



TOROS TARIM



Bülteni

Ocak 2026
Sayı: 18

toros.com.tr



TOROS TARIM

TOROS TARIM SANAYİ VE TİCARET A.Ş.

**Ar-Ge Bülteni
2026**

Şirket İmtiyaz Sahibi:
Toros Tarım Sanayi ve Ticaret A.Ş.
Adına
Serdar Gök

Yazı İşleri Müdürü:
Sevinç Sevinç

Bülteni Hazırlayanlar:
Dr. Ali Yetgin
Doç. Dr. Ahmet Ozan Gezerman

Tasarım:
Vak'a Reklam Ajansı

İletişim Adresi:
TOROS TARIM AR-GE MERKEZİ
Karaduvar Mah. 132. Cad. No:3
33020 Mersin
E-posta: info.arge@toros.com.tr
Tel: 0324 234 31 00
Faks: 0324 234 31 15-16

Ar-Ge Bülteni

Ocak 2026

Sayı: 18

Sevgili Okurlarımız,

Toros Tarım AR-GE Bülteni'nin 18. sayısı ile sizlerle yeniden buluşmanın mutluluğunu yaşıyoruz. Bilimin, yeniliğin ve sürdürülebilirliğin tarımla buluştuğu bu sayımızda; yalnızca bugünün ihtiyaçlarına değil, yarının tarım vizyonuna da ışık tutan çalışmaların bir araya getirdik.

Bu sayıda; yapay zekâ destekli akıllı tarım sistemlerinden doğal polimerlerin gübre teknolojisindeki yenilikçi kullanım alanlarına, katı atık yönetimi ile karbon emisyonları arasındaki ilişkiden Büyük Tarım Modeli'nin geleceğimize etkilerine kadar geniş bir perspektif sunuyoruz. Alanında uzman akademisyenlerin ve kurum içi AR-GE ekiplerimizin katkılarıyla hazırlanan bu içeriklerin; bilgi paylaşımını güçlendireceğine, yeni bakış açıları kazandıracağına ve ortak öğrenme kültürümüze katkı sağlayacağına inanıyoruz.

Her sayıda olduğu gibi bu sayının da merak uyandıran, ilham veren ve düşünmeye teşvik eden bir okuma deneyimi sunmasını diliyoruz. Görüş, katkı ve önerileriniz bizim için her zaman çok kıymetli.

Keyifli okumalar dileriz.

Not: Bülten çalışmalarını ile ilgili katkı, soru ve önerileriniz için info.arge@toros.com.tr üzerinden bizlere ulaşabilirsiniz.

ISSN numarası: 3108-4923





TOROS TARIM

03

Yapay Zeka Destekli Akıllı Tarım Sistemleri
Sensör, Görüntü İşleme ve Veri Tabanlı
Karar Mekanizmaları

06

Doğal Polimerlerin Gübre
Teknolojisindeki Yenilikçi
Kullanımları

08

Sürdürülebilir İş Modeli Geliştirmek için
Katı Atık Yönetimi ve Karbon Emisyonları
Arasındaki İlişki

11

Büyük Tarım Modeli Nedir,
Hayatımızda Neleri Değiştirecek?



Yapay Zeka Destekli Akıllı Tarım Sistemleri Sensör, Görüntü İşleme ve Veri Tabanlı Karar Mekanizmaları

Günümüzde tarım sektörü; iklim değişikliği, nüfus artışı, sınırlı doğal kaynaklar ve sürdürülebilir gıda üretimi gereksinimleri gibi çok boyutlu küresel sorunlarla karşı karşıyadır. Bu sorunlar, geleneksel tarım yaklaşımlarının yetersiz kalmasına neden olmakta ve veri odaklı, dijital ve akıllı sistemlere olan ihtiyacı artırmaktadır. Akıllı tarım; nesnelerin interneti (IoT), yapay zeka, makine öğrenmesi, derin öğrenme ve büyük veri analitiğinin bütünlük kullanımıyla tarımsal üretimde verimliliği artırmayı, maliyetleri azaltmayı ve çevresel sürdürülebilirliği güçlendirmeyi amaçlamaktadır.

Bu derleme çalışmasında, akıllı tarım uygulamalarında kullanılan güncel yapay zeka ve IoT tabanlı teknolojiler sistematik olarak incelenmiştir. Özellikle evrimsel sinir ağlarına (CNN) dayalı derin öğrenme modellerinin bitki hastalıklarının erken tespiti ve sınıflandırılmasındaki etkinliği literatür ışığında değerlendirilmiştir. Ayrıca uzaktan algılama ve IoT sensör ağlarıyla toprak ve çevresel parametrelerin izlenmesine dayalı akıllı karar destek sistemleri ele alınmış; verim tahmini, bitki gelişim takibi ve model açıklanabilirliğinin sürdürülebilir tarım açısından önemi vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler:

Akıllı tarım, Yapay zeka, Nesnelerin interneti, Derin öğrenme, Bitki hastalığı tespiti

Giriş

Günümüz tarım sektörü; iklim değişikliği, hızlı nüfus artışı, gıda güvenliği ihtiyacının yükselmesi ve sınırlı doğal kaynakların giderek azalması gibi çok boyutlu küresel sorunlarla karşı karşıyadır. Bu sorunlar, tarımsal üretimde yalnızca miktar artışını değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği ve kaynakların etkin kullanımını da zorunlu kılmaktadır. Geleneksel tarım yöntemleri, artan bu gereksinimleri karşılamakta yetersiz kalmakta; veri temelli, esnek ve öngörücü yaklaşımlara duyulan ihtiyaç giderek artmaktadır. Bu bağlamda akıllı tarım, modern bilgi ve iletişim teknolojilerinin tarımsal süreçlere entegre edilmesiyle ortaya çıkan yenilikçi bir paradigma olarak öne çıkmaktadır (Zafar et al., 2025).

Akıllı tarım kavramı; nesnelerin interneti (IoT), yapay zeka (YZ), makine öğrenmesi, derin öğrenme ve büyük veri analitiği gibi teknolojilerin birlikte kullanılmasıyla tarımsal üretim süreçlerinin izlenmesini, analiz edilmesini ve optimize edilmesini amaçlamaktadır. Bu yaklaşım, çiftçilere ve tarım işletmelerine daha doğru, zamanında ve veri destekli kararlar alma imkanı sunarak hem ekonomik verimliliği hem de çevresel sürdürülebilirliği artırmaktadır (Majdalawieh et al., 2025).

Tarım faaliyetlerinin dijitalleşmesiyle birlikte toprak özellikleri, iklim koşulları, su durumu ve bitki sağlığı gibi çok boyutlu veriler sensörler, uzaktan algılama sistemleri ve görüntüleme teknolojileri aracılığıyla sürekli olarak toplanabilmektedir. Toplanan bu veriler, bulut tabanlı altyapılarda depolanmakta ve yapay zeka destekli algoritmalar yardımıyla analiz edilerek anlamlı bilgiye dönüştürülmektedir. Böylece sulama zamanlaması, gübreleme planlaması, hastalık erken uyarı sistemleri ve verim tahmini gibi kritik tarımsal kararlar daha isabetli şekilde alınabilmektedir (Pacal et al., 2024).

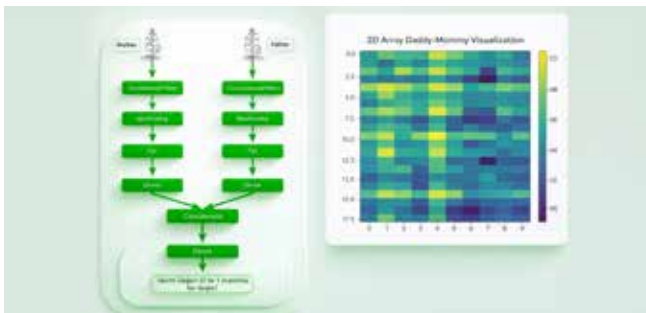
İnsansız hava aracı (UAV) kullanılarak pamuk tarlasından görüntü verilerinin toplanması, verilerin veritabanında saklanması ve genetik uzman katkısıyla derin öğrenme tabanlı sinir ağlarında işlenmesini Şekil 1'de göstermektedir. Evrişimsel sinir ağları (CNN) ve geri yayılım tabanlı modeller aracılığıyla analiz edilen bu veriler, pamuk veriminin gram cinsinden tahmin edilmesini sağlamaktadır.



Şekil 1. UAV Tabanlı Görüntüleme ve Derin Öğrenme ile Pamuk Verim Tahmin Süreci (Unluturk et. al., 2024).

Yapay zeka, özellikle makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleri, akıllı tarım uygulamalarında önemli bir dönüşüm yaratmıştır. Literatürde yer alan birçok çalışma, derin öğrenme tabanlı modellerin bitki hastalıklarının erken teşhisi ve sınıflandırılmasında yüksek doğruluk oranları sağladığını göstermektedir. Özellikle CNN, görüntü tabanlı analizlerde öne çıkmakta ve bitki yapraklarında ya da yüzeylerinde meydana gelen anormallikleri insan gözünden çok daha hassas bir şekilde tespit edebilmektedir (Altalak et al., 2022; Upadhyay et al., 2025).

Anne ve baba verilerinin ayrı evrişimsel katmanlar (convolution, max-pooling, flatten ve dense) üzerinden işlenerek birleştirildiği ikiz (dual-stream) CNN mimarisini Şekil 2(a)'da göstermektedir. Özellik vektörlerinin birleştirilmesi (concatenation) sonrasında elde edilen çıktı, 0–1 aralığında normalize edilmiş bir verim değeri tahmini üretmektedir. Anne ve baba kaynaklı özelliklerin iki boyutlu dizi (2D array) üzerinde yoğunluk temelli bir ısı haritası olarak görselleştirilmesini Şekil 2(b)'de sunmaktadır. Renk skalası, özellik değerlerindeki değişimleri ve ebeveynler arası etkileşim desenlerini vurgulayarak model girdilerinin uzamsal dağılımını ortaya koymaktadır.



Şekil 2. (a) Ebeveyn (Mother–Father) Tabanlı İkiz Evrişimsel Sinir Ağı (CNN) Mimarisi (b) Anne–Baba Verilerinin 2B Matris (Isı Haritası) Gösterimi (TTGV İklim Lab Webinar, 2025).

RGB, multispektral ve hiperspektral görüntüleme teknikleri kullanılarak elde edilen veriler, CNN tabanlı modeller aracılığıyla analiz edilmekte ve hastalık belirtileri erken aşamada tespit edilebilmektedir. Bu durum, hastalıkların yayılmadan kontrol altına alınmasına olanak tanıyarak ürün kayıplarını azaltmakta ve tarımsal üretimde verimliliği artırmaktadır. Ayrıca bu yaklaşımlar, manuel gözleme dayalı yöntemlere kıyasla daha hızlı, tutarlı ve ölçeklenebilir çözümler sunmaktadır.

CNN ve türevleri yalnızca bitki hastalığı tespitiyle sınırlı kalmamakta, aynı zamanda bitki gelişim süreçlerinin izlenmesi, stres durumunun değerlendirilmesi ve sulama ihtiyacının belirlenmesi gibi alanlarda da etkin biçimde kullanılmaktadır. Derin öğrenme modelleri, büyük veri kümeleri üzerinde eğitilerek farklı çevresel koşullara uyum sağlayabilmekte ve güçlü bir genelleştirme yeteneği sunmaktadır. Bu bağlamda veri setlerinin çeşitliliği, veri ön işleme teknikleri ve güvenilir etiketleme süreçleri, model performansını doğrudan etkileyen temel unsurlar arasında yer almaktadır (Çaylı, 2023).

Akıllı tarım sistemlerinde görüntü tabanlı analizlerin yanı sıra, IoT tabanlı sensör ağları da kritik bir rol üstlenmektedir. Toprak nemi, sıcaklık, pH, hava koşulları ve çevresel değişkenler gibi parametreler, sensörler aracılığıyla gerçek zamanlı olarak izlenebilmektedir. Bu sensörler tarafından toplanan veriler, kablosuz iletişim teknolojileri aracılığıyla merkezi sistemlere aktarılmakta ve yapay zeka algoritmalarıyla analiz edilmektedir. Böylece çiftçiler, tarımsal alanlarını uzaktan takip edebilmekte ve anlık müdahalelerde bulunabilmektedir (Gürman & Günay, 2024).

IoT sensör sistemlerinin yapay zeka ile entegrasyonu, sulama ve gübreleme süreçlerinin optimize edilmesini sağlayan akıllı karar destek sistemlerinin geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Bu sistemler, yalnızca mevcut durumu analiz etmekte kalmayıp, aynı zamanda geçmiş verilerden öğrenerek geleceğe yönelik tahminlerde de bulunabilmektedir. Böylece hem su ve gübre gibi girdilerin aşırı kullanımının önüne geçilmekte hem de çevresel etkiler azaltılmaktadır. Yapay zeka tabanlı yaklaşımlar, tarımda yalnızca bitki sağlığı tespitiyle sınırlı kalmamakta; verim tahmini ve bitki gelişim takibi gibi stratejik uygulamalarda da yaygın olarak kullanılmaktadır. Uzaktan algılama verileri, meteorolojik bilgiler ve geçmiş üretim kayıtları birlikte değerlendirilerek ürün miktarı ve kalitesi önceden tahmin edilebilmektedir. Bu durum, tarımsal planlama süreçlerinin daha etkin yürütülmesini sağlamakta ve ekonomik riskleri azaltmaktadır (Shafik et al., 2025).

Akıllı tarım teknolojilerinin yaygınlaşmasıyla birlikte model açıklanabilirliği ve sürdürülebilirlik değerlendirmeleri de giderek önem kazanmaktadır. Günümüzde geliştirilen yapay zeka modellerinin yalnızca yüksek doğruluk sağlaması yeterli görülmemekte; aynı zamanda bu modellerin hangi veriler üzerinden ve hangi karar mekanizmalarıyla sonuç ürettiğinin anlaşılabilir olması beklenmektedir. Açıklanabilir yapay zeka yaklaşımları, kullanıcı güvenini artırmakta ve tarımsal uygulamaların regülasyonu süreçlerine entegrasyonunu kolaylaştırmaktadır (Altalak et al., 2022).

Sonuç

Bu derleme çalışmasında ele alınan bulgular, yapay zeka, nesnelerin interneti ve uzaktan algılama tabanlı akıllı tarım sistemlerinin, tarımsal üretimde verimliliğin artırılması, girdi maliyetlerinin düşürülmesi ve çevresel sürdürülebilirliğin güçlendirilmesi açısından kritik bir rol üstlendiğini ortaya koymaktadır. Bitki hastalıklarının erken tespiti, verim tahmini, gerçek zamanlı sensör verilerinin analizi ve bulut tabanlı karar destek sistemleri, güncel tarım Ar-Ge çalışmalarının temel yapı taşları arasında yer almaktadır. Literatürde sunulan çalışmalar, özellikle derin öğrenme tabanlı modellerin ve IoT destekli izleme sistemlerinin, tarımsal karar alma süreçlerinde yüksek doğruluk ve zaman kazancı sağladığını göstermektedir. Bununla birlikte, büyük ölçekli ve güvenilir veri setlerinin oluşturulması, veri etiketleme süreçlerindeki zorlukların azaltılması, modellerin farklı çevresel koşullara genellebilirliğinin artırılması ve açıklanabilir yapay zeka yaklaşımlarının yaygınlaştırılması, gelecekteki akıllı tarım araştırmaları için öncelikli gelişim alanları olarak öne çıkmaktadır.

Kaynakça:

- 1- Altalak, M., Ammad, M., Alajmi, A., & Rizg, A. (2022). Smart agriculture applications using deep learning technologies: A survey. *Applied Sciences*, 12(9), 1–25.
- 2- Çaylı, A. (2023). Akıllı tarım teknolojileri ve uygulamaları. Akademisyen Yayınevi.
- 3- Gürman, Z., & Günay, F. B. (2024). Nesnelerin interneti yardımıyla akıllı tarımda yapay zekâ tabanlı gübre ve mahsul tahmini. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14(2), 123–135.
- 4- Majdalawieh, M., Martins, C., Radi, M., Alaraj, M., & Khan, S. (2025). Precision agriculture in the age of AI: A systematic review of machine learning methods for crop disease detection. *Smart Agricultural Technology*, 6, 100345.
- 5- Pacal, I., Kunderacioglu, I., Alma, M. H., Deveci, M., Kadry, S., Nedoma, J., Slany, V., & Martiek, R. (2024). A systematic review of deep learning techniques for plant diseases. *Artificial Intelligence Review*, 57, 1–38.
- 6- Shafik, W., Tufail, A., Silva, L. C. D., Apong, R. A. A. H. M., & Kim, K. (2025). Deep learning technique for plant disease classification and pest detection and model explainability elevating agricultural sustainability. *BMC Plant Biology*, 25(112), 1–19.
- 7- Upadhyay, A., Chandel, N. S., Singh, K. P., Chakraborty, S. K., Nandede, B. M., Kumar, M., Subeesh, A., Upendar, K., Salem, A., & Elbeltagi, A. (2025). Deep learning and computer vision in plant disease detection: A comprehensive review. *Artificial Intelligence Review*, 58, 1–45.
- 8- Zafar, A., Faiz, M., & Haque, S. B. U. (2025). Smart agriculture: A review of machine and deep learning techniques. *Journal of Electrical Systems*, 21(1), 45–62.
- 9- TTGV İklim Lab Webinar. (2025). Akıllı tarım teknolojileri ve yapay zekanın rolü: Bir yazılım mühendisinin bakış açısıyla.
- 10- Unluturk M. S., Komesli M., Keceli A. (2024). Convolutional Neural Network for Cotton Yield Estimation. *Studies in Informatics and Control*, 33(2), 109–117.



Doğal Polimerlerin Gübre Teknolojisindeki Yenilikçi Kullanımları

Dünya nüfusu her geçen gün artmakta olup, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agriculture Organization, FAO) verilerine göre 2030 yılına kadar küresel gıda talebinin en az %60 oranında artması beklenmektedir. Günümüzde 800 milyondan fazla insan yetersiz beslenme ile karşı karşıya iken, araştırmalar insan nüfusunun büyüklüğü ve mevcut artış hızının, biyoçeşitlilik kaybında ve gıda kaynaklarının tükenmesinde önemli bir rol oynadığını ortaya koymaktadır [1].

Bunun yanında, tarımsal kaynakların enerji üretiminde artan oranda kullanılması, bu kaynaklara olan talebi her geçen gün arttırmaktadır. Diğer tarafta, bitki hastalıkları, kuraklık ve iklim değişikliği ile ilişkili olarak artan sıcaklıklar, karbondioksit konsantrasyonları, toprak nemindeki azalma ve yağış düzensizlikleri tarımsal üretim ve verimlilik üzerinde tehdit oluşturmaktadır. Tüm bu artan talep ve çevresel tehditler, tarım ürünlerinin gelecekteki gıda ihtiyacını karşılamada yetersiz kalabileceğini göstermekte; verimliliği artıran, sürdürülebilir ve çevresel etkileri azaltan yenilikçi tarımsal yaklaşımların geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

1- Sürdürülebilir Tarımsal Üretim Gerekisini

Mevcut ekosisteme zarar vermeden tarımsal ürünlerin üretim verimliliğini ve etkinliğini artıran uygulamaların geliştirilmesine yönelik, bilimsel araştırmalar her geçen gün artan bir ivmeyle sürdürülmektedir. Bunun için önce bir tarım ürününün büyüme ve gelişme sürecinin temel gereksinimlerinin anlaşılması gerekmektedir. Bitkisel üretimde sadece yeterli miktarda ışık, su, hava ve uygun sıcaklık koşullarının sağlanması yeterli olmayıp, aynı zamanda bitkinin metabolik faaliyetlerini sürdürebilmesi için dış ortamdan çeşitli temel besin elementlerini yeterli ve dengeli şekilde alabilmeleri de büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, besin elementlerinin gübreleme yoluyla sağlandığı göz önünde bulundurulduğunda, gübre teknolojilerinin geliştirilmesi, tarımsal verimlilik ve çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik önem taşımaktadır.

2- Geleneksel Gübreleme

Geleneksel gübrelemede, bitkiler uygulanan besin maddelerinin yalnızca sınırlı bir kısmını emebilmekte, geri kalan ise akıntı, sızıntı, fiksasyon ve buharlaşma gibi süreçler yoluyla kaybolmaktadır. Küresel olarak azot bazlı gübrelerin kullanımı yılda 115 milyon tonu aşmakta ve bunun yaklaşık 75 milyon tonu sızıntı veya buharlaşma yoluyla çevreye karışarak, CO₂'den yaklaşık 310 kat daha güçlü bir sera gazı olan azot oksit emisyonuna yol açmaktadır [2]. Benzer şekilde, fosfor kayıpları da sucul ekosistemlerde ötrofikasyona katkıda bulunmaktadır. Yüksek su çözünürlüğüne sahip sentetik gübreler, bu kayıplar nedeniyle aşırı uygulanmakta ve çevresel kirlenmeye, toprak bozulmasına ve su besin dengesinin bozulması gibi olumsuz ekosistem etkilerine yol açmaktadır. Besin alımındaki bu verimsizlik ve gübrelerin yanlış yönetimi, sürdürülebilirlik endişelerini daha da artıran bir tüketim döngüsü oluşturmaktadır [3].

3- Doğal Polimerlerin Kullanımı ve Potansiyel Uygulamaları

Polimerler, gübreleme uygulamalarında farklı amaçlara hizmet eden çok yönlü malzemeler olarak son yıllarda araştırmacıların yoğun ilgisini çekmektedir. Sahip oldukları eşsiz fiziksel ve kimyasal özellikler sayesinde, besin elementlerinin taşınması, korunması ve bitki ihtiyaçlarına uygun şekilde kontrollü salınması gibi çeşitli uygulamalarda önemli potansiyel sergilemektedirler. Polimerler, doğal ve sentetik olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır; bitkiler, hayvanlar ve mantarlar gibi doğal kaynaklardan elde edilen doğal polimerler, petrol bazlı sentetik polimerlere kıyasla biyolojik olarak parçalanabilir, biyolojik uyumlu ve yenilenebilir alternatifler sunmaktadır. Bu özellikleri sayesinde doğal polimerler, gübre teknolojisinde birçok yenilikçi uygulamada öne çıkmaktadır; bunlar arasında gübrenin kaplanması, kontrollü salım sistemleri, yavaş salınımlı besin matrislerinin oluşturulması, hidrojel taşıyıcı sistemler aracılığıyla su ve besin tutulumunun artırılması, toprak düzenleyici, çevresel koşullara duyarlı akıllı salım sistemleri ve biyosensörler yer almaktadır [4]. Bu çok yönlü kullanım alanları, doğal polimerlerin tarımsal verimliliği artırırken çevresel kayıpları minimize eden sürdürülebilir çözümler sunmasını sağlamaktadır.

Çeşitli araştırmalar, besin iletimini ve tarımsal performansı artırmaya odaklanarak, farklı biyopolimer matrislerinin gübre taşıyıcı olarak potansiyelini incelemiştir. Biyopolimer bazlı gübre kaplama sistemlerinde sentez sürecinde kapsülleme, kaplama, karıştırma, polimerizasyon, çapraz bağlama, hidrojel oluşturma gibi çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Sentez verimi ve süreci, kullanılan biyopolimer ve yüklenen gübre türüne bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Literatürde en yaygın olarak kullanılan doğal polimerler arasında kitosan, aljinat, selüloz ve türevleri, nişasta ve lignin yer almaktadır. Kitosan, mantarlar, deniz kabukluları ve böcekler gibi çeşitli doğal kaynaklardan elde edilen kitinin deasetilasyonu sonucu üretilen doğal bir polisakkarittir. Amino gruplarının varlığıyla kitosan, diğer bileşiklerle kompleks oluşturabilir ve ayrıca bitkilerin vasküler sistemine girerek bitkilerin metabolik-fizyolojik yollarının aktivasyonuna yol açabilir.

Kitosan, biyoyumlu yapısı, biyolojik olarak parçalanabiliyor olması, toksik olmaması ve yüksek adsorpsiyon kapasitesi sayesinde tarım kimyasallarının kontrollü salımında taşıyıcı malzeme, kaplama malzemesi ve hidrojel akıllı sistemler olarak sıklıkla tercih edilmektedir. Gübre etken maddelerinin nano ve mikro yapılarla hazırlanabilen kitosan matrisi içerisinde kapsüllemesi, bu maddelerin kuruluk ve su kaybı gibi çevresel etkenlerden korunmasını sağlamakta ve ardından kontrollü bir şekilde salınmalarına olanak tanımaktadır [1].

Diğer bir biyopolimer olan aljinat, başlıca kahverengi deniz yosunlarından (Phaeophyceae) elde edilen, lineer yapı, anyonik ve biyolojik olarak parçalanabilir bir polisakkarittir. Aljinat ve türevleri özellikle kalsiyum iyonları ile çapraz bağlanabilme özelliği sayesinde mikrokapsül ve jel bazlı salım sistemlerinde etkili bir matris materyali olarak rapor edilmiştir [5]. En bol bulunan polimerler arasında yer alan nişasta ise, başlıca bitkisel kaynaklardan (mısır, patates, buğday vb.) elde edilen, amiloz ve amilopektin bileşenlerinden oluşan doğal bir polisakkarittir. Düşük maliyetleri ve film oluşturma özellikleri nedeniyle yavaş salınımlı besin matrislerinin geliştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca selüloz ve lignin gibi diğer doğal polimerler de kaplama malzemesi veya kompozit yapıların bir bileşeni olarak kontrollü salım performansını iyileştirmek amacıyla değerlendirilmiştir. Lignin, kompozit yapıyı koruma işlevi görebilir ve bağlı gübrelerin salınımlı kademeli olarak parçalanabilir. Bu çalışmalar, doğal polimerlerin gübre etkinliğini artırırken besin kayıplarını azaltma ve çevresel etkileri minimize etme potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Sonuç

Mevcut tarım ürünleri ve uygulamaları üzerine artan kaygılar göz önüne alındığında, çevre dostu, sürdürülebilir ve etkin gübreleme teknolojilerinin geliştirilmesi zorunlu bir hal almıştır. Bu tür sistemlerin geliştirilmesi için özellikle kaplama malzemesi olarak kullanılan biyopolimerler ve kompozitlerinin tarımsal uygulamalardaki potansiyeli açıkça ortadadır. Doğal polimerler; biyolojik olarak parçalanabilir, biyoyumlu ve yenilenebilir yapıları sayesinde gübre teknolojilerinde çevre dostu alternatifler olarak öne çıkmaktadır. Ancak bununla birlikte, biyopolimerlerin gübre teknolojisinde yaygın kullanımının önündeki temel kısıtlar arasında üretim maliyetleri, ölçeklenebilirlik, düşük mekanik özellikler, çevresel parçalanma hızı kontrolü ve saha koşullarındaki performanslarının sınırlı sayıda çalışmada değerlendirilmiş olması yer almaktadır. Gelecekte, farklı doğal polimerlerin kompozit yapılar hâlinde birleştirilmesi, çevresel koşullara duyarlı akıllı salım sistemlerinin geliştirilmesi ve sera ile tarla denemelerine dayalı uygulamalı çalışmaların artırılması, bu alandaki bilgi boşluklarının giderilmesine katkı sağlayacaktır. Bu sistemlerin ekonomik olarak uygulanabilir hâle getirilmesi ve tarımsal uygulamalara entegrasyonu, geleceğin çevre dostu ve sürdürülebilir tarım stratejilerinin önemli bir bileşeni olacaktır.

Kaynakça:

1- Riseh, R.S., Vazvani, M.G., Kennedy, J.F.: The application of chitosan as a carrier for fertilizer: A review. *Int. J. Biol. Macromol.* 252, 126483 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126483>

2- Mahmud, K., Panday, D., Mergoum, A., Missaoui, A.: Nitrogen Losses and Potential Mitigation Strategies for a Sustainable Agroecosystem. *Sustain.* 2021, Vol. 13, Page 2400. 13, 2400 (2021). <https://doi.org/10.3390/SU13042400>

3- Ravindran, A., Manivannan, A.C., Kandaiah, R., Kulanthaisamy, M., Indirathan, S.C., Nachimuthu, G., Panneerselvan, L., Palanisami, T.: Advancements and challenges in controlled-release fertilizers: An approach to integrate biopolymer-based strategies. *Ind. Crops Prod.* 233, 121349 (2025). <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.121349>

4- Ali, S.R., Che Zain, M.S., Yahya, E.B.: Biopolymers in sustainable agriculture: A review on their roles in precision farming and composite fertilizers. *Polym. Bull.* 2025 831, 83, 16- (2025). <https://doi.org/10.1007/S00289-025-06069-8>

5- El Idrissi, A., Tayi, F., Dardari, O., Essamlali, Y., Joui, I., Ayouch, I., Akil, A., Achagri, G., Dänoun, K., Amadine, O., Zahouily, M.: Urea-rich sodium alginate-based hydrogel fertilizer as a water reservoir and slow-release N carrier for tomato cultivation under different water-deficit levels. *Int. J. Biol. Macromol.* 272, (2024). <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132814>



Sürdürülebilir İş Modeli Geliştirmek için Katı Atık Yönetimi ve Karbon Emisyonları Arasındaki İlişki

İklim değişikliği ve endüstriyel atık yönetimi gibi artan çevresel sorunlar, yeni ve verimli çözümler geliştirme konusunda baskı oluşturmaktadır. Ayrıca, küresel nüfus artışı, yeterli ve güvenli gıda tedariki açısından insanlık için artan bir başka zorluktur. Birleşmiş Milletler tarafından belirlenmiş olan Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri doğrultusunda kaynakların verimli kullanımı ve döngüsel iş modellerinin geliştirilmesi gittikçe önem kazanmaktadır.

Bu kapsamda, fosforik asit üretiminde oluşan fosfojipsin farklı hammadde kaynakları için ikincil kaynak olarak kullanımına yönelik çalışmalar da mevcuttur. Kalsiyum sülfat dihidrat olarak tanımlanan fosfojips, alkali sülfat tuzlarının üretiminde kullanım için uygun bir malzemedir. Amonyum sülfat da azot ve kükürt içeriği açısından yaygın olarak kullanılan bir gübre türüdür. Jipsin amonyum karbonat ile dönüşüm reaksiyonu ile amonyum sülfat ve kalsiyum karbonat üretimi olarak tanımlanan jips prosesi, küresel ısınmaya ve katı atık yönetimi sorunlarına karşı ikili avantajlar sunmaktadır. Amonyum karbonat ise amonyak ve karbondioksit hammaddeleri kullanılarak üretilmesi sebebiyle jips proselinin stratejik önemi daha da artmaktadır, çünkü hem fosfojips tüketimi hem de amonyum sülfat üretimi için düşük maliyetli hammadde temini ve karbondioksit tüketimi sağlar. Bu mini derleme yazısı ile karbondioksit tutulumu ve düşük maliyetli amonyum sülfat üretimi de dahil olmak üzere, fosfojips için alternatif bir kaynak kullanım yolunun tartışmasını sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler:

Amonyum sülfat, karbon tutma yakalama, sera gazı emisyonu, fosfojips, katı atık yönetimi

Giriş

Global nüfus artışına bağlı olarak endüstriyel üretim kapasitelerinde meydana gelen sürekli artış ve üretim süreçlerinin artan enerji talebi beraberinde sebep-sonuç ilişkisine bağlı olan birtakım çevresel riskleri gündeme getirmektedir. Fosil yakıt kaynaklı üretim proseslerinin artan üretim kapasitesi hem sınırlı olan doğal kaynakların geri dönüştürülemez şekilde tüketimine sebep olmakta, hem de sera gazı salınımı sonucu küresel ısınma sürecine olumsuz etki göstermektedir [1,2].

İklim değişikliği ile mücadele kapsamında net sıfır emisyon hedeflerinin karşılanması için sürdürülebilirlik ideolojisi, kaynakların sürdürülebilir yönetimi ve endüstriyel üretim proseslerinde yeşil dönüşüm ve endüstriyel karbonsuzlaştırma süreçlerine yönelik çalışmalar gittikçe odak noktası haline gelmektedir.

Kaynakların sürdürülebilir yönetimi alanı ise geleneksel lineer ekonomi sistemi ile mümkün olmamaktadır. Bu alanda özellikle son 10 yıllık süreçte döngüsel ekonomi uygulamalarına yönelik çalışmalar dikkat çekici boyuta gelmiştir. Döngüsel ekonomi süreci ile üretim prosesinde oluşan ve geleneksel lineer ekonomi sisteminde "atık" olarak değerlendirilen malzemelerin, "yan ürün" olarak değerlendirilebilecekleri alanlarda yeniden kullanım döngüsüne dahil edilmelerine yönelik proses geliştirme çalışmaları yoğun bir şekilde sürdürülmektedir. Bu malzemelerin üretim zincirinde sürekliliğinin sağlanması ile döngüsel ekonomi uygulamaları alanında geliştirilmiş olan modellerin hayata geçtiği birtakım uygulamalar bulunmaktadır.

2. Fosfojips Ve Sürdürülebilir Kaynak Yönetimi

Fosfojips (PG) ıslak proses ile fosforik asit üretiminde açığa çıkan bir yan üründür. Kimyasal açıdan doğal alçıya benzer olmakla birlikte, yapısında proses artığı birtakım safsızlıklar bulundurmaktadır. Dünya genelinde PG birikimi yılda 300 Mton'a ulaşmıştır, PG yığınlarının büyük miktarlarda olması ve malzemenin yapı itibarıyla endüstriyel anlamda kullanılabilir potansiyelinin bulunması, yığınların ekonomik anlamda değerlendirilebileceği hem ekonomik hem de çevresel anlamda umut vadeden alternatif kullanım alanlarının araştırılmasını gündeme getirmiştir [3].

İklim değişikliği ile mücadele ve sanayileşme kapasitesinin artması ile daha çok gündeme gelen endüstriyel atık yönetimi konuları yeni ve etkili çözüm mekanizmalarının geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Bu konulara ek olarak, düzenli olarak artan küresel nüfus artışı yeterli ve güvenli gıda temini ile gıdanın dengeli dağılımı açısından ayrı bir risk teşkil etmektedir [4,5]. Endüstriyel kapasitesinin artması ile küresel ısınmanın öncelikli sebebi olan karbon emisyonlarının artması ve üretim prosesine bağlı olarak oluşan endüstriyel katı atık oluşumuna ek olarak, nüfus artışı ile doğru orantılı olarak gıda talebinde meydana gelen artış da tarımsal uygulamalarda elde edilen verimin artırılması hususunun gerekliliğini vurgulamaktadır. Tarımsal verimin artırılması konusu da gübre üretim kapasitesinde artış ile bağlanmakta, sonuç yine endüstriyel üretim kapasitesinde artış yapılması gerekliliği ile proses doğası gereği endüstriyel atık oluşumunun gözlemlenmesi olmak üzere döngüsel bir zincir gözlemlenmektedir. Fosforik asit, fosfatlı gübrelerin üretiminde kullanılan ana girdidir. Fosfatlı gübre kullanım kapasitelerindeki artış da fosforik asit üretim kapasitesini doğru orantılı bir şekilde arttırmış ve artan ihtiyacı karşılamak amacıyla global fosforik asit üretiminde de artış meydana gelmiştir. Endüstriyel ölçekte "yaş proses" olarak adlandırılan metotla üretimi gerçekleştirilen fosforik asit, beraberinde fosfojips oluşumunu da tetiklemektedir. Fosfojips ise, yukarıda bahsedildiği üzere kimyasal açıdan doğal alçıya olan benzerliği sebebiyle endüstriyel uygulamalarda doğal alçının kullanıldığı çeşitli alanlarda kullanım potansiyeli barındıran bir malzemedir. Fakat, içerisinde bulunan safsızlıklar sebebiyle non-homojen ve değişkenlik gösteren yapı ile fosfojips fosfatlı gübre endüstrisinin karşı karşıya kaldığı birtakım çevresel riskleri de beraberinde bulundurmaktadır. Dolayısıyla, çoğu uygulama öncesinde fosfojipsin alana uygun ön işlemden geçirilmesine yönelik bir takım ön prosedürler uygulanmaktadır.

Fosfojipsin tarımsal uygulamalarda kullanımı ise yeni bir alan değildir. PG, yapısında kalsiyum (Ca), fosfor (P) ve kükürt (S) bulundurulması sebebiyle tarımsal faaliyetlerde gübre katkısı olarak kullanıma uygun bir malzemedir ve toprak düzenleyici veya gübre olarak kullanımına yönelik çeşitli çalışmalar mevcuttur. PG'de safsızlık olarak bulunan fosfor pentaoksit (P₂O₅), yine PG'deki diğer bir safsızlık olan florun etkisini bastırıcı rol oynadığından, fosfor pentaoksitten arındırılmasına gerek kalmamaktadır. Yine yaklaşık olarak sırasıyla kütlece %55 ve %30 oranında sülfat (SO₄) ve kalsiyum oksit (CaO) içermesi sebebiyle bitki gelişimine olumlu etki yapabilecek kalsiyum ve kükürdü bünyesinde bulundurmaktadır. PG, kalsiyum, fosfor ve kükürt açısından zengin içeriğe sahip olması, gözenekli ve asidik yapısı sebebiyle toprağın fiziksel ve kimyasal yapısını iyileştirici etki göstermekte, toprak pH'sını ve toprak erozyonunu azaltıcı etki göstermektedir. Kimyasal yapısında yüksek oranda bulunan sülfat miktarı sebebiyle sülfat tuzlarının üretiminde hammadde olarak kullanımı da aynı bir

kullanım alanı olarak dikkat çekmektedir. Sodyum, amonyum ve potasyum sülfat gibi çeşitli alkali tuzlarının üretiminde fosfojipsin kullanımına dair çeşitli çalışmalar mevcuttur [6,7]. Amonyum sülfat da kütlece %27 oranında amonyum, %72 oranında sülfat içeren bir sülfat tuzudur ve tarımsal uygulamalarda azot ve/veya kükürt kaynağı olarak kullanılan çok fonksiyonlu bir gübreleme ürünüdür. AS eldesi için literatürde belirtilmiş olan yöntemler;

- I. Sülfürik asit üretim tesislerinde baca gazının amonyak (NH₃) ile yıkanması,
- II. Kok gazının sülfürik asit ile yıkanması,
- III. kaprolaktam ((CH₂)₅COHN) üretim prosesinde yan ürün olarak ve
- IV. ipsis (CaSO₄) amonyum karbonat ((NH₄)₂CO₃) ile reaksiyonudur. Amonyak veya amonyum hidroksit (NH₄OH) sülfürik asit ile reaksiyonu genellikle demir-çelik veya madencilik sektörlerinde baca gazını temizlemek amacıyla gerçekleştirilmektedir [8-11]

Bu kapsamda, jips metodu ile amonyum sülfat gübresi üretim prosesi hem atık geri dönüşümü hem de endüstriyel karbonsuzlaştırma hedeflerinin ikisine aynı anda hizmet eden bir yöntem olarak dikkat çekmektedir. Proses, kalsiyum sülfat ile amonyum karbonat reaksiyonu ile amonyum sülfat üretimi olarak tanımlanabilmektedir. Amonyum karbonat proseste ara ürün olarak kullanılmakta olup, temelde amonyum hidroksit ve karbondioksit reaksiyonu ile üretilmektedir [12]. Bu kapsamda jips prosesi 2 aşamaya ayrıldığında ilk adım olan amonyum karbonat üretiminde karbondioksit tüketimi, ikinci aşama olan amonyum sülfat üretiminde ise fosfojips tüketimi mümkündür. Reaksiyon sonucu elde edilen amonyum sülfat gübresi ise hem azot hem de kükürt içermesi sebebiyle tarımsal uygulamalarda çokça tercih edilen bir gübre ürünüdür.

Güncel ve sürekli değişen iklim koşullarında sürekli artan gıda talebini karşılayabilmek amacıyla alınabilecek en mantıklı aksiyon sürdürülebilir tarımsal uygulamaların geliştirilmesidir [13]. Bu kapsamda örnek olarak verilen jips prosesi, hem karbon emisyonu azaltımı ve atık yönetimi hem de düşük maliyetli amonyum sülfat gübresi üretimini sağlayabilmesi açısından döngüsel iş modeli uygulamalarına verilebilecek güzel bir örnek olma özelliğini taşımaktadır.

Sonuç

Küresel nüfus artışı, sanayileşme ve tarımsal uygulamalardaki kapasite artışına bağlı olarak çevresel olumsuz etkilerin gözlemlenmesi küresel ısınmanın sonuçlarıdır. Nüfus artışı, tarımsal verimi artırmanın ana itici gücüdür ve çözüm, mineral gübrelerin kullanılmasıdır ve Yeşil Devrim'den bu yana mineral gübrelere olan talep artış eğilimi göstermektedir. Bu kısır döngü, sınırlı küresel kaynakları sağlamak açısından endişe verici bir durum oluşturmakta ve "sürdürülebilirlik" gibi yeni terimler ortaya çıkmaktadır. Küresel talebi karşılamak ve üretim süreçleri için sürdürülebilir bir tedarik zinciri sağlamak önemlidir. Endüstriyel atık yönetimi, endüstriyel yan ürünleri veya atık malzemeleri ikincil kaynaklar olarak sağlayarak kaynak tüketim oranında bir dengeyi sürdürmek için umut verici bir yaklaşımdır. Ayrıca, endüstriyel ve antropolojik kaynaklı emisyonların neden olduğu küresel ısınma ve iklim değişikliği de çevre için endişe verici risk faktörleridir. CO₂, sera gazı emisyonlarını etkileyen en önemli parametredir ve iklim değişikliği ve küresel ısınma sorunlarıyla mücadele etmek için bazı önlemler alınması önemlidir. Bu çalışma, karbon emisyonları ve katı atık yönetimi ile ilgili mevcut çevre sorunları arasındaki ilişkiyi kısaca ele almakta ve jips prosesi yoluyla potansiyel bir çözüm sunmaktadır. Bu süreçte, ıslak işlem fosforik asit üretiminde ortaya çıkan bir yan ürün olan fosfojips ve CO₂ hammadde olarak kullanılmaktadır. CO₂, ara ürün olarak amonyum karbonat üretiminde kullanılır ve fosfojips, üretilen amonyum sülfatın sülfat kaynağı olarak kullanılmaktadır.

Amonyum sülfat, kimyasal yapısında hem azot hem de kükürt sağladığı için önemli bir tarımsal girdidir. Jips prosesi, mevcut çevre sorunlarına umut verici potansiyel çözümler sunsa da, prosesin teknik ve ekonomik uygulanabilirliği ayrıntılı olarak değerlendirilmelidir. Jips süreci, PG ve CO₂ tüketimi ile amonyum sülfat üretimi açısından sanayileşmenin etkilerini hafifletmek için umut verici bir alternatif olabilir. Bu stratejik süreç, atık yönetimi, küresel ısınmayla mücadele önlemleri ve tarımsal uygulamalarda kullanılan ve çok aranan bir ürün olan amonyum sülfat üretimi için düşük maliyetli ve sürdürülebilir hammadde temini açısından avantajlar sağlayacaktır.

Kaynakça:

- 1- Rehman, A., H. Ma, I. Ozturk, and R. Ulucak. 2022. "Sustainable Development and Pollution: The Effects of CO2 Emission on Population Growth, Food Production, Economic Development, and Energy Consumption in Pakistan." *Environmental Science and Pollution Research* 29: 17319–17330.
- 2- Chien, F., C. C. Hsu, I. Ozturk, A. Sharif, and M. Sadiq. 2022. "The Role of Renewable Energy and Urbanization Towards Greenhouse Gas Emission in Top Asian Countries: Evidence From Advance Panel Estimations." *Renewable Energy* 186: 207–216.
- 3- Pliaka, M., and G. Gaidajis. 2022. "Potential Uses of Phosphogypsum: A Review." *Journal of Environmental Science and Health, Part A* 57, no. 9: 746–763.
- 4- Matveeva, V. A., Y. D. Smirnov, and D. V. Suchkov. 2022. "Industrial Processing of Phosphogypsum Into Organomineral Fertilizer." *Environmental Geochemistry and Health* 44, no. 5: 1605–1618.
- 5- Wu, F., Y. Ren, G. Qu, et al. 2022. "Utilization Path of Bulk Industrial Solid Waste: A Review on the Multi-Directional Resource Utilization Path of Phosphogypsum." *Journal of Environmental Management* 313: 00.
- 6- Chernysh, Y., Yakhenko, O., Chubur, V., Roubik, H. (2021). "Phosphogypsum recycling: a review of environmental issues, current trends, and prospects", *Applied Sciences*, 11 (4), 1575.
- 7- Canovas, R. C., Macias, F., Perez- Lopez, R., Basallote, M. D., Millan-Becerro, R., (2018). "Valorization of wastes from the fertilizer industry: current status and future trends, *Journal of Cleaner Production*, 174, 678-690.
- 8- Ennaciri, Y., Bettach, M. (2018). "Procedure to convert phosphogypsum waste into valuable products, *Materials and Manufacturing Processes*, 1476763.
- 9- Hammas-Nasri, I., El Gharbi, S., Ferhi, M., Horchani-Naifer, K., Ferid, M. (2020). "Investigation of phosphogypsum valorization by the integration of the Merseburg method", *New Journal of Chemistry*, 44 (19).
- 10- Bouargene, B., Marrouche, A., El Issioui, S., Biyoune, M. G., MAbrouk, A., Atbir, A. Bachar, A., Bellajrou, R., Boukbir, L., Bakiz, B. (2019). "Recovery of Ca(OH)2, CaCO3, and Na2SO4 from Moroccan phosphogypsum waste", *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 21, 1563-1571.
- 11- Abbas, K. (2010). "Study on the production of ammonium sulfate fertilizer from phosphogypsum", *Engineering and Technology Journal*, 29, 814-821.
- 12- Danielik, V., P. Fellner, J. Jurisova, and M. Kralik. 2016. "Determination of the Reactivity of CaSO4 · 2H2O." *Acta Chimica Slovaca* 9, no. 1: 1.
- 13- Petrillo, A., F. Colangelo, I. Farina, M. Travaglini, C. Salzano, and R. Cioffi. 2022. "Multi-Criteria Analysis for Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing of Lightweight Artificial Aggregates From Industrial Waste by Double-Step Cold Bonding Palletization." *Journal of Cleaner Production* 351: 131395



Büyük Tarım Modeli Nedir, Hayatımızda Neleri Değiştirecek?

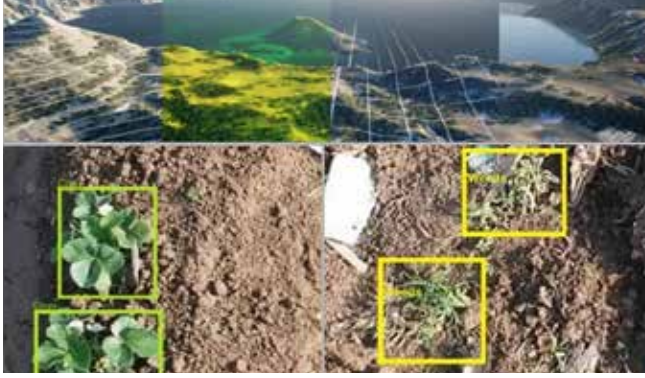
Tarım, tarih boyunca medeniyetin ve gelişmişliğin sembolü olmuştur. Hatta bilim halen uygarlıkların seviyesini tarımsal faaliyetleri ve refahı ile ölçmekte. Tam da bu sebeptendir ki er ya da geç tüm teknolojik devrimler Tarım 'a bağlanmakta. Binlerce yıldır süren yenilik ve adaptasyon yolculuğunun değişmeyen kuralı budur. Son 20 yılda yaşanan teknolojik atılımlar haberleşme, ulaşım, savunma gibi alanlarda büyük değişimler üretirken tarım ekosistemi de yavaş yavaş bu dönüşümden pay almaya başlıyor. Bu dönüşümün en büyük aktörlerinden birisi de "Büyük Tarım Modeli" dir.

"Büyük Tarım Modeli"ni; insana benzer şekilde düşünmek, anlamak, işlemek ve üretmek için tasarlanmış yapay zeka destekli bir platform olarak düşünebiliriz. Bu platform tarım alanında büyük miktarda metin ve veri üzerinde eğitilmiş, doğal, sohbete dayalı bir şekilde etkileşim kurabilir olmalıdır (Borrero, J. D 2022). Soruları yanıtlamak, tahminlerde bulunmak ve çok miktarda bilgiyi analiz etmek için kurgulanmalıdır. Ancak her teknolojik atılım gibi bu devasa model de akademik birikim, saha tecrübesi ve inovasyon ile mümkün. Ve bu becerileri inşa etmenin ilk adımı fiziksel dünyanın 1:1 ölçekli bir dijital kopyasını kurmak ile başlıyor, yani META ile.

1- Dijital İkiz İnşası ve META

İster enerji ister tarım alanında olsun bir veriyi anlamlı hale getirmek için cisim uzayındaki bir nesne ile ilişkilendirmek gerekir. Yani bir rakamı ya da matematiksel fonksiyonu koordinat sisteminde bir noktaya bağlamak esastır. Veri ve koordinat sisteminin birlikte çalıştığı metodolojiyi Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) olarak adlandırmaktayız. Coğrafi Bilgi Sistemleri, uzaktan algılama ve Dijital İkiz gibi teknolojiler sürdürülebilir tarımın teşvik edilmesinde ve gıda güvenliğinin sağlanmasında önemli rol oynamaktadır. Konum tabanlı tarımsal verileri kullanmaktaki amacımız bilinçli kararlar alabilmek, kaynak yönetimini optimize etmek ve çevresel etkiyi en aza indirmektir. (Ata, B., Makhanov 2024).

Dijital İkiz'i inşa etmenin ilk adımı tarımsal arazilerin dijital uzayda konumlandırılmasıdır. Uçak yolculuğu yaparken camdan baktığınızda gördüğünüz uçsuz bucaksız yer şekillerinin yönetilebilir "arazi" parçalarına dönüştürüldüğünü düşünün. Balıkesir'in Kepsut İlçesi, Örenli mahalindeki bir zeytin tarlasının 3 boyutlu bir modelini elinizde tuttuğunuzu hayal edin. Bu modeli kullanarak toplam ekim alanını, içindeki ağaç sayısını, arazinin eğimini anlamak çok kolayken, konum bilgisini kullanarak iklim faktörlerini ve lojistik şartlarını yorumlamak da mümkün olmaktadır. Bu modele arazinin tarihsel yolculuğunu, ilaçlama, sulama gibi harici faktörleri de eklerseniz ileri seviye tahminler yapmak için her şeye sahipsiniz demektir.

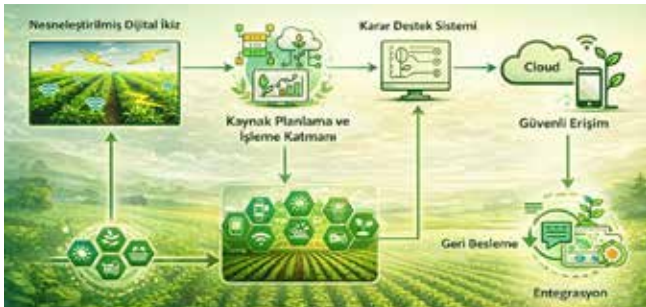


Şekil 1. Uydu ve Görüntü İşleme Destekli Dijital İkiz.

Bu konsept güzel olmakla birlikte, geleneksel Dijital İkiz yaklaşımı hassas modelleme için pahalı cihaz kurulumları (CAPEX) ve sürekli erişim maliyetleri (OPEX) gibi yatırımlar talep etmekte. Tarım'da bu dönüşümü zorlaştıran en büyük etken de coğrafi olarak dağınık milyonlarca noktaya bu yatırımları yapmanın mümkün olmaması olarak karşımıza çıkıyor. Çiftçi ve üreticiler genellikle uygun maliyetli, ölçeklenebilir çözümlere ihtiyaç duymakta (Un, Citation2024). Bu sebeple cihaz bağımlı modeller, tarım uygulamalarının sürdürülebilirliğini ve dinamik değişimleri hesaba katmada başarısız oluyor (Ata, B., Makhanov 2021). Bu zorlukların üstesinden gelmek için, gerçek zamanlı verileri güçlü karar verme araçlarıyla birleştirilen, ölçeklendirmek üzere tasarlanmış birleşik bir sistem gerekmektedir (Mowla, 2023). Bu makalede veri toplama, yönetim, karar desteği teknolojisinin SA'daki rolüne ilişkin kapsamlı bir genel bakış sunmayı amaçlamaktadır (Saranya, 2023).

Deepwise olarak kamera, sensör gibi IoT cihazlarını içermeyen, ilk kurulum ve işletme maliyetinin minimum olduğu, yapay zeka içeren bir metod geliştirdik. Bu metod ile 2 boyutlu güncel uydu görüntülerini 3 boyutlu yönetilebilir nesnelere çevirirken, arazide çekilen rutin fotoğrafları da ürün bilgisi, kalite ve rekolteyi tahminleyen analitiklere çevirmeyi hedefliyoruz.

Yapay Zeka destekli dijital ikiz yaklaşımının sürdürülebilir tarımdaki temel uygulamalarından biri hassas tarımdır (Bhat, S. A 2021) Akıllı modeller kullanarak ekim, gübreleme ve sulama kararlarına rehberlik eden haritalar oluşturulabilir. Bu yaklaşım, su, gübre ve böcek ilacı gibi kaynakların verimli kullanılmasına olanak tanıyarak daha yüksek mahsul verimine ve daha az çevresel etkiye yol açar (Song, M.,2019). Coğrafi verileri analiz ederek mahsulleri korumak için zamanında ve hedefe yönelik eylemler gerçekleştirilebilir.



Şekil 2. Veri Toplama, İşleme ve Karar Verme Akış Diyagramı.

2. Büyük Tarım Modeli

İDijital İkiz ve Coğrafi Bilgi Sistemi sayesinde nesneleştirdiğimiz arazi öğeleri için bir sonraki adım Büyük Dil Modeli'dir. Bu modeller ürün türleri, arazi özellikleri, çevresel faktörler ve yönetim uygulamaları dahil olmak üzere geniş bir veri yelpazesini kapsayan tarımsal bilgileri içermelidir (Li, Y. L., Tsang 2024). Amaç tarımsal alandaki farklı varlıklar arasındaki karmaşık ilişkileri modellemek ve sonuçları görebilmektir. Bu sonuç sayesinde yalnızca tarımsal terminolojiyi ve bağlamı anlamakla kalmayıp aynı zamanda bu anlayışı karar vermeyi geliştirmek için kullanan sistemler oluşturulabilir (Peng 2025). Eğitilmiş ve yapılandırılmış verileri minimum insan müdahalesi veya hiç insan müdahalesi olmadan çıkarmak için derin öğrenme tekniklerine ihtiyaç vardır (Gomes, A 2024). Derin öğrenmenin yapı taşı ise ülkemizin tarım alanında biriktirdiği tarihsel verilerdir. 3 boyutlu hale getirilen arazilere tarihsel ürün, iklim verileri bağlanarak akıllı bir kütüphane kurulur. Görüntü ve metin işleme teknikleri ile de bu kütüphanenin yeni tahminler üretmesine zemin hazırlanır. Bu yaklaşımın LLM'lerden (Large Language Model) temel farkı yüzeysel bilgi yerine sektör ve ülkeye özel terimleri içeren, uzman görüş sahibi bir arayüz olmasıdır. Büyük Tarım Modeli ile ulaşılabilecek faydaları aşağıdaki şekilde detaylandırabiliriz.

3. Hassas Tarım ve Veri Analizi

Çiftçilik artık sadece tohum ekmekten ibaret değil; akıllı tarımla ilgili. Büyüm Tarım Modelleri, üretkenliği ve sürdürülebilirliği artıran bilgiler sağlamak için toprak koşulları, hava koşulları, mahsul sağlığı ve hatta pazar eğilimleri gibi çok miktarda tarımsal veriyi analiz edebilir (Panduranga, K. M 2024). Sulama, gübre kullanımı ve ürün rotasyonu konusunda öneriler sunarken, üreticilerin verimlerini optimize etmelerine ve maliyetleri azaltmalarına yardımcı olur (Khan, W., 2024). Arazinizin toprak sağlığı hakkında bir yapay zeka modeline soru sorduğunuzu ve neyi ne zaman ekeceğinizi konusunda ayrıntılı, uygulanabilir tavsiyeler aldığınızı hayal edin.



Şekil 3. Veri ile Sınıflandırılmış Arazi Harita Örnekleri.

4. Gerçek Zamanlı Mahsul İzleme ve Hastalık Tespiti

Akıllı teknolojiler olmadan mahsullere zarar verebilecek zararlıların veya hastalıkların erken belirtilerini tespit etmek oldukça zordur. Makine öğrenimi ve görüntü tanıma ile birleştirilen Büyük Tarım Modelleri, hastalıkları, zararlıları veya besin eksikliklerini tahminlemek için mahsullerin görüntülerini kullanabilir. Bu modeller üreticilere sorunları yayılmadan önce nasıl tedavi edecekleri veya önleyecekleri konusunda öneriler sunarak zamandan, kaynaklardan ve mahsulden tasarruf sağlayabilir.

5. Piyasa İlgörüleri ile Geliştirilmiş Karar Verme

Tarımın tek odağı mahsullerin üretimi değildir, aynı zamanda yetişen ürünler için en iyi fiyatı almak için piyasayı da takip etmek gereklidir. Doğru kurgulanmış bir Tarımsal Model fiyatlandırma eğilimleri, arz-talep değişimleri ve tarımı etkileyebilecek küresel olaylar dahil olmak üzere büyük hacimli piyasa verilerini de işleyebilir (Panduranga, K. M. 2024). Bu işlem devletlerin ve üreticilerin neyi yetiştirecekleri ve hatta hangi pazarları hedefleyecekleri konusunda daha bilinçli kararlar almasına olanak tanır.

6. Kişiselleştirilmiş Tarım Tavsiyeleri

Her arazi, toprak tipi, aldığı yağış, ekosistemi, lojistik imkanları ve verimliliği açısından eşsizdir. Bu sebeple bir yerde işe yarayan tarım teknikleri başka birinde işe yaramayabilir. Yapay zeka modelleri, dijital ikizin koşullarına göre kişiselleştirilmiş tavsiyeler sunabilir. Bu tavsiyeler kimi zaman gübre, kimi zaman ilaçlar ile ilgili olabileceği gibi üreticinin ihtiyaçlarına göre uygulamaları da içerebilir. (Borrero, J. D, 2022).

7. Sürdürülebilir Tarım ve İklim Uyum

Modern tarımın karşı karşıya olduğu en büyük zorluklardan biri iklim değişikliğidir. Büyük Tarım Modelleri uzun vadeli iklim verilerini analiz edebilir ve çiftçilerin değişen hava koşullarına uyum sağlamasına yardımcı olabilir. Yapay zeka destekli sistemler, kuraklıkları tahmin etmekten değişen koşullara uygun yeni mahsuller önermeye kadar çiftçilerin hem çevreyi hem de geçim kaynaklarını koruyan dayanıklı, sürdürülebilir tarım uygulamaları oluşturmalarına yardımcı olabilir.

Sonuç

Büyük Tarım Modeli daha akıllı tarım tekniklerinden kişiselleştirilmiş tavsiyelere ve sürdürülebilirlik stratejilerine kadar bir çok alanda ülkemizin ve tarımın geleceğidir. Yapay Zeka destekli araçlar gelişmeye ve uyum sağlamaya devam ettikçe verimlilik ve ekonomik kazanımlar artacaktır. Dünya iklim değişikliği, nüfus artışı ve kaynak kısıtlamalarıyla karşı karşıya kalırken, tarım sektörünün talebi karşılayabilmek için derin öğrenme içeren araçlara ihtiyacı vardır. Bu dönüşümde takip eden değil, yol açan olmak ise bizim elimizde.

Kaynakça:

1. Altayeb, J. M., Eleyan, H., Wishah, N. D., Elmahmoum, A. E., Khalil, A. J., Abu-Nasser, B. S., & Abu-Naser, S. S. (2024). AI-driven innovations in agriculture: Transforming farming practices and outcomes. *International Journal of Academic and Applied Research*, 8, 1–16.
2. Ata, B., Makhanov, K., & Benhizia, R. (2024). Exploring climate change awareness and renewable energy adoption in germany: A Google trends analysis. *XV. Geospatial Conference and Exhibition, Debrecen, Hungary* (pp. 43).
3. Bhat, S. A., & Huang, N. F. (2021). Big data and ai revolution in precision agriculture: Survey and challenges. *IEEE Access*, 9, 110209–110222. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3102227>
4. Borrero, J. D., & Mariscal, J. (2022). A case study of a digital data platform for the agricultural sector: A valuable decision support system for small farmers. *Agriculture*, 12(6), 767. <https://doi.org/10.3390/agriculture12060767>
5. Gomes, A., Islam, N. M., & Karim, M. R. (2024). Data-driven environmental risk management and sustainability analytics. *Non Human Journal*, 1(01), 100–113. <https://doi.org/10.70008/jnldeds.v1i01.46>

6. Khan, W., Nisar, Q. A., Roomi, M. A., Nasir, S., Awan, U., & Rafiq, M. (2024). Green human resources management, green innovation and circular economy performance: The role of big data analytics and data-driven culture. *Journal of Environmental Planning and Management*, 67(10), 2356–2381. <https://doi.org/10.1080/09640568.2023.2189544>
7. Li, Y. L., Tsang, Y. P., Wu, C. H., & Lee, C. K. M. (2024). A multi-agent digital twin-enabled decision support system for sustainable and resilient supplier management. *Computers & Industrial Engineering*, 187, 109838. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109838>
8. Mowla, M. N., Mowla, N., Shah, A. S., Rabie, K. M., & Shongwe, T. (2023). Internet of Things and wireless sensor networks for smart agriculture applications: A survey. *IEEE Access*, 11, 145813–145852. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3346299>
9. Panduranga, K. M., & Ranganathasharma, R. H. (2024). Sustainability insights on learning-based approaches in precision agriculture in internet-of-things. *International Journal of Electrical & Computer Engineering*, 14(3), 3495.
10. Song, M., Fisher, R., & Kwok, Y. (2019). Technological challenges of green innovation and sustainable resource management with large scale data. *Technological Forecasting and Social Change*, 144, 361–368. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.07.055>



TOROS TARIM