



Derleme Makale

Tarımsal Üretimde Derin Azotlu Gübreleme

Volkan Atav ^{*} 

^{*} *Atatürk Toprak ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Enstitüsü, Bitki Besleme ve Toprak Bölümü, Kırklareli, Türkiye*

ÖNE ÇIKANLAR

- Azot, bitkisel üretim için kritik bir makro besin elementidir, ancak mevcut gübreleme yöntemleri azot kullanım verimliliğinde genellikle düşük sonuçlar vermekte ve ciddi çevresel sorunlara yol açmaktadır.
- Derin azotlu gübreleme, azotun bitki kök bölgesine daha yakın derinliklere yerleştirilmesiyle azotun daha etkin kullanımını sağlamaktadır.
- Bu makale, derin azotlu gübrelemenin tanımını, önemini ve tarımsal üretim üzerindeki etkilerini incelemekte, geleneksel yüzey gübrelemesi ile karşılaştırmakta ve tarımsal sürdürülebilirlik açısından değerlendirmektedir.

MAKALE BİLGİSİ

Anahtar kelimeler:

Azot

Azot kayıpları

Azot kullanım etkinliği

Derin azotlu gübreleme

Sürdürülebilirlik

Geliş tarihi: 07 Haziran 2024

Revizyon tarihi: 01 Temmuz 2024

Kabul tarihi: 01 Temmuz 2024

^{*} *Sorumlu yazar:*

volk.atav@gmail.com

ÖZET

Azot, bitkisel üretimin temelini oluşturan ve fotosentez, protein ve nükleik asit sentezi gibi hayati süreçler için gerekli bir makro besin elementidir. Ancak, mevcut gübreleme uygulamaları genellikle azot kullanım verimliliği açısından düşük sonuçlar vermekte ve bu durum hem ekonomik kayıplara hem de ciddi çevresel sorunlara yol açmaktadır. Derin azotlu gübreleme, azotun bitki kök bölgesine daha yakın derinliklere yerleştirilmesi işlemidir ve bu yöntem, azotun bitki tarafından daha etkin kullanımını sağlarken, yüzeyden buharlaşma ve yıkanma yoluyla kayıpları önemli ölçüde azaltabilir. Bu çalışma, derin azotlu gübrelemenin tanımını, önemini ve tarımsal üretim üzerindeki etkilerini ele almakta, geleneksel yüzey gübrelemesi ile karşılaştırmasını yapmaktadır. Ayrıca, uygulama teknikleri ve optimizasyonu, avantajları, zorlukları ve riskleri ile uygulama alanları ve durum çalışmaları incelenmiştir. Sonuç olarak, derin azotlu gübrelemenin bitki büyümesi, verim, azot kullanım verimliliği ve sera gazı emisyonları üzerindeki olumlu etkileri göz önüne alındığında, tarımsal üretimde yaygın olarak benimsenmesi gerekmektedir.

Compilation Article

Deep Nitrogen Fertilization in Agriculture

Volkan Atav ^{*} ^{*} *Atatürk Toprak ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Enstitüsü, Bitki Besleme ve Toprak Bölümü, Kırklareli, Türkiye*

HIGHLIGHTS

- Nitrogen is a critical macronutrient for crop production, but current fertilization methods generally yield poor results in nitrogen use practices and lead to severe seasonal conditions.
- Deep nitrogen fertilization ensures more effective nitrogen nutrition by spreading nitrogen to closer depths to the plant root.
- This article explains the definition of deep nitrogen fertilization in expanding the possibilities on compromise and production, improving it with conventional surface fertilization, and the compromise is evaluated in terms of sustainability.

ARTICLE INFO

Keywords:

Nitrogen

Nitrogen loses

Nitrogen use efficiency

Deep nitrogen fertilization

Sustainability

Received: 07 June 2024

Revised : 08 July 2024

Accepted: 15 July 2024

Published: 15 July 2024

^{*} *Corresponding author:*volk.atav@gmail.com

ABSTRACT

Nitrogen is a fundamental macronutrient essential for vital processes such as photosynthesis, protein synthesis, and nucleic acid synthesis in plant production. However, current fertilization practices often result in low nitrogen use efficiency, leading to both economic losses and serious environmental issues. Deep nitrogen fertilization involves placing nitrogen at greater depths closer to the plant root zone, which can enhance nitrogen uptake by plants while significantly reducing losses through surface volatilization and leaching. This article discusses the definition, significance, and impact of deep nitrogen fertilization on agricultural production, comparing it with traditional surface fertilization methods. Additionally, it provides analysis of application techniques and optimization, advantages, challenges and risks, as well as application areas and case studies. In conclusion, given the positive effects of deep nitrogen fertilization on plant growth, yield, nitrogen use efficiency and greenhouse gas emissions, it should be widely adopted in agricultural production.

1. GİRİŞ

Tarımsal üretimde azotun (N) verimli kullanımı, gıda güvenliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır. Azot, bitkisel üretimin temelini oluşturan, fotosentez, protein ve nükleik asit sentezi gibi hayati süreçler için gerekli bir makro besin elementidir (Rose ve ark., 2018;

Weber ve Burow, 2018). Bitkilerde N kullanımı verimliliğini artırmak için çeşitli yöntemler ve teknolojiler geliştirilmiştir (Raun ve Johnson, 1999; Xu ve ark., 2012). Özellikle mısır (*Zea mays*) gibi yüksek verim potansiyeline sahip bitkilerde, N'nin yeterli ve dengeli bir şekilde sağlanması, optimum

büyüme ve üretim için kritiktir (Subhan, 1987; Kara, 2006). Ancak, azot gübrelerinin verimli kullanımı sağlanamazsa, gübrelerin büyük bir kısmı kaybedilmekte ve çevresel sorunlara yol açmaktadır (Fageria ve Baligar, 2005; Hirel ve ark., 2011). N gübrelerinin uygulanması sırasında yaşanan yüksek kayıplar, hem ekonomik kayıplara yol açmakta hem de ciddi çevresel sorunlara neden olmaktadır (Michalsky ve Pfromm, 2012), özellikle bu kayıpların azaltılması ve N kullanım verimliliğinin artırılması için yeni yaklaşımlar geliştirilmiştir (Sharma ve Bali, 2017; Anas ve ark., 2020).

N kullanım etkinliği (NUE), toprağa uygulanan N'nin bitki tarafından alımı ve kullanımının bir ölçüsüdür. Yüksek NUE değerleri, daha az gübre ile daha yüksek bitki büyümesi ve verimi anlamına gelir, bu da hem ekonomik hem de çevresel açıdan olumlu sonuçlar doğurur. Ancak mevcut gübreleme uygulamaları genellikle düşük NUE değerleri ile sonuçlanmaktadır. Bu durum, N'nin büyük bir kısmının bitkiler tarafından kullanılmadan atmosfere ($\text{NH}_3\text{-N}$) ve su kaynaklarına ($\text{NO}_3\text{-N}$) kaybedilmesine yol açar (Wienhold ve ark., 1995; Van Grinsven ve ark., 2013). Bu kayıplar dünya genelinde büyük ekonomik kayıplara ve çevresel kirliliğe neden olmaktadır (Raun ve Johnson, 1999; Fageria ve Baligar, 2005). Tarımsal uygulamalarda NUE'yi artırmak ve N kayıplarını minimize etmek amacıyla çeşitli stratejiler önerilmiştir. Bunlar arasında, N bölünmüş uygulama, gübreleme zamanının ve miktarının optimizasyonu, derin azotlu gübreleme (DAG) teknikleri bulunmaktadır (Karaşahin, 2014; Liu ve ark., 2018). N'nin etkin kullanımı için bu stratejiler büyük önem taşımaktadır (Sharma ve Bali, 2017), (Anas ve ark., 2020). Derin azotlu gübreleme, gübrenin bitki kök bölgesine daha yakın derinliklere yerleştirilmesini ifade eder. Bu yöntem, N'nin bitki tarafından daha etkin kullanımını sağlarken, yüzeyden buharlaşma ve yıkanma yoluyla kayıpları önemli ölçüde azaltabilir (Liu ve ark., 2015; Islam ve ark., 2018).

Li ve arkadaşlarının (2021) çalışması, DAG'nin, CH_4 kaynaklı küresel ısınma potansiyelini %20.7–25.3, N_2O kaynaklı küresel ısınma potansiyelini %7.2–12.3 ve toplam küresel ısınma potansiyelini %14.7–22.9 oranında azalttığını göstermiştir. Toprak

yapısını ve mikrobiyal faaliyetini üzerindeki olumlu etkileri ile de bilinen DAG, toprak mikroorganizmalarının besin maddesi dağılımını iyileştirebilir ve toprak sağlığını destekleyebilir (Liu ve ark., 2015). Bu yöntem, biyolojik azot fiksasyonu gibi doğal süreçleri teşvik ederek, uzun vadede toprak verimliliğini ve tarım ürünlerinin kalitesini artırır (Saha ve ark., 2017).

Ayrıca, DAG, bitki kök sisteminin daha derin toprak katmanlarına ulaşarak su ve besin maddelerini daha etkili bir şekilde kullanmasını teşvik eder, bu da özellikle kuru dönemlerde bitki sağlığı ve verimliliği için kritik öneme sahiptir. Derine azotlu gübrelemenin etkinliği, toprak tipi, bitki türü ve çevresel koşullar gibi bir dizi faktöre bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Geçirgenlik özellikleri farklı toprak katmanlarına sahip olan topraklarda, bu yöntemin besin maddesi alım verimliliği ve mahsul verimine olan etkileri, özellikle dikkate alınması gereken önemli faktörler arasındadır (Fillery ve McInnes, 1992).

Bu çalışma, DAG'nin tanımını, önemini ve tarımsal üretim üzerindeki etkilerini ele almayı amaçlamaktadır. Ayrıca, bu yöntemin tarımsal sürdürülebilirlik ve çevre koruma hedefleriyle uyum içinde nasıl optimize edilebileceğine dair önerilerde bulunacaktır. Çalışmada, DAG'nin tanımı ve önemi, bitki beslenmesindeki rolü, geleneksel yüzey gübrelemesi ile karşılaştırılması, uygulama teknikleri ve optimizasyonu, avantajları, zorlukları ve riskleri ile uygulama alanları ve durum çalışmaları gibi konular detaylı bir şekilde incelenecektir. Bu kapsamda, mevcut araştırmalar ve literatür ışığında DAG'nin tarımsal uygulamadaki yeri ve potansiyeli değerlendirilerek, gelecekteki araştırma ihtiyaçları ve sürdürülebilir tarım uygulamaları için öneriler sunulacaktır.

1. Azotun Bitki Beslenmesindeki Rolü

1.1. Azotun bitki beslenmesi ve gelişimi üzerindeki rolü

Bitkilerde azot (N) ihtiyacının belirlenmesi, N'nin bitkisel büyüme ve verim üzerindeki kritik rolü nedeniyle önemlidir. N, bitkiler tarafından genellikle büyük miktarlarda gereklidir (Delgado ve Follett, 2011) ve topraklarda sıklıkla kısıtlayıcı bir besin maddesi olarak bulunur. N'nin doğru yönetimi,

hem ekonomik hem de çevresel açıdan önem taşımaktadır (Jat ve ark., 2012). N'nin bitkilerdeki kullanımının optimize edilmesi, verimliliği artırabilir ve çevresel zararları azaltabilir (Midolo ve ark., 2018; Chen ve ark., 2020). Bu süreç, özellikle tarımsal sürdürülebilirlik için kritiktir (Zhang ve ark., 2023).

Yeni araştırmalar, N'nin bitki beslenmesi ve büyümesi üzerindeki rolünün daha kapsamlı bir şekilde anlaşılmasına katkıda bulunmuştur. Örneğin, N beslemesi sadece bitki büyümesini değil, aynı zamanda bitki hastalıklarına karşı direncini de etkiler. N, bitkilerde savunma mekanizmalarının düzenlenmesinde önemli bir rol oynar. N beslenmesi, fizyolojik, biyokimyasal ve genetik mekanizmalar yoluyla bitki savunmasını etkileyebilir. Özellikle, N'nin bitki savunması üzerindeki etkileri, N'nin formuna ve konsantrasyonuna bağlı olarak değişiklik gösterir (Sun ve ark., 2020).

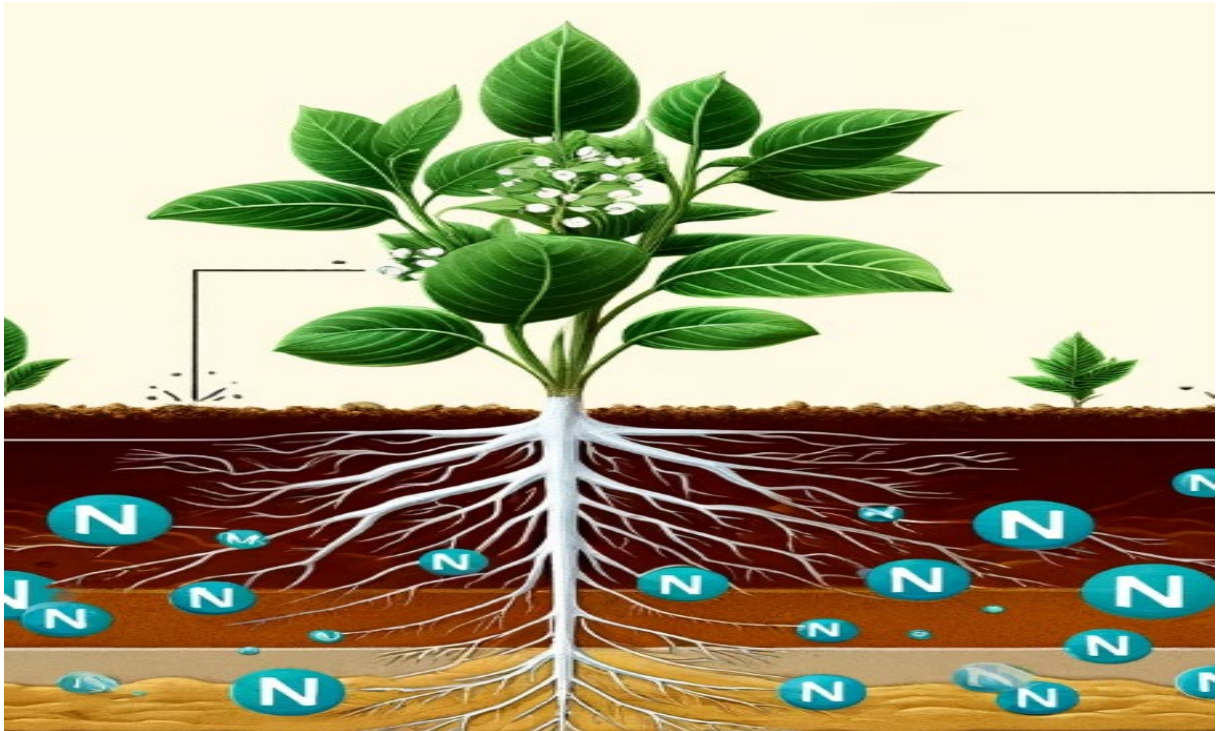
Ayrıca, bitkilerde N kullanımının optimize edilmesi, bitki büyüme hızlarını, protein içeriğini ve tohum kalitesini artırabilir. $\text{NH}_4\text{-N}$ beslenmesi, anyon alımını, serbest protein oranlarını ve kök serbest alanının asitliğini artırırken; $\text{NO}_3\text{-N}$ beslenmesi, daha yüksek katyon alımına, doku karbonhidrat içeriğinin artmasına ve kök serbest alanının alkalizasyonuna yol açar. N asimilasyonu, kuru

madde ve enerji tahsisatını etkileyerek bitki parçalarının farklı büyüme hızlarına neden olur (Fernandes ve Rossiello, 1995).

Azot, bitki büyümesi ve savunmasında kritik bir rol oynayan hayati bir makro besin elementidir. Doğru yönetildiğinde, bitki verimliliğini artırabilir ve çevresel zararları azaltabilir. Ancak, aşırı kullanımın zararlı etkileri olabileceğinden dikkatli yönetilmelidir. Yeni araştırmalar, N'nin bitki beslenmesi ve büyümesi üzerindeki etkilerini daha derinlemesine anlamamıza yardımcı olmaktadır.

2. Derin Azotlu Gübreleme

Derin azotlu gübreleme (DAG), bitki köklerine daha yakın bir alana, özellikle toprağın alt katmanlarına doğrudan azot (N) gübresi uygulamasını ifade eder. Bu yöntem, N'nin bitki tarafından daha etkili bir şekilde kullanılmasını sağlayarak (Şekil 1), yüzey gübrelenmesine kıyasla verimliliği artırır ve N kaybını azaltır. Derine azotlu gübrelenmenin tanımı ve önemi, N'nin bitki büyümesi ve verim üzerindeki kritik rolüyle yakından ilişkilidir. N, fotosentez, protein sentezi ve diğer hayati metabolik süreçler için temel bir besin maddesi olup, bitkilerin sağlıklı büyümesi ve gelişimi için gereklidir (Treseder, 2008; Dai ve ark., 2018).



Şekil 1. Etkili kök derinliğinde N varlığı

Geleneksel yüzey gübrelemesi ile DAG yöntemlerinin karşılaştırılması, DAG'nin çeltik tarımında önemli avantajlar sağladığını göstermektedir. Derine azotlu gübreleme, geleneksel yüzey gübrelemesi ile karşılaştırıldığında, çeltik verimini ve N kullanım etkinliğini artırırken, sera gazı emisyonlarını azaltmaktadır. Lin Li ve arkadaşlarının (2021) yürüttüğü iki yıllık bir arazi deneyi, mekanik derin yerleştirme yönteminin, çeltik çeşitlerinin tane verimini %11.8-19.6, toplam N birikimini %10.3-13.1, N tane üretim verimliliğini %29.7-31.5, N hasat indeksini %27.8-30.0, N agronomik verimliliğini %71.3-77.2 ve N geri kazanım

verimliliğini %42.4-56.7 artırdığını ortaya koymuştur. Aynı çalışma, bir kere derin yerleştirme yönteminin, metan kaynaklı küresel ısınma potansiyelini %20.7-25.3, nitroz oksit kaynaklı küresel ısınma potansiyelini %7.2-12.3 ve toplam küresel ısınma potansiyelini %14.7-22.9 oranında azalttığını bulmuştur.

Derine azotlu gübreleme, N kaybını azaltmada etkili bir stratejidir. Orta Çin'de sıfır toprak işleme yapılan çeltik tarlalarında, N gübrelerinin derin yerleştirilmesi, amonyak volatilizasyonunu %20-45 oranında azaltmış ve N geri kazanım verimliliğini %26-93 oranında artırmıştır (Liu ve ark., 2015).

Çizelge 1. Derin azotlu gübreleme ile yüzey gübrelemesi karşılaştırması

Parametre	Derin Azotlu Gübreleme	Yüzey Gübrelemesi	İlgili Literatürler
Verim	Yüksek	Düşük	(Nasrullah ve ark., 2022), (Cui ve ark., 2018), (Nkebiwe ve ark., 2016).
Azot Kullanım Verimliliği (NUE)	Yüksek	Düşük	(Nasrullah ve ark., 2022), (Cui ve ark., 2018), (Shahbaz ve ark., 2021), (Nkebiwe ve ark., 2016).
Sera Gazı Emisyonları (CH ₄ , N ₂ O)	Düşük	Yüksek	(Nasrullah ve ark., 2022), (Cui ve ark., 2018), (Aryal ve ark., 2021), (Nkebiwe ve ark., 2016).

Derine azotlu gübreleme, köklerin daha derin toprak katmanlarına ulaşmasını teşvik ederek, su ve besin maddelerinden daha etkili yararlanılmasını sağlar (Zheng ve ark., 2016). Pamukta su ve N yönetiminin kök gelişimini, verimi ve su kullanım verimliliğini iyileştirdiğini gösteren çalışmalar, bu yöntemin su ve besin maddesi alımını optimize ettiğini ortaya koymaktadır (Zhang ve ark., 2017). Derine azotlu gübrelemenin verim ve kalite üzerine etkileri, bitkilerin N kaynaklarından daha etkili bir şekilde yararlanmasını sağlar. Çin'de yapılan bir çalışmada, derin nokta N uygulamasının, çeltik verimini ve N kullanım verimliliğini önemli ölçüde artırdığı gösterilmiştir (Wu ve ark., 2017). Bu yöntem, çeltik gibi bitkilerde N geri kazanım verimliliğini ve tahıl verimini artırarak çevresel etkileri azaltma potansiyeline sahiptir (Ke ve ark., 2018).

Derine azotlu gübrelemenin toprak yapısını iyileştirme ve mikrobiyal faaliyeti artırma potansiyeli vardır. Ancak, uzun vadeli gübreleme uygulamaları, mikrobiyal toplulukların kompozisyonunda ve işlevinde değişikliklere yol açabilir (Dai ve ark., 2018). Toprak yapısı ve mikrobiyal faaliyet üzerindeki etkileri daha iyi

anlamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır (Ma ve ark., 2021).

Derine azotlu gübreleme, sürdürülebilir tarımın önemli bir bileşenidir. Bu yöntem, N kullanım verimliliğini artırırken, çevresel etkileri azaltmayı hedefler (Quan ve ark., 2021). Derine azotlu gübreleme uygulamaları, çeltik üretiminde metan ve azot oksit kaynaklı küresel ısınma potansiyelini azaltabilir (Li ve ark., 2021). Ayrıca, organik gübrelerle birlikte uygulanan DAG, toprak sağlığını iyileştirir ve biyolojik azot fiksasyonu gibi doğal süreçleri teşvik eder (Saha ve ark., 2017).

2.1. Derin azotlu gübreleme teknikleri

Derin yerleştirme ve yüzey uygulaması, gübrelerin derin yerleştirilmesinin, yüzeye uygulanmasına kıyasla, bitkilere besin maddelerinin ulaşılabilirliğini önemli ölçüde etkileyebilir. Bu yöntem, N kaybını azaltabilir ve N kullanım verimliliğini artırabilir (Sharma ve Bali, 2017). Derin gübre yerleştirmenin etkinliği, toprak tipine, bitki türüne ve çevresel koşullara bağlı olarak değişiklik gösterir (Fillery ve McInnes, 1992).

Derine azotlu gübreleme, çeşitli derinliklerde

ve zamanlamalarla yapılabilir. Optimal derinlik ve zamanlama, bölgesel iklim koşulları, toprak yapısı ve yetiştirilen bitki türüne göre değişiklik gösterir (Zheng ve ark., 2016). Örneğin, bazı araştırmalar, N gübresinin 10-20 cm derinliğe yerleştirilmesinin, yüzey uygulamasına kıyasla daha yüksek N kullanım verimliliği sağladığını göstermektedir (Liu ve ark., 2015). Bu derinlik, N'nin bitki kökleri tarafından daha etkin bir şekilde emilmesini sağlar ve N kaybını azaltır.

Mekanik derin gübreleme, tarımda yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Bu yöntemde, N gübresi, özel makineler kullanılarak toprağın derinliklerine yerleştirilir. Bu teknik, özellikle çeltik ve mısır gibi yüksek N gereksinimi olan bitkilerde kullanılır. Derin yerleştirilen gübreler, bitki kök sisteminin daha derine inmesini teşvik eder ve bu da bitkilerin su ve besin maddelerini daha etkili bir şekilde emmesini sağlar (Ke ve ark., 2018).

2.2. Derin azotlu gübrelemenin zorlukları ve riskleri

Derine azotlu gübreleme, özel ekipman gerektirdiği için başlangıç maliyetlerini artırabilir (Li ve ark., 2020). Ayrıca, derin yerleştirme teknikleri toprak yapısını bozabilir ve kök gelişimini olumsuz etkileyebilir (Ke ve ark., 2018). Bu nedenle, gübre yerleştirme derinliği ve oranının optimizasyonu önemlidir (Liu ve ark., 2015). Derine azotlu gübrelemenin çevresel etkileri, N kaybını azaltarak ve sera gazı emisyonlarını düşürerek çevresel

3. SONUÇ

Tarımsal üretimde azotun verimli kullanımı, gıda güvenliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır. Derin azotlu gübreleme, azotun bitki tarafından daha etkin kullanımını sağlarken, yüzeyden buharlaşma ve liç yoluyla kayıpları önemli ölçüde azaltarak azot kullanım verimliliğini artıran ve çevresel etkileri minimize eden bir yöntemdir. Bu çalışma, derin azotlu gübrelemenin tanımı, önemi ve tarımsal üretim üzerindeki etkilerini detaylı bir şekilde incelemiş ve bu yöntemin tarımsal sürdürülebilirlik ve çevre koruma hedefleriyle uyum içinde nasıl optimize edilebileceğine dair önerilerde bulunmuştur.

Derin azotlu gübreleme, bitki büyümesi, verim, azot kullanım verimliliği ve sera gazı emisyonları üzerinde olumlu etkiler

sürdürülebilirliğe katkı sağlayabilir (Lin Li ve ark., 2020). Ancak, toprak yapısı ve mikrobiyal topluluklar üzerindeki uzun vadeli etkileri dikkatlice değerlendirilmelidir (Li ve ark., 2021).

Derine azotlu gübreleme, tohum veya bitki kökünün aşırı amonyum veya amonyaktan olumsuz etkilenmesine neden olabilir. Yüksek amonyum konsantrasyonları, bitki köklerinde toksisiteye ve büyüme geriliğine yol açabilir (Vines ve Wedding, 1960; Gerendás ve ark., 1997; Ma ve ark., 2016). Bu nedenle, gübre uygulama zamanı ve derinliğine dikkat edilmeli, bitki türü ve toprak koşulları göz önünde bulundurularak uygun stratejiler belirlenmelidir (Qin ve ark., 2011; Liu ve ark., 2013).

2.3. Gelecek yönelimler ve araştırma perspektifleri

Derine azotlu gübreleme tekniklerinin sürdürülebilir tarım uygulamalarına entegrasyonu, gıda güvenliği, çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir rol oynayabilir. Gelecekteki araştırmalar, N kullanım verimliliğini nasıl optimize edebileceğine, sosyo-ekonomik faktörlere, sürdürülebilir gıda sistemlerine, teknolojik yeniliklere ve biyolojik N fiksasyonunun DAG ile entegrasyonuna odaklanmalıdır (Zhang ve ark., 2015; Soumare ve ark., 2020). Ayrıca, DAG'nın sera gazı emisyonları ve su kalitesi üzerine etkileri de araştırma konuları arasında yer almalıdır (Mogollón ve ark., 2018).

göstermektedir. Bu yöntem, bitkilerin kök gelişimini teşvik ederek su ve besin maddelerini daha etkili bir şekilde kullanmasını sağlar ve bu da özellikle kuru dönemlerde bitki sağlığı ve verimliliği için kritik öneme sahiptir. Ancak, derin azotlu gübrelemenin teknik zorlukları ve maliyetleri, özellikle küçük ölçekli çiftçiler için önemli bir engel olabilir. Ayrıca, uzun vadeli gübreleme uygulamaları, mikrobiyal toplulukların kompozisyonunda ve işlevinde değişikliklere yol açabilir, bu da toprak sağlığı ve tarım ürünlerinin sürdürülebilirliği üzerinde olumsuz etkilere sahip olabilir.

Derin azotlu gübrelemenin azot kullanım verimliliğini nasıl optimize edebileceğine, sosyo-ekonomik faktörlere, sürdürülebilir gıda sistemlerine, teknolojik yeniliklere ve biyolojik azot fiksasyonunun DAG ile entegrasyonuna

yönelik yeni araştırmalara ihtiyaç bulunmaktadır. Ayrıca, DAG'nın sera gazı

emisyonları ve su kalitesi üzerine etkileri de araştırma konuları arasında yer almalıdır.

Yazar katkısı: Bu derleme makalenin tek yazarı olarak, konunun belirlenmesi, literatür taraması, analiz ve yazım süreçlerinin tamamı tarafımda gerçekleştirilmiştir.

Çıkar çatışması beyanı: Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

KAYNAKÇA

- Anas, M., Liao, F., Verma, K., Sarwar, M., Mahmood, A., Chen, Z., Li, Q., Zeng, X., Liu, Y., & Li, Y. (2020). Fate of nitrogen in agriculture and environment: agronomic, eco-physiological and molecular approaches to improve nitrogen use efficiency. *Biological Research*, 53. <https://doi.org/10.1186/s40659-020-00312-4>.
- Aryal, J., Sapkota, T., Krupnik, T., Rahut, D., Jat, M., & Stirling, C. (2021). Factors affecting farmers' use of organic and inorganic fertilizers in South Asia. *Environmental Science and Pollution Research International*, 28, 51480 - 51496. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13975-7>.
- Chen, Y., Fan, P., Mo, Z., Kong, L., Tian, H., Duan, M., Li, L., Wu, L., Wang, Z., Tang, X., & Pan, S. (2020). Deep Placement of Nitrogen Fertilizer Affects Grain Yield, Nitrogen Recovery Efficiency, and Root Characteristics in Direct-Seeded Rice in South China. *Journal of Plant Growth Regulation*. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10107-2>.
- Cui, Z., Zhang, H., Chen, X., Zhang, C., Ma, W., Huang, C., ... & Dou, Z. (2018). Pursuing sustainable productivity with millions of smallholder farmers. *Nature*, 555(7696), 363-366.
- Dai, Z., Su, W., Chen, H., Barberán, A., Zhao, H., Yu, M., ... & Xu, J. (2018). Long-term nitrogen fertilization decreases bacterial diversity and favors the growth of Actinobacteria and Proteobacteria in agro-ecosystems across the globe. *Global change biology*, 24(8), 3452-3461.
- Delgado, J., & Follett, R. (2011). Advances in Nitrogen Management for Water Quality. *Journal of Soil and Water Conservation*, 66, 25A-26A. <https://doi.org/10.2489/jswc.66.1.25A>.
- Fageria, N., & Baligar, V. (2005). Enhancing Nitrogen Use Efficiency in Crop Plants. *Advances in Agronomy*, 88, 97-185. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(05\)88004-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)88004-6).
- Fernandes, M., & Rossiello, R. (1995). Mineral Nitrogen in Plant Physiology and Plant Nutrition. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 14,111-148. <https://doi.org/10.1080/07352689509701924>.
- Hirel, B., Tétu, T., Lea, P., & Dubois, F. (2011). Improving Nitrogen Use Efficiency in Crops for Sustainable Agriculture. *Sustainability*, 3, 1452-1485. <https://doi.org/10.3390/SU3091452>.
- Islam, S. M., Gaihre, Y. K., Islam, M. R., Ahmed, M. N., Akter, M., Singh, U., & Sander, B. O. (2022). Mitigating greenhouse gas emissions from irrigated rice cultivation through improved fertilizer and water management. *Journal of Environmental Management*, 307, 114520.
- Jat, R., Wani, S., Sahrawat, K., Singh, P., Dhaka, S., & Dhaka, B. (2012). Recent approaches in nitrogen management for sustainable agricultural production and eco-safety. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 58, 1033-1060. <https://doi.org/10.1080/03650340.2011.557368>.
- Kara, B., (2006). Kahramanmaraş Koşullarında Farklı Gübre Düzeylerinin Farklı Mısır Çeşitlerine Etkisinin Belirlenmesi ve Ceres-Mısır Bitki Gelişiminin Değerlendirilmesi (Doktora Tezi), Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karavaşin, M. (2014). Nitrogen uptake efficiency in plant production and the negative effects of reactive nitrogen on the environment. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 2(3), 15-21.
- Ke, J., He, R., Hou, P., Ding, C., Ding, Y., Wang, S., Liu, Z., Tang, S., Ding, C., Chen, L., & Li, G. (2018). Combined controlled-released nitrogen fertilizers and deep placement effects of N leaching, rice yield and N recovery in machine-transplanted rice. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2018.06.023>
- Li, L., Zhang, Z., Tian, H., Ashraf, U., Mo, Z.,

- Tang, X., ... & Pan, S. (2021). Productivity and profitability of mechanized deep nitrogen fertilization in mechanical pot-seedling transplanting rice in South China. *Agronomy Journal*, 113(2), 1664-1680.
- Liu, L., Shen, T., Yang, Y., Gao, B., Li, Y. C., Xie, J., ... & Chen, J. (2018). Bio-based large tablet controlled-release urea: synthesis, characterization, and controlled-released mechanisms. *Journal of agricultural and food chemistry*, 66(43), 11265-11272.
- Liu, Q., Chen, X., Wu, K., & Fu, X. (2015). Nitrogen signaling and use efficiency in plants: what's new?. *Current opinion in plant biology*, 27, 192-198. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2015.08.002>
- Liu, T., Fan, D., Zhang, X., Chen, J., Li, C., & Cao, C. (2015). Deep placement of nitrogen fertilizers reduces ammonia volatilization and increases nitrogen utilization efficiency in no-tillage paddy fields in central China. *Field Crops Research*, 184, 80-90. <https://doi.org/10.1016/J.FCR.2015.09.011>
- Liu, Y., Lai, N., Gao, K., Chen, F., Yuan, L., & Mi, G. (2013). Ammonium inhibits primary root growth by reducing the length of meristem and elongation zone and decreasing elemental expansion rate in the root apex in *Arabidopsis thaliana*. *PLoS one*, 8(4), e61031. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0061031>
- Ma, Q., Sun, L., Tian, H., Rengel, Z., & Shen, J. (2021). Deep banding of phosphorus and nitrogen enhances *Rosa multiflora* growth and nutrient accumulation by improving root spatial distribution. *Scientia Horticulturae*. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109800>.
- Ma, X., Zhu, C., Yang, N., Gan, L., & Xia, K. (2016). γ -Aminobutyric acid addition alleviates ammonium toxicity by limiting ammonium accumulation in rice (*Oryza sativa*) seedlings.. *Physiologia plantarum*, 158 4, 389-401. <https://doi.org/10.1111/pp.12473>.
- Michalsky, R., & Pfromm, P. H. (2012). Thermodynamics of metal reactants for ammonia synthesis from steam, nitrogen and biomass at atmospheric pressure. *AIChE journal*, 58(10), 3203-3213.
- Midolo, G., Alkemade, R., Schipper, A., Benítez-López, A., Perring, M., & Vries, W. (2018). Impacts of nitrogen addition on plant species richness and abundance: A global meta-analysis. *Global Ecology and Biogeography*. <https://doi.org/10.1111/GEB.12856>.
- Mogollón, J. M., Bouwman, A. F., Beusen, A. H., Lassaletta, L., van Grinsven, H. J., & Westhoek, H. (2021). More efficient phosphorus use can avoid cropland expansion. *Nature Food*, 2(7), 509-518.
- Nasrullah, M., Liang, L., Rizwanullah, M., Yu, X., Majrashi, A., Alharby, H., Alharbi, B., & Fahad, S. (2022). Estimating Nitrogen Use Efficiency, Profitability, and Greenhouse Gas Emission Using Different Methods of Fertilization. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.869873>.
- Nkebiwe, P. M., Weinmann, M., Bar-Tal, A., & Müller, T. (2016). Fertilizer placement to improve crop nutrient acquisition and yield: A review and meta-analysis. *Field crops research*, 196, 389-401.
- Qin, C., Yi, K., & Wu, P. (2011). Ammonium affects cell viability to inhibit root growth in *Arabidopsis*. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*, 12, 477-484. <https://doi.org/10.1631/jzus.B1000335>.
- Quan, Z., Zhang, X., Davidson, E., Zhu, F., Li, S., Zhao, X., Chen, X., Zhang, L., He, J., Wei, W., & Fang, Y. (2021). Fates and Use Efficiency of Nitrogen Fertilizer in Maize Cropping Systems and Their Responses to Technologies and Management Practices: A Global Analysis on Field 15N Tracer Studies. *Earth's Future*, 9. <https://doi.org/10.1029/2020EF001514>.
- Raun, W., & Johnson, G. (1999). Improving Nitrogen Use Efficiency for Cereal Production. *Agronomy Journal*, 91, 357-363. <https://doi.org/10.2134/AGRONJ1999.00021962009100030001X>.
- Rogato, A., D'Apuzzo, E., Barbulova, A., Omrane, S., Parlati, A., Carfagna, S., Costa, A., Schiavo, F., Esposito, S., & Chiurazzi, M. (2010). Characterization of a Developmental Root Response Caused by External Ammonium Supply in *Lotus japonicus*[C][W]. *Plant Physiology*, 154, 784 - 795. <https://doi.org/10.1104/pp.110.160309>.
- Rose, T. J., Wood, R. H., Rose, M. T., & Van Zwieten, L. (2018). A re-evaluation of the agronomic effectiveness of the nitrification inhibitors DCD and DMPP and the urease inhibitor NBPT. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 252, 69-73.
- Shahbaz, P., Haq, S., & Boz, I. (2021). Linking climate change adaptation practices with farm

- technical efficiency and fertilizer use: a study of wheat–maize mix cropping zone of Punjab province, Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 16925 - 16938. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16844-5>.
- Sharma, L., & Bali, S. (2017). A Review of Methods to Improve Nitrogen Use Efficiency in Agriculture. *Sustainability*, 10, 1-23. <https://doi.org/10.3390/SU10010051>.
- Soumare, A., Diedhiou, A., Thuita, M., Hafidi, M., Ouhdouch, Y., Gopalakrishnan, S., & Kouisni, L. (2020). Exploiting Biological Nitrogen Fixation: A Route Towards a Sustainable Agriculture. *Plants*, 9. <https://doi.org/10.3390/plants9081011>.
- Subhan, B. (1987). Effect of nitrogen fertilizer on vegetative growth and yield of maize (*Zea mays* L.) cv, Bastar kuning Local. In *Field Crop Abstracts* (Vol. 46, No. 4).
- Sun, Y., Wang, M., Mur, L., Shen, Q., & Guo, S. (2020). Unravelling the Roles of Nitrogen Nutrition in Plant Disease Defences. *International Journal of Molecular Sciences*, 21. <https://doi.org/10.3390/ijms21020572>.
- The, S., Snyder, R., & Tegeder, M. (2021). Targeting Nitrogen Metabolism and Transport Processes to Improve Plant Nitrogen Use Efficiency. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.628366>.
- Treseder, K. (2008). Nitrogen additions and microbial biomass: a meta-analysis of ecosystem studies. *Ecology letters*, 11, 1111-20. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01230.x>.
- Van Grinsven, H. J., Holland, M., Jacobsen, B. H., Klimont, Z., Sutton, M. A., & Jaap Willems, W. (2013). Costs and benefits of nitrogen for Europe and implications for mitigation. *Environmental science & technology*, 47(8), 3571-3579.
- Vines, H., & Wedding, R. (1960). Some Effects of Ammonia on Plant Metabolism and a Possible Mechanism for Ammonia Toxicity. *Plant physiology*, 35, 6, 820-5. <https://doi.org/10.1104/PP.35.6.820>.
- Weber, K., & Burow, M. (2018). Nitrogen-essential macronutrient and signal controlling flowering time. *Physiologia Plantarum*, 162(2), 251-260.
- Wienhold, B. J., Trooien, T. P., & Reichman, G. A. (1995). Yield and nitrogen use efficiency of irrigated corn in the northern Great Plains. *Agronomy journal*, 87(5), 842-846.
- Wu, M., Liu, M., Liu, J., Li, W., Jiang, C., & Li, Z. (2017). Optimize nitrogen fertilization location in root-growing zone to increase grain yield and nitrogen use efficiency of transplanted rice in subtropical China. *Journal of Integrative Agriculture*, 16, 2073-2081. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61544-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61544-7).
- Xu, G., Fan, X., & Miller, A. (2012). Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annual review of plant biology*, 63, 153-82. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042811-105532>.
- Zhang, H., Li, W., Adams, H., Wang, A., Wu, J., Jin, C., Guan, D., & Yuan, F. (2018). Responses of Woody Plant Functional Traits to Nitrogen Addition: A Meta-Analysis of Leaf Economics, Gas Exchange, and Hydraulic Traits. *Frontiers in Plant Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00683>.
- Zhang, H., Zhao, X., Shi, Y., Liang, Y., & Shen, R. (2021). Changes in soil bacterial communities with increasing distance from maize roots affected by ammonium and nitrate additions. *Geoderma*, 398, 115102. <https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2021.115102>.
- Zhang, L., Zhang, W., Meng, Q., Hu, Y., Schmidhalter, U., Zhong, C., Zou, G., & Chen, X. (2023). Optimizing Agronomic, Environmental, Health and Economic Performances in Summer Maize Production through Fertilizer Nitrogen Management Strategies. *Plants*, 12. <https://doi.org/10.3390/plants12071490>.
- Zheng, W., Sui, C., Liu, Z., Geng, J., Tian, X., Yang, X., ... & Zhang, M. (2016). Long-term effects of controlled-release urea on crop yields and soil fertility under wheat–corn double cropping systems. *Agronomy Journal*, 108(4), 1703-1716.