasında en önemli etmenlerden biri gübrelerdir. Tarımsal üretimde verimliliği artırmak için gübrelerin aşırı ve bilinçsiz şekilde kullanımı sonucunda yerüstü ve yeraltı sularına bitki besin maddesi geçişi artmaktadır. Sularda nitrat kirliliği sağlık, çevre ve kamu hizmetleri açısından olumsuz sonuçlara neden olmaktadır.

Bu nedenle; Tarımsal kaynaklı nitratin suda neden olduğu kirlenmenin tespit edilmesi, azaltılması ve önlenmesine ilişkin usul ve esasların belirlenmesi amacıyla, 18 Şubat 2004 tarih ve 25377 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak, yürürlüğe girmiş olan ve 2016 yılında güncellenen “Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Yönetmeliği” kapsamında yürütülen çalışmalarda illerde yeraltı ve yerüstü sularında nitrat ölçümleri yapılarak ülkesel bazda nitrat kirliliğinin varlığı ve seviyesi belirlenmeye çalışılmaktadır. Erzurum ilinde, 78 adet yerüstü ve 15 yeraltı numune istasyonlarından üç ayda bir numune alınarak yapılan analiz sonuçları Bakanlığımız Nitrat Bilgi Sistemi (NİBİS) ne girilmektedir. Sistemin alt modülünde bulunan diğer parametreler (Hayvancılık verileri, Kimyasal Gübre Kullanım Verileri, Yerüstü/ yer altı sulama kütleleri v.b.) ile birlikte değerlendirilerek ülke genelinde Nitrata Hassas Bölgeler (NHB) belirlenmiştir. İlimizde Aziziye, Yakutiye, Narman, Pasinler, Köprüköy ve Karaçoban ilçelerimizde ki 25 mahalle NHB olarak tespit edilmiştir. Tespit edilen alanlarda faaliyet gösteren üreticilerimize Bakanlığımız tarafından belirlenecek olan program kapsamında 2024 yılı içinde eğitimler düzenlenecek olup, NHB de alınacak tedbirler hakkında üreticilerimiz bilgilendirilecektir.

Destekleme Çalışmaları

Ülkemizde bitkisel üretimi artırmak, verim ve kaliteyi yükseltmek, üretim maliyetlerinin karşılanmasına katkıda bulunmak, sürdürülebilirliği sağlamak, kayıtlılığı arttırmak ve çevreye duyarlı alternatif tarım tekniklerinin geliştirilmesine yönelik, çiftçilere destekleme yapılmasına ilişkin usul ve esasların belirlenmesi amacıyla, 26 kasım 2023 tarih ve 32381 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren “Bitkisel Üretime

Destekleme Ödemesi Yapılmasına Dair Tebliğ” kapsamında ilimiz genelinde 2023 Üretim Sezonu’nda üretilen Arpa, Buğday, Çavdar, Tritikale ve Yulaf için Mazot Gübre Desteği başlığı altında 46 TL/Da Gübre Desteği ve 30 TL/Da Katı Organik-Organomineral Gübre Desteği ödemesi yapılmıştır. Bununla birlikte toprak analizi yapılması halinde her 50 da alan için 50 TL destekleme ödemesi yapılmaktadır.

Kırsal Kalkınma Yatırımlarının Desteklenmesi Programı kapsamında; Katı Gübre Serpme Makinesi %50 oranında desteklenmektedir.

İyi Tarım Uygulamaları ve Organik Tarım Çalışmaları

İyi Tarım uygulamaları (İTU); çevre, insan ve hayvan sağlığına zarar vermeyen bir tarımsal üretimin yapılması, doğal kaynakların korunması, tarımda izlenebilirlik ve sürdürülebilirlik ile güvenilir ürün arzının sağlanması amacıyla yapılan bir tarımsal üretim biçimidir. İTU çiftlikten sofraya kadar uzanan bütün üretim ve pazarlama aşamalarını kapsar. İTU nin amacı; çevreye duyarlı, insan ve hayvan sağlığına zarar vermeyen, doğal kaynakları koruyabilen bir tarımsal üretim modeli oluşturmaktır.

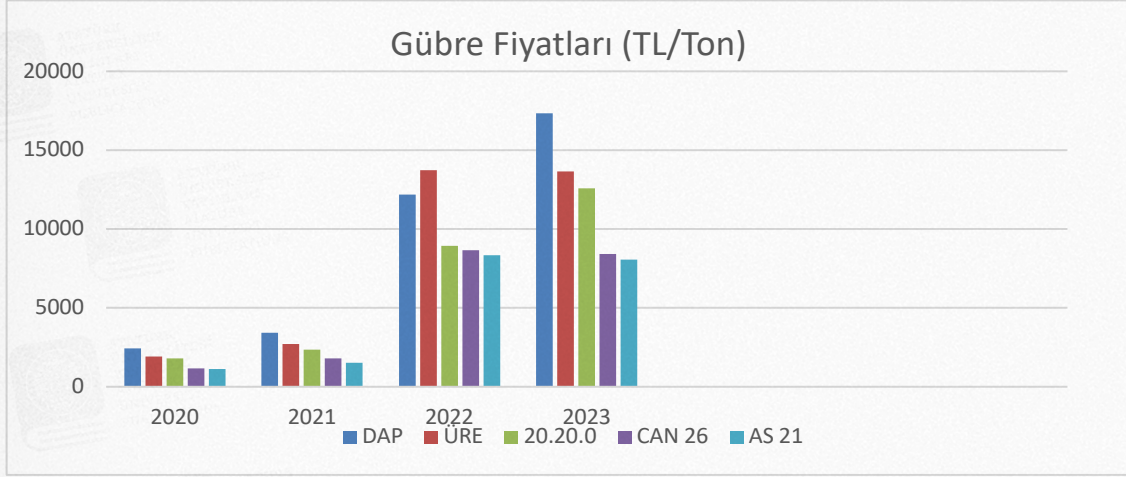
Organik tarım, insan sağlığına ve çevreye zarar vermeyen ve üretimde kimyasal girdi kullanılmadan, üretimden tüketime kadar her aşaması kontrollü ve sertifikalı tarımsal üretim biçimidir. doğal dengeyi koruyarak hava ve su gibi yaşamsal kaynakların ve doğal hayatın korunmasını amaçlayan bir üretim yöntemidir.

Bu doğrultuda; doğal kaynakların korunarak sağlıklı ve güvenilir gıdaya ulaşmak, sürdürülebilir tarımsal faaliyetin sağlanabilmesi için İyi Tarım Uygulamaları ve Organik Tarım modelinin ilimizde yaygınlaştırılması amacıyla Erzurum İl Tarım ve Orman Müdürlüğü olarak yürüttüğümüz projeler kapsamında; 2023 üretim sezonunda 6 ilçemizde 13 üretici ile 180 Da alanda proje uygulanmış olup, proje sonucunda 1.000 ton ürüne İTU Sertifikası alınmış olup, 8 ilçemizde 15 üretici ile yürüttüğümüz proje sonucunda 52,5 Ton Organik Bal üretimi gerçekleştirilmiştir.

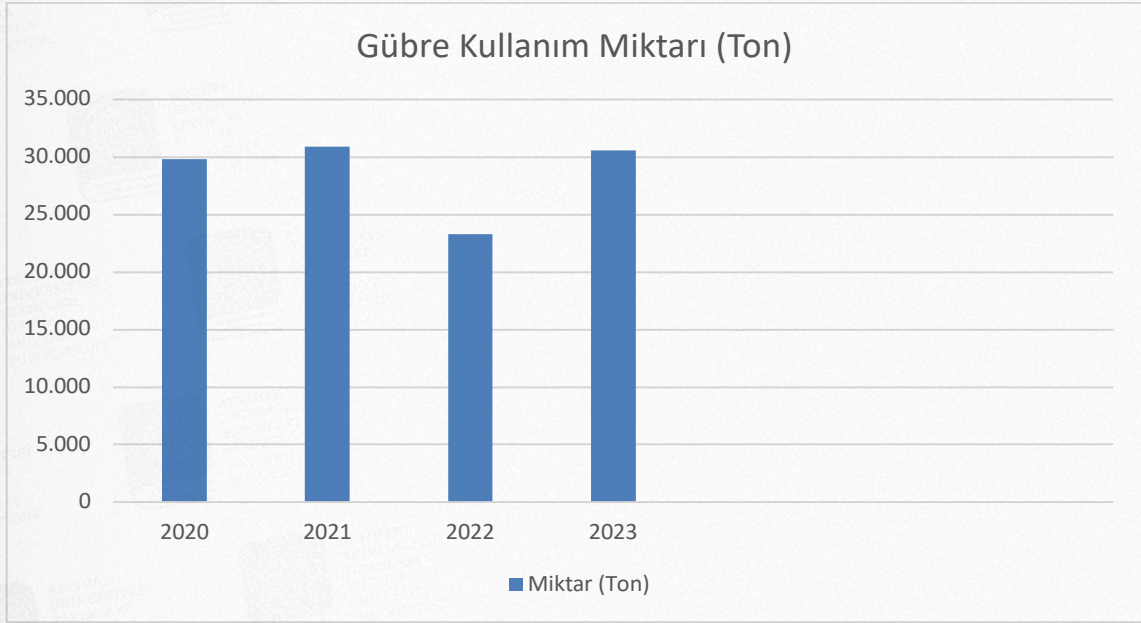
Gübre İstatistikleri

Bitkisel üretimde verim ve kalitede %50 düzeyine kadar artış sağlayan gübre en önemli girdilerden birisidir. İlimiz genelinde gübre fiyatları incelendiğinde 2022 ve 2023 yıllarında önceki yıllara göre %300 civarında artış olduğu görülmüştür. Ancak gübre kullanım miktarlarında bir değişiklik olmadığı tespit edilmiştir.

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)



Şekil 1. İlimizde 2020-2023 yılı gübre fiyatları



Şekil 2. İlimizde 2020-2023 gübre kullanım miktarları (Fiziki Toplam)

Üretici Alışkanlıkları

İl ve ilçe müdürlüklerimiz tarafından yürütülen izleme ve değerlendirme faaliyetleri sonucunda; verim kaygısıyla, fazla gübrelemenin verimi arttıracığı şeklindeki düşüncenin üreticilerde hala yaygınlığını sürdürdüğü, üreticilerin gübre kullanımında ve atacağı gübreye karar vermede genellikle kendi tecrübelerinden yararlandığı, işletmelerin çoğunun toprak analizi yaptırmadığı ve uygulama miktarlarının yeterli geldiğine inandığı, üreticilerin tohum seçimi, sulama, ilaçlama, makine kullanımı, gübreleme gibi temel girdiler konusunda ilk tercih ettiği bilgi kaynağını özel firmalar, ikinci derecede önemli bilgi kaynağı komşu, akraba ve çiftçiler olduğu tespit edilmiştir.

Çözüm Önerileri

Gübrelerin verimli bir şekilde kullanılması, dengeli ve ihtiyaçlar oranında verilmesi amacıyla; üreticilerin toprak ve bitki analizleri sonucuna göre gübre kullanması teşvik edilmelidir. Tarımsal üretim alanında faaliyet gösteren Sivil Toplum Kuruluşları ve yerel yönetimler tarafından bölgenin toprak ve bitki özellikleri de dikkate alınarak yeni toprak, bitki ve su analiz laboratuvarlarının kurulması gerekmektedir. Mevcut laboratuvarların kapasitenin artırılması, bitki analizleri ve mikro besin elementleri analizlerini yapabilir duruma getirilmesi için gerekli önlemler alınmalıdır. Gübre çeşitleri ve fonksiyonları düşünülmeden ekonomik nedenlerle gübre kullanımı önlenmelidir. Gübrelerin ekonomik seviyede kullanılmasını sağlamak amacıyla, tarımsal işletmelerin bölünmesi ve devamlı küçülmesini önlemek için, Erzurum ilinde yürütülen arazi toplulaştırması çalışmalarının tamamlanarak yaygınlaştırılması gerekmektedir. Gübrenin etkin bir şekilde kullanılması ve üreticilerin teknik bilgilerinin artırılması için üniversite, kamu ve özel sektör iş birliği ile yürütülecek eğitim ve yayım çalışmalarına önem verilmelidir. Organik ve İyi Tarım Üretim Modellerinin yaygınlaştırılması ile modern sulama sistemlerinin ve gübre uygulamalarında mekanizasyonun kullanılması gerekmektedir. İl/İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü personellerinin sahada üreticilerle birlikte olması sağlanmalıdır.

Erzurum İl Tarım ve Orman Müdürlüğü; Bakanlığımızın “Türkiye Yüzyılında; tarım, orman ve su kaynaklarında sürdürülebilir ve güvenli bir gelecek” vizyonuna uygun şekilde eğitim ve yayım faaliyetleri ile birlikte, demonstrasyon çalışmaları yürütmekte üreticilerimize sağlanan destekler ile ülkemizin tarımsal politikalarına yön vermektedir.

Teşekkür

Cumhuriyetimizin 100. Yılında ülke tarımının gelişmesi, doğal kaynakların korunması, verimli ve sürdürülebilir tarımsal üretimin devam etmesi, yeterli ve güvenilir gıdaya erişilmesi ile birlikte kırsal kalkınmanın sağlanması amacıyla özverili çalışmalarına devam eden bütün mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

KAYNAKÇA

TAGEM Gübreleme Rehberi, <https://erzurum.tarimorman.gov.tr/>

TOB, BÜGEM Gübre istatistikleri. <https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Bitkisel-Uretim/Bitki-Besleme-ve-Tarimsal-Teknolojiler/Bitki-Besleme-Istatistikleri>

TÜİK 2023. Türkiye Tarımsal Üretim Verileri. <https://tuik.gov.tr>

TC. Resmi Gazete “Bitkisel Üretim Destekleme Ödemesi Yapılmasına Dair Tebliğ”, <https://www.resmigazete.gov.tr>

SONUÇ BİLDİRGESİ

Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesinin ev sahipliğinde, 5-7 Aralık 2024 tarihleri arasında Erzurum’da **Dünya Toprak Günü Etkinliği** temalı ve özellikle Bitki Beslemede yeni paradigmlar, yeni nesil ürünler ve teknolojilerin ele alındığı **"Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme Ve Gübre Yönetimi Sempozyumu"** düzenlenmiştir.

Sempozyumda, 20 adet çağrılı Bildiri sunulmuştur. Sempozyum süresince “Bitki Beslemede yeni paradigmlar, yeni nesil ürünler ve teknolojiler hakkında güncel bilgileri aktarmak, tamamlanmış çalışmalara ait deneyimleri paylaşmak ve tartışmak amacıyla, yapılan sunumlar ve tartışmalar gerek yüz yüze ve gerekse online olarak, Bitki Besleme, Gübreleme ve ilgili konularda çalışan Akademisyenlerimiz, Tarım ve Orman Bakanlığı’mıza bağlı Araştırma Enstitüleri’imiz, Gübre Sektörü’nün mensupları ve konuya ilgi duyan herkese açık online (hibrit) dinleyicilerin katılımıyla, interaktif olarak gerçekleştirilmiştir. Sempozyum sonunda Öneriler ve bu önerilerin gerekçeleri son oturumda taslak olarak değerlendirilmiş ve elde edilen çıktılar sonuç bildirgesi konseptinde aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

Sempozyuma davetli konuşmacı olarak katılan bilim insanları ve Ziraat mühendislerinin bildirimlerin tamamı ve sonuç bildirgesi ulusal ve uluslararası erişimin mümkün olabileceği şekilde kamuoyuyla ve tüm bilim camiası ile paylaşılmak üzere elektronik olarak (E-KİTAP) yayımlanacaktır.

Sempozyuma büyük özverilerle katılan bilim insanları tarafından hazırlanan sempozyum sonuç bildirgesinde yer alan önerilerin en kısa zamanda gerçekleştirilmesi ve Ülkemizde GIDA MİLLİYETÇİLİĞİ dönemini hedeflediğimiz günümüz koşullarında, tarıma gönül veren herkes için yararlı bir kaynak olmasını ve tüm bilgilerin ilgili kişi ve kurumlara ulaşmasını diler, tarım bilimi camiasına hayırlı olması umuduyla katkısı olan herkese teşekkür ederim, saygılarımla

Prof. Dr. Nesrin YILDIZ
Sempozyum Başkanı
Düzenleme Kurulu A.

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

Hayati bir sektör olan tarımın gelişmesinde ve tarımsal üretimin birim alandan daha fazla verim alacak şekilde artırılmasında gübre, yani bitki besin maddeleri, kilit bir role sahip. Çünkü gübre, doğru ve dengeli bir şekilde kullanıldığında, sağladığı verim artışıyla gıda üretiminin ortalama % 60'ına doğrudan etki ediyor. Besin girdileri; gıda güvenliği, insan beslenmesi ve biyo-ekonomideki diğer kullanımlar için bitkisel üretim ve çiftlik hayvanlarının yetiştirilmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Bitki Beslemede yeni paradigma; Tüm paydaşların besin maddeleri yönetiminde salt ekonomik bir optimuma odaklanmaktan ziyade; çevre, sağlık, etik, hukuk ve sosyo-ekonomik maliyetleri veya bedelleri de dikkate alan bütüncül Bitki besleme yönetimi, diğer ifadeyle TOPLUMSAL BİTKİ BESLEME OPTİMUMU sağlamaya odaklanmak olmalıdır. Nitekim bu yaklaşım, düşük karbon emisyonlu, çevre dostu ve döngüsel bir ekonominin ayrılmaz bir bileşeni haline gelecek, artan küresel nüfusun gıda ve beslenme gereksinimlerini destekleyecek ve dünya çapında çiftçilerin gelir ve geçim kaynaklarını iyileştirecektir. Sorumlu bitki beslemenin yeni paradigması; geniş bir bilimsellik ve mühendislik bilgi birikimi yelpazesine sahiptir.

Bir gıda sistemi yaklaşımı olan “sorumlu bitki besleme” aşağıdakileri amaçlamaktadır:

1. Ekosisteme duyarlılık, kârlılık, üretkenlik, besin maddesi verimliliği ve çiftçilerin ve onları destekleyen işletmelerin dayanıklılığını sağlamak
2. Atıklardan besin maddesi geri kazanımının ve geri dönüşümünün artırılması ve diğer kaynak kullanımının minimize edilmesi
3. Toprak sağlığını iyileştirmek ve sürdürmek
4. Sera gazı emisyonlarını, biyoçeşitlilik kaybını ve besin kirliliğini en aza indirmek
5. Çevreye zarar vermeyecek ve ekolojik dengeyi koruyacak yöntemleri içermelidir.

Özetle, sorumlu bitki besleme; daha sağlıklı bir yaşam tarzına katkıda bulunacak, önceliği gıda üretimi ve tüketiminde doğayla olumlu ve uyumlu yaklaşım ilkesini hedeflemek olacaktır. Nitekim, bu yaklaşım; bilimsellik temeline dayalı olarak, temel agro-ekolojik ilkeleri entegre etmeyi amaçlamaktadır.

Kısacası, geleceğin bitki besleme çözümleri, daha sürdürülebilir bir küresel gıda sistemine geçişi ve tüm paydaşların besin maddelerini daha bütüncül bir şekilde yönetmesini gerektirmektedir. Bu bağlamda, önümüzdeki yıllarda özen gösterilmesi, revize edilmesi ve çözülmesi gereken sorunlar şunlardır:

1. Bitkisel ve hayvansal ürün yetiştirmede hayati öneme sahip olan tarım topraklarımızın sağlığını iyileştirmek için; düzenli olarak organik madde girdileri ile stabil toprak organik maddesi oluşturmak. Karbon ve besin girdileri, bitkisel üretimde toprak sağlığını iyileştirmek için önemli tetikleyicilerdir ve bu da tarım sistemlerinin aşırı iklim olaylarına karşı direncini artıracaktır. Nitekim topraklar, su arıtma, karbon tutma, besin döngüsü ve biyolojik çeşitlilik için habitat sağlama gibi diğer temel ekosistem hizmetlerini de desteklerler. Atmosferik CO₂'nin toprakta tutulması küresel ısınmanın azaltılmasına ve toprak sağlığının iyileştirilmesine katkıda bulunabilir, ancak stabil toprak organik maddesi oluşturmak için sürekli organik madde girdileri ve besin girdileri (özellikle azot ve fosfor) gerektirir.
2. Değişen koşullarda (küresel iklim değişikliği, aşırı hava olayları vb) küresel ısınma; kuraklık, sıcaklık veya yüksek radyasyon gibi bitkisel stres riskini artıracak ve bu

streslerin azaltılmasında “dengeli bitki besleme” özellikle büyük bir rol oynayacaktır.

3. Mahsul yetiştirme daha yüksek kaliteli, daha besleyici gıda sağlamak amacıyla yeniden gözden geçirilmelidir . Dünyanın başlıca ekim sistemleri kalori, protein ve bir dizi başka besin maddesi veya biyoaktif bileşik sağlamak üzere tasarlanmıştır. Örneğin, Dünyada 2 milyardan fazla insan mikro besin elementi (Fe, Zn vb) yetersizliğinin çeşitli biçimlerinden etkilenmektedir. Ayrıca ürün deseninde örneğin baklagilleri ihmal eden programlar uygulanmaktadır.
4. Besin maddelerinin izlenebilirliğini artırabilmek için, Örneğin, Dijital teknolojiler daha iyi bir sürdürülebilirlik için büyük bir potansiyel sunmaktadır, bunun için, tüm besin zincirini izleme, analiz, kıyaslama, raporlama ve genelinde sürdürülebilirlik çalışmalarının belgelendirilmesinde nasıl bir yol izlenileceği değişen toprak bitki ve iklim koşullarında denenmelidir. Bu konuda, gübrelerin Sürdürülebilir Kullanımı ve Yönetimi için veya Çevresel, Sosyal ve Yönetişim kriterleri ülkeler ve endüstri tarafından uygulanmalı mıdır ? Bu sürdürülebilir üretim konusunda ve besin maddelerinin kullanımında, yeni bir standarda ihtiyaç var mıdır ? Bu konular araştırılmalıdır.
5. Atıklardan besin maddesi geri kazanımının ve geri dönüşümünün artırılması ve diğer kaynak kullanımının minimize edilmesi.
Atıkların yönetilmesinde izlenecek yollar arasında;
 - g) Organik kökenli tarımsal atıklar kompostlanarak organik gübreye dönüştürülerek kullanılmasının yaygınlaştırılması,
 - h) Bitkisel ve hayvansal kökenli tarımsal atıkların piroliz işlemine tabi tutulmasıyla biyokömürlerin elde edilmesi ve elde edilen biyokömürün tarımda gübre, toprak düzenleyici olarak kullanılmasının teşvik edilmesi,
 - i) Toplanan atıklardan elde edilecek faydalı ürün olmadığı durumlarda atık bertaraf yöntemi devreye alınmalı ve atıklar bu amaca uygun tesislerde kontrollü koşullarda yakılması yoluna gidilmesi,
 - j) Atık yönetimi kapsamında eğitim çalışmalarının yapılması ve yaygınlaştırılması,
 - k) Çevre koruma bilincinin geliştirilmesi ve ilaç, gübre, sulama suyu vb. tarımsal girdilerin bilinçli bir şekilde ve optimum düzeyde kullanımının teşvik edilmesi, İlgili mevzuatların güncelleştirilmesi, genişletilmesi ve yaptırım gücünün artırılması gibi yöntemler sayılabilir.
6. Bitkisel üretimde birim alandan kaliteli ve bol ürün almanın en önemli unsurlarından birisi dengeli gübrelemedir. Dengeli gübreleme; toprak özelliklerine bağlı olarak bitkilerin ihtiyacı olan, toprakta noksan bütün bitki besin elementlerini uygun zamanda, uygun miktar ve formlarda ve uygun şekilde vermektir. Dengeli gübreleme için toprak ve bitki analizlerinin yapılması gerekir. Toprak analizleri ile topraktaki besin elementlerinin miktarları ve bu besin elementlerinin bitkilerce alımını etkileyen özellikleri belirlenirken, bitki analizleri toprak, bitki ve iklim özelliklerine bağlı olarak bitkilerin topraktaki besin elementlerinden yararlanma

durumu hakkında bilgi verir. Bu nedenle dengeli gübreleme için çoğu zaman toprak analizleri yeterli olurken, özellikle meyve bahçeleri ve seralar olmak üzere bazı durumlarda birbirlerinin tamamlayıcısı olarak toprak analizlerinin yanında bitki analizlerinin de yapılması gerekli olmaktadır.

7. Bugün ülkemizde gübreleme amaçlı toprak analizleri yapan laboratuvarlarla ilgili çok önemli sorunlar mevcuttur;

Çünkü ülkemizde yapılan çok sayıda araştırma sonucuna göre topraklarımızda K, Mg genellikle yeterli düzeyde olmasına rağmen bitki çeşidi, toprak özellikleri özellikle K, Ca ve Mg arasındaki dengeye bağlı olarak potasyumlu ve magnezyumlu özellikle de potasyumlu gübreleme yapılması önerilmektedir. Hatta meyve ve sebze yetiştiriciliğinde bazı durumlarda kalsiyumlu gübreleme yapılması bile önerilmektedir.

Bunun yanında mevcut zorunlu analizlere göre, azotlu gübre önerisi toprağın organik madde içeriğine göre yapılmaktadır. Ülkemizde azotlu gübreleme ile yapılan çalışmaların çoğunda topraklarımızda yıllardır bilinçsiz gübrelemeye bağlı olarak inorganik azot ($\text{NH}_4+\text{NO}_3^-$) birikimi olduğu belirlenmiştir. Nitekim ülkemizin farklı bölge topraklarında bitkiye faydalı azot miktarının tayininde kullanılabilir en uygun yöntemlerin belirlenmesi ile ilgili yapılan araştırma sonuçlarına göre Çukurova bölgesi, Gediz ovası, Iğdır ovası, Konya-Çumra ovası topraklarında $\text{NO}_3-\text{N}'u$ yönteminin en uygun olduğu bildirilmiştir. Ayrıca ülkemizde yapılan çok sayıda araştırma sonuçlarına göre topraklarımızın genel özelliklerine bağlı olarak başta Fe ve Zn olmak üzere mikro elementlerin (B, Mn, Cu) noksanlıkları, ayrıca başta bor olmak üzere bazı yerlerde de fazlalıkları çok yaygın olup bitkisel üretimde verim ve kalite üzerinde belirleyici olmaktadır.

Bu nedenlerle toprak analizine göre iyi bir dengeli gübreleme programının yapılabilmesi için mevcut zorunlu analizler listesine inorganik azot ($\text{NH}_4+\text{NO}_3^-$), elverişli Ca, elverişli Mg ve iz elementler (B, Fe, Zn, Mn, Cu) eklenmeli yani zorunlu tutulmalıdır.

Gübre destekleri: Toprak analizi sonuçlarına göre oluşturulan gübreleme programında kullanılan bütün gübreler destekleme kapsamına alınmalıdır. Uzmanlarca tavsiye edilen gübre çeşidi ve miktarı ile çiftçinin kullandığı gübre kontrol edilmelidir. 50 dekardan küçük alanlarda özellikle sebze üretimi yapanların gübre desteğini alabilmesi için toprak analizi zorunlu kılınmalıdır.

Laboratuvar denetimleri: Laboratuvar denetimleri artırılmalıdır. Referans toprak ve bitki örnekleri ile her yıl en az bir defa laboratuvarların analizlerinin doğruluğu test edilmelidir. İlk testte başarısız olan laboratuvarların uyarılmasından sonra yeniden aynı testten geçirilmeli ve yine başarısız olanların elemanlarının bir yerde ücretli eğitimi yapılmalı, sonra aynı test yeniden yapılmalı ve yine başarısız olan laboratuvarların yetkileri alınarak kapatılmalıdır.

Ayrıca laboratuvarların kullandığı cihazların her yıl kalibrasyonlarının yaptırılması sağlanmalıdır. Yanlış analiz ve gübre önerilerinden laboratuvarlar sorumlu tutulmalı ve bazı cezai yaptırım uygulanmalıdır.

Laboratuvar denetimlerini meslek hayatında belli bir süre laboratuvarlarda görev yapmış teknik personel, özellikle Toprak Bölümü Mezunu Ziraat Mühendisleri yapmalıdır. Bu konuda Ziraat Fakültelerinin Toprak Bilimi ve Bitki Besleme bölümlerinden destek alınabilir. Bölgesel referans laboratuvarları oluşturulmalıdır. Laboratuvarlar toprak analiz sonuçlarını, gübre önerilerini ve alımını yaptığı kimyasal sarf malzemeleri online olarak kaydetmelidir.

Tarımsal Laboratuvarlar Kurulu: Laboratuvarların denetimleri, laboratuvar açma-kapama veya diğer işlerle ilgili bütün tarafların (Bakanlık-TÜGEM-TAGEM, Ziraat Fakültesi-Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ziraat Odaları, Özel sektör) yer alacağı bir kurul oluşturulmalıdır. Bu kurul, üst kurul olarak Ankara'da ve illerde oluşturulabilir.

Analiz ücretleri: Analiz ücretlerinde bir standart getirilmelidir. Çünkü özellikle ziraat odaları ve özel laboratuvarlar bu konuda haksız rekabet yapmaktadırlar.

Laboratuvarların kapasitesi: Laboratuvarların mekân, donanım, eleman durumu ve günlük-aylık çalışma süresine göre analiz edebilecekleri maksimum örnek sayıları belirlenmelidir. Bu durumda laboratuvarların analiz yapmadan rapor yazmalarının önüne geçilebilir. Ayrıca kimyasal madde kayıt defterine sarf malzeme fatura numaraları eklenmelidir. Böylece harcanan sarf malzemeleri faturalarla karşılaştırılarak da yapılan analiz sayıları belirlenebilir.

Eğitim: Öncelikle Ziraat Fakültesi-Toprak Bilimi ve Bitki Besleme bölümleri ders programlarında öğrencilerin toprak, bitki, su ve gübre analizlerini ve buna göre en azından ülkemizde en fazla yetiştirilen bitkiler için dengeli gübreleme programlarının oluşturulması, laboratuvar yönetimi konularında yeterli bilgileri alacak düzenlemeler yapılmalıdır. Laboratuvar elemanlarının her yıl toprak, bitki, su ve gübre analiz sonuçlarının yorumu ve gübre önerileri konusunda eğitime katılmaları zorunlu kılınmalıdır. Bu konuda Ziraat Fakültesi-Toprak Bilimi ve Bitki Besleme bölümlerinden destek alınmalıdır. Ayrıca çiftçiler de toprak, bitki, su ve gübrelerden örneklerin alınması, muhafazası, taşınması ve bunların analizleri ile analize dayalı gübreleme konularında eğitilmeli ve demonstrasyon çalışmaları yapılmalıdır.

8. Bitki analizleri: Dengeli gübreleme için çoğu zaman toprak analizleri yeterli olurken, özellikle meyve bahçeleri olmak üzere bazı durumlarda birbirlerinin tamamlayıcısı olarak toprak analizlerinin yanında bitki analizlerinin de yapılması gerekli olmaktadır. Bu nedenle toprak analizleri gibi bitki analizleri de desteklenmelidir.

Artan nüfusu beslemek ve gıda güvenliği bakımından kimyasal gübre üretimi ve tüketimi kaçınılmazdır. Ancak çevre sorunların çözümü ve ekonomik nedenlerle kimyasal gübrelerle uygulanan besin elementlerin alım etkinliğinin artırılarak kimyasal gübre tüketimimiz belli oranlarda azaltılmalıdır. Gübrelerle topraklara uyguladığımız besin elementlerinin bitkilerce alım etkinliği de çok düşük düzeydedir. Bu durum başta topraklarımızın organik madde eksikliği olmak üzere toprak özellikleri, gübre özellikleri, gübrelerin uygulama zamanı, uygulama

şekli, uygulama miktarı, iklim ve bitki özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Gübrelerle uygulanan besin elementlerinin etkinliğinin kompoze gübreler, inhibitörlü gübreler, mikrogranül gübreler, yavaş çözünür gübreler, organomineral gübreler, biyoorganomineral gübreler, mikrobiyal gübreler, sıvı gübreler, nano gübrelerin kullanımı gibi yeni yaklaşımlarla artırılması hedeflenmektedir. Nitekim son yıllarda ülkemizde de kompoze gübreler, inhibitörlü gübreler, mikrogranül gübreler, yavaş çözünür gübreler, organomineral gübreler ve mikrobiyal gübrelerin kullanımı her geçen yıl artmaktadır. Ancak kompoze ve organomineral gübrelerdeki Zn'nun bitkilerce hiç alınamaması, organomineral gübrelerdeki fosforun suda çözünürlüğünün düşüklüğü başta olmak üzere bu gübrelerdeki bazı sorunlara bağlı olarak besin elementlerinin etkinliğinin artırılması mümkün olmamaktadır.

9. Türkiye'de yürürlükte olan gübre yönetmelikleri küçük farklılıklar dışında, AB'nin 2019/10092 sayılı yönetmeliği ile benzerlikler taşımaktadır. Ancak (AB) 2019/10092 sayılı yönetmelikte tanımlanan CE gübre işareti, yalnızca gübrelerin pazarlanması söz konusu olduğunda devreye giren bir kavramdır. Gübreleme önerileriyle doğrudan bir ilişkisi yoktur.

Türkiye'de birim bitkisel üretim alanı başına toplam N, P ve K kullanımı dünya ülkeleri ortalaması ile hemen hemen aynıdır. Ayrıca, Türkiye'ye benzer toprak ve çevre koşullarına sahip Yunanistan, İtalya, İspanya ve Portekiz ile kıyaslanabilir düzeydedir. Bölgesel ve kentsel farklılıklar olmakla beraber, birkaç il dışında çok yüksek düzeyde gübre kullanılmamaktadır. Elbette ki o ildeki gübre satış rakamlarından hesaplanan toplam N, P ve K değerlerinin o ilin toplam tarım alanına bölünmesiyle hesaplanan bu kullanım değerleri mutlak doğruyu yansıtmamaktadır. Bunun için kullanılan gübre istatistiklerinin çok iyi kayıt altına alınması gerekir.

Birim alan başına N ve P kullanımı dünya ortalaması ile karşılaştırılabilir ve hatta P için daha da yüksek olmasına rağmen, K kullanım oranı dünya ortalamasının çok altındadır.

Türkiye'de Toprak, Bitki ve Sulama Suyu Analiz Laboratuvarları Tarım ve Orman Bakanlığı'na bağlı olarak faaliyet göstermektedir. Ancak bağımsız hareket edebilmeleri, özellikle analiz sonuçlarının doğru yorumlanması ve gübreleme önerilerinin hazırlanması konularında yaşam boyu öğrenme ve iç dinamiklerle beyin fırtınası faaliyetleri yoluyla yetkinlikleri artırılmalıdır.

Laboratuvarların toprakta mineral N analizi konusunda yetkin hale getirilmesi gerekmektedir. Bu sayede, N uygulama dozlarının belirlenmesinde önemli bir engel aşılmış olunacaktır.

Ancak mineral N ve N'lu gübre önerileri için toprak testi sonuçları arasındaki ilişkiyi netleştirme amacıyla yapılan çalışmaların Türkiye'de çok az olduğu unutulmamalıdır.

Özellikle, sera ve açık tarla sebze üretiminde ve yağışın az olduğu alanlardaki tarla bitkileri yetiştiriciliğinde N uygulama oranlarının topraktaki mineral N seviyesine göre ayarlanması için çalışmalar yapılmalıdır.

Hasat edilen kısımlar veya hasat artıkları ile tarladan uzaklaştırılan besin elementleri, önceki bitkiden kalan toplam veya mineralize olabilen besin elementi kaynakları dikkate alınarak veya ilave olarak organik kaynaklar da kullanılarak gübreleme önerileri yapılmalıdır.

Fosfor önerileri için Avrupa ülkeleri tarafından yaygın olarak kullanılan stratejiye benzer bir strateji belirlenmelidir.

Potasyum bitkilerin verim, kalite ve raf ömürleri açısından çok önemli olduğundan, özellikle meyve ağaçları, sebzeler ve K'u çok tüketen mısır, şekerpancarı, patates gibi tarla bitkilerinin gübrelemesinde tarladan uzaklaştırılan kadar K'un uygulanması sağlanmalıdır.

Türkiye İstatistik Kurumu'ndan bir bölge için elde edilen herhangi bir ürünün ortalama verim değerine bağlı olarak gübreleme programlarının hazırlanması entegre besin elementi yönetimi uygulamalarına uygun olmayacağından tercih edilmemelidir. Ek olarak, bu durum genotipik farklılıkları da dikkate almamaktadır. Bir bölge ya da ilçe için sabit bir verim seçmek yerine, kullanıcıların her bitki için farklı verim düzeylerinde öneriler almalarını sağlayacak bir yaklaşım benimsemek daha uygun olacaktır.

10. Yenilik içeren gübre teknolojileri tarımsal üretimde bitki beslemenin geleceğini önemli ölçüde şekillendirecek nitelikte görünmektedir. Bu teknolojiler, bitkinin yapısına uygun hassas ve daha etkili şekilde bitki besin maddelerini sağlayabilecek nitelikte olmalarının yanında, gübre uygulamalarının çevresel etkilerini de azaltma ve tarımsal verimliliği artırma potansiyeline sahip olacaktır. Bu açıdan değerlendirildiğinde dijital tarım teknolojileri, çoklu mikro besin element gübrelere, mikro organizmaların gübrelere kullanımı, yapay zekanın kullanımı, veri analitiği, nano teknolojik ürünler, uzaktan algılama ve izleme teknikleri kullanılarak tarımsal üretimde bitki besleme daha sürdürülebilir ve verimli hale geleceği öngörülebilir. Ancak bu teknolojilerin ve yenilikçi preparatların geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması için etik, ekonomik, sosyal ve çevresel faktörlerin birlikte değerlendirilmesi gerekli olduğu ifade edilebilir. Bununla birlikte üreticilerin ve uzmanların eğitimi, yenilikçi ürün ve teknolojilerin üreticiler açısından maliyet etkinliği, üreticilerin bu teknolojilere ve ürünlere erişim eşitliği gibi faktörlerin de ön plana çıkacağı öngörülmektedir.

Değişen tarımsal üretim paradigması bağlamında sürdürülebilir bitki beslemenin geleceği, teknoloji ve yenilikçi ürünlerin kullanımının toprak sağlığı, doğal kaynakların, biyoçeşitliliğin ve ekosistemin korunması ile verimin optimizasyonu üzerinde temellenecektir

11. Toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübrelere, sürdürülebilir tarım ve gıda güvenliği için önemli fırsatlar sunarken, bunların çeşitli bölgelerde ve tarım sistemlerinde optimize edilmesi ve entegrasyonu için önemli zorluklar da içermektedir. Bu nedenle, veri ve bilgi erişilebilirliğini ve kalitesini artırmak, ilgili paydaşlar arasındaki bilgi ve farkındalığı artırmak ve toprak mikroorganizmaları ile yeşil gübrelere için politika ve düzenlemeleri iyileştirmek, bu etkileşimlerin ve etkilerin

artırılmasına katkıda bulunabilir ve nihayetinde tarımsal üretim ve sürdürülebilirlik için faydalı olabilir. toprak mikroorganizmaları ve yeşil gübrelerin sürdürülebilir tarım ve gıda güvenliği için önemli katkılar sağlayabileceğini belirtirken, ilişkilerin ve belirsizliklerin dikkatlice değerlendirilmesi ve yönetilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Teknik, sosyal ve kurumsal zorluklarla başa çıkma adına öneriler sunulurken, gelecekteki araştırma alanlarına ışık tutulmaktadır

12. Gübre dağıtma makinelerinin kullanımı, verimli ve etkili gübreleme için önemli bir unsurdur. Gübre dağıtma makineleri, gübrenin eşit ve doğru bir şekilde uygulanmasını sağlamaya yardımcı olur, bu da verimi artırabilir ve çevresel etkiyi azaltabilir.

Ülkemizde farklı tipte gübre dağıtma makineleri kullanılmaktadır ama bu alandaki çeşitlilik ve makine sayısı özellikle çiftlik gübresi dağıtma makineleri açısından yetersizdir. Bu bağlamda Tarım ve Orman Bakanlığımızın Kırsal Kalkınma Desteklerinde yer alan Makine Ekipman Hibe Desteklerinde Gübre Dağıtma Makinelerine öncelik verilmesi önemlidir. Ayrıca, çiftçilerimize gübrelemede doğru makine kullanımı, bakımı ve kalibrasyonu konusunda eğitim ve bilgi sağlanması son derece önemlidir. Özellikle makinelerinin kalibrasyonu ve bakımı zamanında yapılmalı ve bu konularla ilgili gerekirse teknik destek sağlanmalıdır.

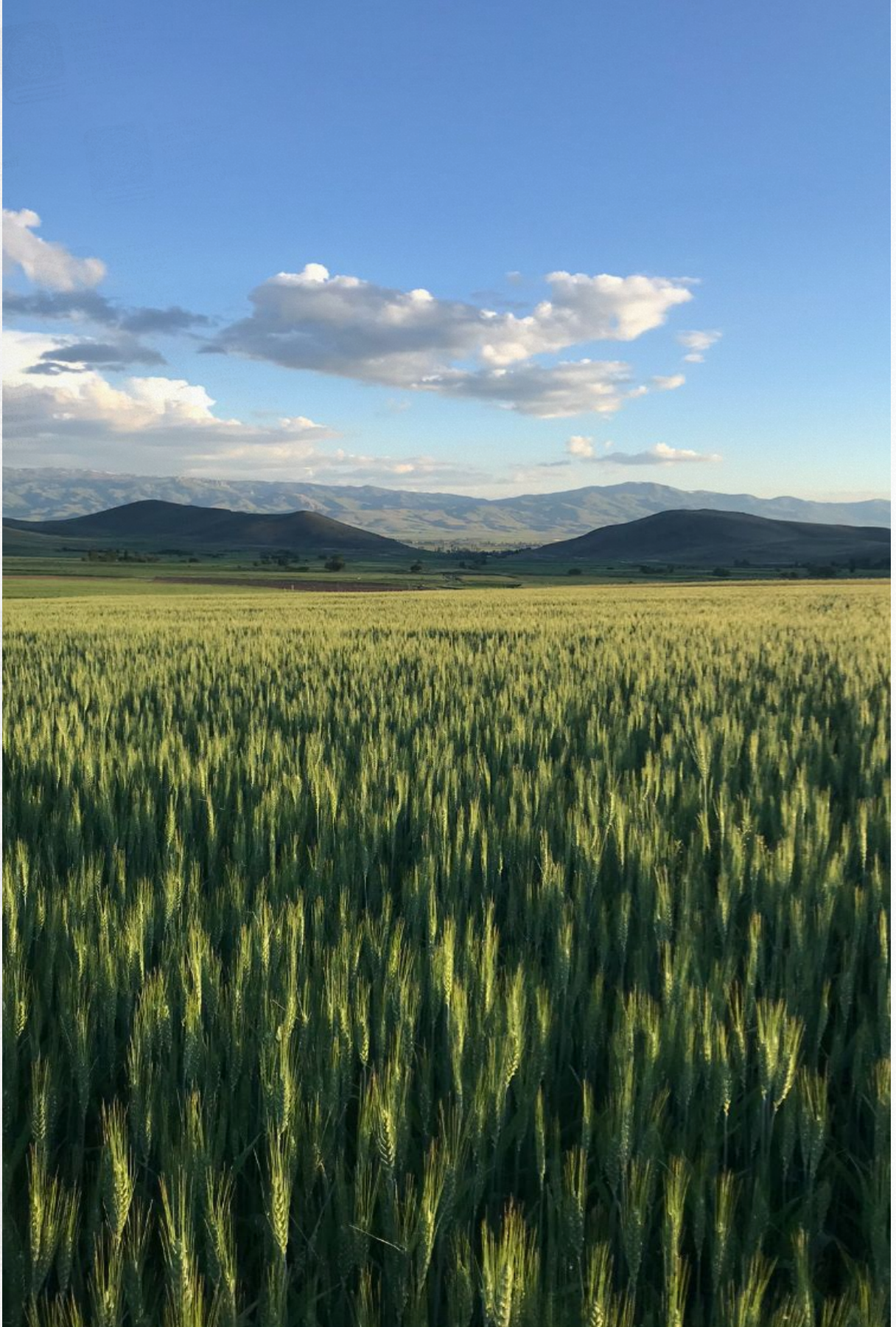
Akademik olarak ise; ülkemizde gübrelemede mekanizasyon üzerine yapılan araştırmalar son derece kısıtlı olup bu konuda yapılacak çalışmaların artırılması hem mevcut makinelerinin daha etkin kullanımı, hem de makine çeşitliliğinin artırılması açısından katkı sağlayacaktır.

13. Akıllı-dijital tarım uygulamaları, tarım alanlarından elde edilen bilgiler ve verilerin çeşitli sensör, kamera veya sistemlerden gerçek zamanlı olarak toplanması, elde edilen verilerin geliştirilen yazılımlara iletilmesi, verilerin yazılımlar ile analiz edilmesi, verilerin depolanması ve veriye bağlı işlemlerin yönetilmesi ve analiz edilmesi aşamalarından oluşmaktadır. Akıllı tarım uygulamaları ile toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri, bitki besin elementleri, toprak nemi gibi toprak özellikleri ve bu özelliklerin değişimi ile su kaynakları ve arazi kullanımı, bitki örtüsü indeksleri, bitki türleri, bitki verimi vb. bilgiler kolaylıkla elde edilebilmektedir. Böylece daha verimli ve daha kaliteli üretim için daha etkin yönetim kararlarının alınması, girdi kullanımının iyileştirilmesi, işletmenin verimliliğinin en üst düzeye çıkarılmasına yardımcı olmaktadır. Ancak akıllı tarım uygulamaları, çeşitli donanım ve yazılımların kullanıldığı farklı düzeylerde teknik ve teknolojiyi gerektirmektedir. Tüm bu teknolojilerin bir veya birkaçını kullanabilme imkanı, günümüz şartlarında teknolojinin pahalı olması veya ekonomik krizler gibi ekonomik nedenlerin yanında teknolojiye ulaşım ve çiftçilerin eğitilmiş olması gibi teknik ve sosyal olarak zorluklar içerebilmektedir. Çiftçi veya tarımsal işletmeler imkan ve olanakları dahilindeki akıllı tarım uygulamalarını kullanmaya çalışabilir. Akıllı tarım uygulamalarının kullanılıp kullanılmayacağına karar vermede temel belirleyici kriter, uygulama sonucunda

ekonomik ve çevresel fayda sağlanıp sağlanmadığının değerlendirilmesi olmalıdır. Akıllı tarım konseptinde hassas tarım; **Bilgi, Teknoloji, Yönetim** unsurlarına dayandığı için bu konuda bütünsel yaklaşım son derece önemli bir yere sahiptir.

14. Bitki besleme teknolojilerinin daha hassas ve verimli hale gelmesi, sürdürülebilir tarımsal uygulamalar için sürdürülebilir bitki besleme uygulamalarının tasarlanması, bitki beslemede yenilikçi yaklaşımların ortaya çıkması, çevre dostu uygulamaların değerlendirilmesi, dijital tarım teknolojilerinin bitki besleme uygulamaları, iklim değişikliğinin bitki besleme üzerine yaptığı baskı, bitki beslemenin toplumsal sorumluluk ve adalet üzerindeki etkisi, eğitim ve bilinçlendirme çalışmalarında beklenen yenilikleri üzerinden şekillenecektir.
15. Bitki besleme ve gübreleme teknikleri açısından düşünüldüğünde sürdürülebilirlik ve etik değerlerin ön plana çıktığı bir gelecek öngörülmektedir. Tarımsal üretimin ve gıda sistemlerinin her aşamasında, sağlıklı, ekosisteme duyarlı, adil bir üretim için yapılan çalışmaların etik boyutu mutlaka göz önüne alınmalı ve değerlendirilmelidir.
16. Bitki besleme sadece verimli bir tarımsal üretim açısından değil yakın gelecekte gıda sistemlerinin bir parçası olarak ele alınarak, gıda güvenliği, doğal kaynakların korunması, çevresel kirliliğin önlenmesi, yerel ve döngüsel ekonomi modelleri, küresel iklim değişikliğine direnç sistemlerinin bir bileşeni olarak gıda sistemlerinin bir parçası olarak meselesi üzerinden de değerlendirileceği için konunun sadece bilimsel değil, etik, sosyolojik ve politik boyutu da birlikte ele alınmalıdır.

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi
(Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)



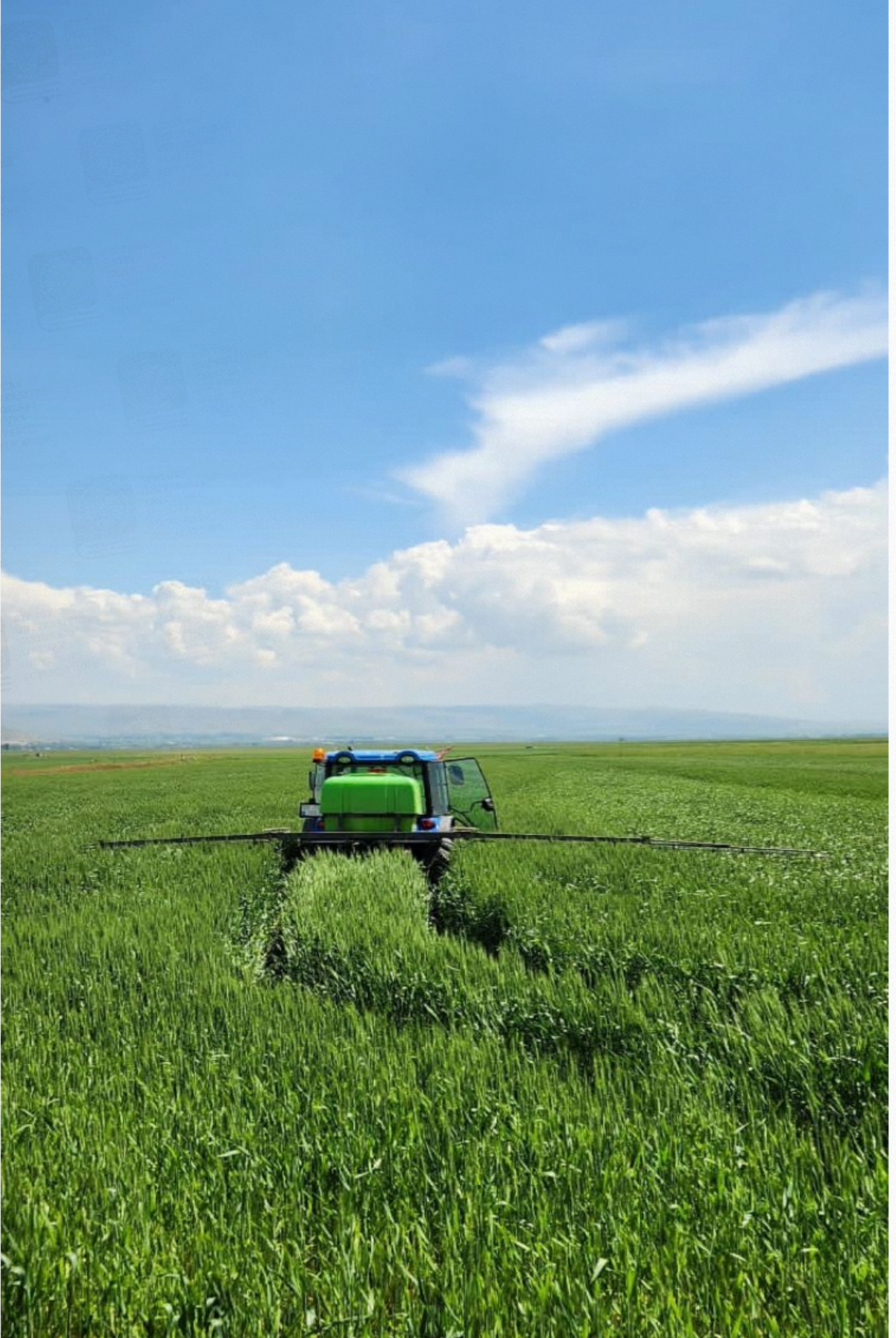


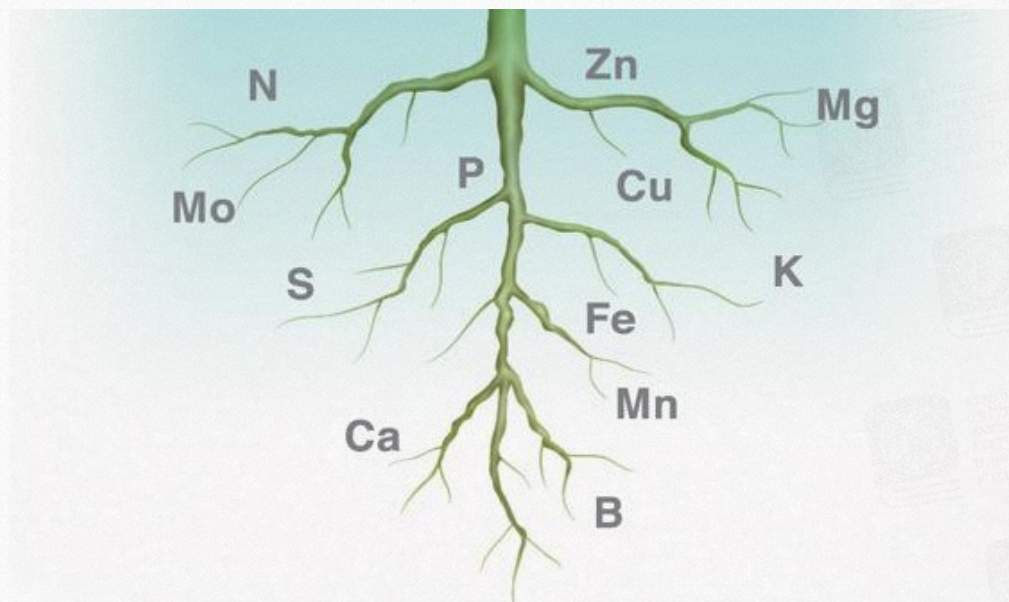
Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi
(Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)





Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi (Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)





Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi Sempozyumu

Bitki Beslemede
Yeni Paradigmalar,
Yeni Nesil Ürünler ve
Teknolojiler

5-7 Aralık 2023

Dünya Toprak Günü Etkinliği



Dünya
Toprak
Günü

Ca S Cl Mo Mg N P

Zoom
Meeting ID:
930 0097 0073

**SEMPOZYUM
HİBRİT**

5 - 7 ARALIK 2023



ZİRAAT FAKÜLTESİ
Faculty of Agriculture

KID



**ATATÜRK
ÜNİVERSİTESİ
YAYINLARI
ATATURK
UNIVERSITY
PUBLICATIONS**

DÜZENLEME KURULU

Başkan;

Prof. Dr. Nesrin YILDIZ

Atatürk Üniversitesi

Doç.Dr. Emre ÇOMAKLI

Atatürk Üniversitesi

Doktora Öğrencisi; Atom Atanasio Ladu STANSLUOS

Atatürk Üniversitesi

Doktora Öğrencisi Muhammet ALTUN

Atatürk Üniversitesi

Doktora Öğrencisi Elanur DAŞCI

Atatürk Üniversitesi

Yüksek Lisans Öğrencisi Fırat ALTUNOK

Atatürk Üniversitesi

Lisans Öğrenci Muhammet Ali BİLGİN

Atatürk Üniversitesi

Lisans Öğrencisi Mert Can İLGÜN

Atatürk Üniversitesi

Lisans Öğrencisi Neslişah KAYA

Atatürk Üniversitesi

Lisans Öğrencisi Semih TÜRKER

Atatürk Üniversitesi

Sempozyum Bilim kurulu;

Prof. Dr. Nesrin YILDIZ

Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Sait GEZGİN

Selçuk Üniversitesi

Prof. Dr. Süleyman TABAN

Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Hayriye İBRİKÇİ

Çukurova Üniversitesi

Prof. Dr. Ali COŞKAN

Isparta Uygulamalı Bilimler

Üniversitesi

Prof. Dr. Ufuk TÜRKER

Ankara Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Fatma Gökmen YILMAZ

Selçuk Üniversitesi

Dr. Kadriye KALINBACAK

TAGEM, Toprak ve Su Kaynakları

Araştırma Dairesi

SEMPOZYUM PROGRAMI

Açılış ; 15 Temmuz Milli İrade Salonu
Oturlar : Mavi Salon

5 ARALIK 2023, SALI

09.00-10.00 Kayıt , Kimlik kartı ve özet kitapçığı dağıtımı

10.00-10.05 Açılış

Saygı Duruşu ve İstiklal Marşı

Yer; Rektörlük 15 Temmuz Milli İrade Salonu

10.05-11.00 AÇILIŞ KONUŞMALARI

Atatürk Üniversitesi. Ziraat Fakültesi Öğretim Üyesi **Prof. Dr. Nesrin YILDIZ**

Erzurum Vali Yrd. **Ahmet ÖZDEMİR**

TAGEM Genel Müdürü **Dr. Metin TÜRKER**

Atatürk Üniversitesi. Ziraat Fakültesi Dekanı **Prof. Dr. Önder ÇALMAŞUR**

Atatürk Üniversitesi Rek.Yrd. **Prof.Dr.Ayşe Bayrakçeken YURTCAN**

Erzurum Büyükşehir Belediye Gen.Sek.Yrd. **Ahmet KILIÇ**

AÇILIŞ OTURUMU

Otulum Başkanı ; Prof. Dr. Mustafa KAPLAN

SALON: 15 TEMMUZ MİLLİ İRADE SALONU

	KATILIMCI	TEBLİĞ
11:00-11:20	Prof. Dr. Nesrin YILDIZ <i>Atatürk Üniversitesi. Ziraat Fakültesi. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme AD.</i>	Yaşam Kaynağımız ve Sessiz Müttefikimiz Toprağın Önemi. Sağlıklı yaşam için bitki besleme yönetimi ve gübre önerilerinin bilimsel temeline dair yaklaşımlar
11:20-11:40	Prof. Dr. Sait GEZGİN, Dr. Öğr. Üyesi Fatma Gökmen YILMAZ <i>Selçuk Üniversitesi. Ziraat Fakültesi. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme AD.</i>	Türkiye’de gübre kullanımında sorunlar ve çözüm önerileri
11:40-11:55		Tartışma
11:55-12:15	Prof. Dr. Süleyman TABAN <i>Ankara Üniversitesi. Ziraat Fakültesi. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme AD</i>	Tarımsal Üretim Sürecinde Atık Yönetim
12:15-12:30		Tartışma

12:30-13:45 Öğle Yemeği (Konukevi.2)

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi
(Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

Oturum Başkanı: Prof. Dr. Hayriye İBRİKÇİ

SALON : MAVİ SALON

	KATILIMCI	TEBLİĞ BAŞLIĞI
4:00-14:20	Prof. Dr. Emin Bülent ERENOĞLU <i>Çukurova Üniversitesi. Ziraat Fakültesi. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme AD.</i>	Türkiye’de Gübreler ve Yönetimi
4:20-14:30		Tartışma
14:30-14:50	Dr. Öğr. Üyesi Fatma GÖKMEN YILMAZ, Prof. Dr. Sait GEZGİN <i>Selçuk Üniversitesi. Ziraat Fakültesi. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme AD</i>	Toprak bitki analizleri ve gübreleme programlarının oluşturulmasındaki sorunlar ve çözüm önerileri
14:50-15:00		Tartışma
15:00-15:20	Prof. Dr. Burçin ÇOKUYSAL <i>Ege Üniversitesi. Ziraat Fakültesi. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme AD</i>	Değişen Tarımsal Üretim Paradigması Bağlamında Sürdürülebilir Bitki Beslemenin Geleceği
15:20-15:30		Tartışma

15:30-15:45: Çay-Kahve Arası

Oturum Başkanı: Prof. Dr. Süleyman TABAN

SALON: MAVİ SALON

	KATILIMCI	TEBLİĞ BAŞLIĞI
15:45-16:05	Prof. Dr. Ali COŞKAN <i>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi. Ziraat Fakültesi . Toprak Bilimi ve Bitki Besleme AD.</i>	Tarımsal Üretimde Artırılmasında Mineral Gübrelerle Birlikte Kullanılan Güncel Uygulamalar: Mikrobiyal Gübreler, Biyostimulantlar, Biyokömür ve Solucan Gübresi
16:05-16:15		Tartışma
16:15- 16:35	Prof. Dr. Cengiz KAYA <i>Harran Üniversitesi. Ziraat Fakültesi. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme AD</i>	Toprak mikroorganizmaları ile yeşil gübrelerin etkileşimleri ve etkilerinin tarım üretimi bağlamında analizi
16:35-16:45		Tartışma
16:45-17:05	Prof. Dr. Murat AYDIN <i>Sümevra UÇAR¹, Esmâ YİĞİDER², Emre İLHAN¹, Murat AYDIN^{2*}</i> ¹ Erzurum Teknik Üniversitesi. Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü ² Atatürk Üniversitesi. Ziraat Fakültesi. Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü	Bitkilerde Azot Kullanım Etkinliği ve Biyoteknolojik Yaklaşımlar
17:05-17:15		Tartışma

18:00 : Akşam Yemeği (CAĞ KEBAP)

Cumhuriyetin 100. Yılında Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Yönetimi
(Bitki Beslemede Yeni Paradigmalar, Yeni Nesil Ürünler ve Teknolojiler)

6 ARALIK 2023, ÇARŞAMBA

Oturum Başkanı; Prof. Dr. Sait GEZGİN

SALON/HALL: MAVİ SALON

	KATILIMCI	TEBLİĞ BAŞLIĞI
9:30-9:50	Prof. Dr. Hayriye İBRİKÇİ <i>Çukurova Üniversitesi. Ziraat Fakültesi. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme AD</i>	Tarımsal Üretimde Azot Yönetimi
9:50-10:00		Tartışma
10:00-10:20	Prof. Dr. Kürşat KORKMAZ <i>Ordu Üniversitesi. Ziraat Fakültesi. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme AD</i>	Azotlu Gübre Sektörünün Geleceğine Genel Bir Bakış: Amonyak Ekonomisi
10:20-10:30		Tartışma
10:30-10:50	Dr. Kadriye KALINBACAK <i>TAGEM, Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Dairesi, Bitki Besleme ve Toprak Araştırmaları Koordinatörü</i>	Bitki Beslemede TAGEM Araştırmaları
10:50-11:00		Tartışma

11:00-11:10: Çay/Kahve arası

Oturum Başkanı: Prof. Dr. Şefik TÜFENKÇİ

SALON: MAVİ SALON

	KATILIMCI	TEBLİĞ BAŞLIĞI
4:00-14:20	Prof. Dr. Davut KARAYEL <i>Akdeniz Üniversitesi. Ziraat Fakültesi. . Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü</i>	Gübrelemede Mekanizasyon: Kullanılan Ekipmanlar, Çalışma İlkeleri ve Son Gelişmeler
4:20-14:30		Tartışma
14:30-14:50	Doç. Dr. Mehmet Metin ÖZGÜVEN <i>Ankara Üniversitesi. Ziraat Fakültesi. Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü</i>	Bitki ve Bitki Verimliğinin Sağlanması Amacıyla Kullanılan Akıllı Tarım Teknolojileri
14:50-15:00		Tartışma
15:00-15:20	Meryem BAYRAKTUTAN¹, <i>Murat ŞİMŞEK², Dr.Öğr.Üyesi Alper POLAT³</i> ¹ Tarım ve Orman Bakanlığı, Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Toprak ve Bitki Besleme Bölümü, Erzurum ² Tarım ve Orman Bakanlığı, Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Toprak ve Bitki Besleme Bölümü, Antalya ³ Bingöl Üniversitesi, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Meslek Yüksekokulu, Bingöl	Erzurum İli Tarım Topraklarının Bitki Besin Elementi Durumlarının Değerlendirilmesi
15:20- 15:30		Tartışma
15:30-15:50	Ahmet Miraç DUMLU <i>Erzurum İl Tarım ve Orman Müdürlüğü Bitkisel Üretim ve Bitki Sağlığı Şube Müdürü V.</i>	Erzurum İlinde Bitki Beslemeye Genel Bakış ve Yaşanan Sorunlar
15:50-16:00		Tartışma

16:00:-16:15 Çay /kahve arası

GENEL DEĞERLENDİRME VE KAPANIŞ OTURUMU

(Moderasyon eşliğinde konuklar , çevirmenler katılımcılar ve konuşmacılar arasında tartışma ve katkılardan oluşan sonuç bildirgesi hazırlığı)

Oturum Başkanı : Prof. Dr. Nesrin YILDIZ Raportör : Prof. Dr. Emin Bülent ERENOĞLU

SALON: MAVİ SALON (16:00- 18;00)

PANELİSTLER
Prof. Dr. Mustafa KAPLAN
Prof. Dr. Sait GEZGİN
Prof.Dr.Süleyman TABAN
Prof.Dr. Şefik TÜFENKÇİ
Prof.Dr.Cengiz KAYA



**ATATÜRK
ÜNİVERSİTESİ
YAYINLARI
ATATURK
UNIVERSITY
PUBLICATIONS**