



TOROS TARIM

# AR-GE BÜLTENİ

Kasım 2024 / Sayı 12

Merhaba,

Toros ARGE Bülteni'nin yeni sayılarında birbirinden farklı ve dopdolu içerikleri sizler için ele almaya devam ediyoruz. Bu sayımızda "Endüstri 4.0 ve Tarım Sektörüne Etkileri", "Rekombinant Protein Üretim Platformu Olarak Bitkiler", "Fosfajpsin Tarımdaki Rolü ve Etkin Kullanımı" ve "Mahsul Verimini ve Kalitesini Artırmak İçin Genetik Mühendisliği Teknolojileri" gibi birbirinden farklı konulara yer verdik.

Bülten çalışmalarını ile ilgili katkı, soru ve önerileriniz için [info.arge@toros.com.tr](mailto:info.arge@toros.com.tr) üzerinden bizlere ulaşabilirsiniz.

Keyifli okumalar dileriz.



## Endüstri 4.0 ve Tarım Sektörüne Etkileri

Süleyman Turgut  
OSTİM Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye  
İş Geliştirme Uzmanı

Genellikle Dördüncü Sanayi Devrimi olarak adlandırılan Endüstri 4.0, Nesnelerin İnterneti (IoT), yapay zekâ (AI), büyük veri analitiği ve siber-fiziksel sistemler gibi ileri teknolojilerin entegrasyonu ile karakterize edilen üretim ve endüstriyel uygulamalarda dönüştürücü bir aşamayı temsil etmektedir. Bu paradigma değişimi, makinelerin, sistemlerin ve insanların gerçek zamanlı olarak iletişim kurduğu ve iş birliği yaptığı akıllı fabrikalar yaratmayı ve böylece üretim süreçlerinde daha fazla verimlilik, üretkenlik ve esneklik sağlamayı amaçlamaktadır. Endüstri 4.0 kavramı, endüstrilerin hızla değişen teknolojik ortama uyum sağlama ihtiyacına dayanmaktadır. Operasyonları optimize etmek için veri toplayıp analiz edebilen birbirine bağlı cihaz ve sistemlerin kullanımını vurgular. Örneğin, IoT'nin entegrasyonu üretim süreçlerinin gerçek zamanlı olarak izlenmesine olanak tanıyarak kestirimci bakımı mümkün kılmakta ve arıza sürelerini azaltmaktadır (Nosratabadi & Mosavi, 2018). Ayrıca, yapay zekâ ve makine öğrenimi algoritmaları, kalıpları belirlemek ve karar verme süreçlerini iyileştirmek için büyük miktarda veriyi analiz edebilir ve böylece operasyonel verimliliği artırabilir (Kumar vd., 2023). Ayrıca Endüstri 4.0, ekonomik, çevresel

ve sosyal hedefleri uyumlu hale getiren sürdürülebilir iş modellerinin benimsenmesi yoluyla sürdürülebilirliği teşvik etmektedir. Bu durum, endüstriler karbon ayak izlerini azaltma ve çevre dostu uygulamaları benimseme konusunda artan bir baskıyla karşı karşıya kaldıklarından özellikle önemlidir. Akıllı teknolojilerin uygulanması, kaynakların daha verimli kullanılmasına ve atıkların azaltılmasına yol açarak daha sürdürülebilir bir endüstriyel ekosisteme katkıda bulunabilir (Nosratabadi & Mosavi, 2018). Ayrıca, Endüstri 4.0'a geçiş yalnızca teknolojik bir yükseltme değil, aynı zamanda kuruluşlar içinde kültürel bir değişimi de içermektedir. Dijital teknolojiler konusunda yetenekli ve yeni çalışma yöntemlerine uyum sağlayabilen bir işgücü gerektirmektedir. Eğitim ve gelişim programları, çalışanları bu yeni endüstriyel ortamda başarılı olmak için gerekli becerilerle donatmak için gereklidir (Rotter vd., 2018). Sonuç olarak, Endüstri 4.0, üretim ve endüstriyel uygulamalarda devrim yaratmak için ileri teknolojileri entegre eden kapsamlı bir çerçevedir. Verimliliği, sürdürülebilirliği ve modern üretim ortamlarının karmaşıklığını aşmak için vasıflı işgücüne duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır. Endüstriler gelişmeye devam ettikçe,

Endüstri 4.0 ilkeleri üretimin ve ekonomik büyümenin geleceğini şekillendirmede çok önemli bir rol oynayacaktır.

### 1. Tarım Sektöründe Dijital Dönüşüm İhtiyacı

Tarım sektörü, özellikle Endüstri 4.0 çözümlerinin benimsenmesi yoluyla dijital dönüşüme geçilmesini gerektiren önemli zorluklarla karşı karşıyadır. Geleneksel tarım yöntemleri, gıda üretimi, verimlilik ve sürdürülebilirliğe yönelik artan talepleri karşılamakta giderek daha yetersiz kalmıştır. Küresel nüfus artmaya devam ettikçe, çevresel etkiyi en aza indirirken verimliliği artırmaya yönelik tarım sistemleri üzerindeki baskı daha belirgin hale gelmektedir (Kour ve Arora, 2020; Birner vd., 2021). Geleneksel tarım uygulamalarıyla ilgili başlıca sorunlardan biri, modern tarımsal taleplerin karmaşıklığına uyum sağlayamamalarıdır. Geleneksel yöntemler genellikle veri odaklı içgörülerden veya ileri teknolojilerden yararlanmayan eski tekniklere dayanmakta, bu da kaynak kullanımı ve mahsul yönetiminde verimsizliğe yol açmaktadır (Sazonov & Sazonova, 2022; Pechlivani, 2023). Örneğin, toprak koşulları, hava durumu ve mahsul sağlığı hakkında gerçek zamanlı veri eksikliği, yetersiz karar verme ile sonuçlanabilir ve sonuçta verim ve karlılığı etkileyebilir (Pechlivani, 2023; Kour & Arora, 2020). Nesnelerin İnterneti (IoT) ve büyük veri analitiği gibi dijital teknolojilerin entegrasyonu, çiftçilere operasyonel verimliliği ve üretkenliği artıran kritik içgörüler sağlayabilir (Bezas, 2023; Atalla vd., 2023). Sürdürülebilirlik, tarımda dijital dönüşüme duyulan ihtiyacı artıran bir diğer önemli unsurdur. Sektör, gıda güvenliğini sağlarken çevresel ayak izini azaltan uygulamaları benimseme konusunda artan bir inceleme altındadır. Genellikle akıllı tarım veya hassas tarım olarak adlandırılan dijital tarım, kaynak kullanımını optimize ederek, israfı azaltarak ve mahsulün dayanıklılığını artırarak sürdürülebilir uygulamaları teşvik eden yenilikçi çözümler sunmaktadır (Esses vd., 2021; Gumbi, 2023; Montalvo-Romero, 2023). Örneğin, IoT tarafından desteklenen akıllı sulama sistemleri, su yönetimini önemli ölçüde geliştirerek mahsullerin kaynakları korurken optimum miktarda su almasını sağlayabilir (Gupta, 2023). Sürdürülebilir uygulamalara yönelik bu değişim yalnızca çevre için faydalı olmakla kalmaz, aynı zamanda sürdürülebilir şekilde üretilen gıdalara yönelik tüketici tercihleriyle de uyumludur (Esses vd., 2021; Gumbi, 2023). Dahası, dijital dönüşüm yoluyla verimliliği artırma potansiyeli de oldukça yüksektir. Endüstri 4.0 teknolojilerinin benimsenmesi, mahsul veriminin artmasına, operasyonel maliyetlerin azalmasına ve tedarik zinciri yönetiminin iyileşmesine yol açabilir. Örneğin, mahsul sağlığının izlenmesinde dronların ve yapay zekanın kullanılması, zamanında müdahaleleri kolaylaştırarak verim potansiyelini en üst düzeye çıkarabilir (Bezas, 2023; Birner vd., 2021; Abbasi vd., 2022). Ayrıca, dijital platformlar ekimden hasada kadar tarımsal süreçleri kolaylaştırarak daha verimli ve daha az emek yoğun hale getirebilir (Mazwane vd., 2022; Annosi vd., 2019). Sonuç olarak, tarım sektörü geleneksel yöntemlerin sınırlamalarını ele almak, sürdürülebilirliği teşvik etmek ve verimliliği artırmak için

Endüstri 4.0 çözümlerine ihtiyaç duymaktadır. Dijital teknolojilerin entegrasyonu yalnızca mevcut tarımsal talepleri karşılamak için değil, aynı zamanda küresel zorluklar karşısında gıda sistemlerinin uzun vadede yaşayabilirliğini sağlamak için de gereklidir. Bu yeniliklerin benimsenmesi, çiftçilerin giderek daha karmaşık hale gelen tarımsal ortamda daha verimli, sürdürülebilir ve kârlı bir şekilde faaliyet göstermelerini sağlayacaktır.

### 2. Endüstri 4.0 Teknolojileri ve Tarıma Entegrasyonu

Endüstri 4.0 teknolojilerinin tarıma entegrasyonu, üretkenlik, sürdürülebilirlik ve operasyonel verimlilik gibi kritik zorlukları ele alarak sektörde önemli bir ilerlemeyi temsil ediyor. Geleneksel tarım uygulamaları artan küresel nüfusun taleplerini karşılamakta zorlandıkça, dijital teknolojilerin benimsenmesi modern tarım için zorunlu hale gelmiştir. Bu dijital dönüşümün temel itici güçlerinden biri, geleneksel tarım yöntemlerinin verimliliği artırmada yetersiz kalmasıdır. Geleneksel tarım genellikle manuel süreçlere ve sınırlı veri kullanımına dayanır, bu da verimsizliğe ve daha düşük verime yol açabilir. Nesnelerin İnterneti (IoT), yapay zeka (AI) ve büyük veri analitiği gibi Endüstri 4.0 teknolojileri, çiftçilerin operasyonlarını optimize etmelerini sağlayan yenilikçi çözümler sunmaktadır. Örneğin, IoT cihazları toprak koşullarını, mahsul sağlığını ve hava durumu modellerini gerçek zamanlı olarak izleyerek verimliliği artıran veriye dayalı karar verme süreçlerine olanak sağlayabilir (Kraft vd., 2022; Micle vd., 2021). Araştırmalar, bu teknolojilerin uygulanmasının üretim verimliliğinde önemli iyileşmelere yol açabileceğini göstermektedir. Tahminler, Endüstri 4.0 uygulamalarının benimsenmesinden sonraki beş yıl içinde üretkenliğin %20'ye kadar artabileceğini göstermektedir (Micle vd., 2021).

Sürdürülebilirlik, Endüstri 4.0 teknolojilerinin ele alabileceği bir diğer kritik konudur. Tarım sektörü, gıda güvenliğini sağlarken çevresel etkilerini azaltma konusunda artan bir baskıyla karşı karşıyadır. Dijital tarım, kaynak kullanımını optimize ederek, israfı en aza indirerek ve genel çiftlik yönetimini iyileştirerek sürdürülebilir uygulamaları teşvik etmektedir. Örneğin, veri analitiği ve IoT kullanan hassas tarım teknikleri su, gübre ve pestisitlerin hedefe yönelik uygulanmasına olanak tanıyarak aşırı kullanımı ve çevresel bozulmayı azaltmaktadır (Higgins & Bryant, 2020; Zhang & Fan, 2023). Ayrıca, akıllı teknolojilerin entegrasyonu çiftlik hayvanlarının daha iyi yönetilmesini kolaylaştırarak hayvan refahını artırabilir ve et üretimiyle ilişkili karbon ayak izini azaltabilir (Morrone vd., 2022; Arago vd., 2022). Ayrıca, tarımsal zorlukların disiplinler arası doğası, tarım bilimi, bilgisayar bilimi ve çevre bilimi dahil olmak üzere çeşitli alanlardaki uzmanlar arasında iş birliğini gerektirmektedir. Bu uzmanlık yakınlaşması, teknolojiyi tarım süreçlerine etkili şekilde entegre eden yenilikçi çözümler geliştirmek için gereklidir (Anand, 2023). Endüstri 4.0 çözümlerinin başarılı şekilde uygulanması, yalnızca teknolojik ilerlemeleri değil, aynı zamanda tarım topluluğu içinde paydaşları yeni metodolojileri ve uygulamaları benimsemeye teşvik eden

kültürel değişimi de gerektirir (Higgins & Bryant, 2020). Sonuç olarak, Endüstri 4.0 teknolojilerinin tarıma entegrasyonu, sektörün verimlilik ve sürdürülebilirlikle ilgili acil sorunlarını ele almak için çok önemlidir. Çiftçiler, ileri teknolojilerden yararlanarak operasyonel verimliliği artırabilir, çevresel etkileri azaltabilir ve nihayetinde daha sürdürülebilir gıda sistemine katkıda bulunabilir. Tarımsal ortam gelişmeye devam ettikçe, bu dijital çözümlerin benimsenmesi, gelecekte tarım uygulamalarının dayanıklılığını ve uygulanabilirliğini sağlamak için hayati önem taşıyacaktır.

### Sonuç

Endüstri 4.0 teknolojilerinin tarıma entegrasyonu, çiftçiler için üretkenliği, sürdürülebilirliği ve pazara erişimi artırmak için dönüştürücü bir fırsat sunmaktadır. Tarımsal süreçlerin dijitalleştirilmesi, çiftçilerin pazar eğilimleri ve tüketici talepleri hakkında gerçek zamanlı içgörüler elde etmesini sağlar; bu da üretim ve dağıtım ile ilgili bilinçli karar verme için çok önemlidir. Nesnelerin İnterneti (IoT), yapay zekâ (AI) ve büyük veri analitiği gibi teknolojiler hassas tarımı kolaylaştırarak israfı en aza indirirken mahsul verimini önemli ölçüde artırabilen hedefli kaynak uygulamasına olanak tanır. Genellikle modası geçmiş tekniklere ve el emeğine dayanan geleneksel tarım uygulamalarından veri odaklı metodolojilere geçiş, modern tarımsal taleplerin karmaşıklığını ele almak için çok önemlidir.

### Kaynaklar:

- Abbasi, R., Martinez, P., & Ahmad, R. (2022). The digitization of agricultural industry – a systematic literature review on agriculture 4.0. *Smart Agricultural Technology*, 2, 100042. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100042>
- Anand, J. (2023). Technological applications in smart farming: a bibliometric analysis. *Advanced and Sustainable Technologies (Aset)*, 2(2). <https://doi.org/10.58915/aset.v2i2.334>
- Annosi, M., Brunetta, F., Monti, A., & Nati, F. (2019). Is the trend your friend? an analysis of technology 4.0 investment decisions in agricultural smes. *Computers in Industry*, 109, 59-71. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.04.003>
- Arago, N., Alvarez, C., Mabale, A., Legista, C., Repiso, N., Amado, T., ... & Velasco, J. (2022). Smart dairy cattle farming and in-heat detection through the internet of things (iot). *International Journal of Integrated Engineering*, 14(1). <https://doi.org/10.30880/ijie.2022.14.01.014>
- Atalla, S., Tarapiah, S., Gawanmeh, A., Daradkeh, M., Mukhtar, H., Hirneur, Y., ... & Daadoo, M. (2023). Iot-enabled precision agriculture: developing an ecosystem for optimized crop management. *Information*, 14(4), 205. <https://doi.org/10.3390/info14040205>
- Bezas, K. (2023). The role of artificial intelligence and machine learning in smart and precision agriculture. *Indonesian Journal of Computer Science*, 12(4). <https://doi.org/10.33022/ijcs.v12i4.3278>
- Birner, R., Daum, T., & Pray, C. (2021). Who drives the digital revolution in agriculture? a review of supply-side trends, players and challenges. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 43(4), 1260-1285. <https://doi.org/10.1002/aep.13145>
- Esses, D., Csete, M., & Németh, B. (2021). Sustainability and digital transformation in the visegrad group of central european countries. *Sustainability*, 13(11), 5833. <https://doi.org/10.3390/su13115833>
- Gumbi, N. (2023). Towards sustainable digital agriculture for smallholder farmers: a systematic literature review. *Sustainability*, 15(16), 12530. <https://doi.org/10.3390/su151612530>
- Gupta, P. (2023). Smart irrigation systems using (iot) – a survey. *International Journal of Scientific Research in Engineering and Management*, 07(08). <https://doi.org/10.55041/ijsem.24900>
- Higgins, V. and Bryant, M. (2020). Framing agri-digital governance: industry stakeholders, technological frames and smart farming implementation. *Sociologia Ruralis*, 60(2), 438-457. <https://doi.org/10.1111/soru.12297>
- Kour, V. and Arora, S. (2020). Recent developments of the internet of things in agriculture: a survey. *Ieee Access*, 8, 129924-129957. <https://doi.org/10.1109/access.2020.3009298>
- Krasovskaya, O. (2023). Analysis of the use of robotics in the agricultural industry. *Bio Web of Conferences*, 71, 01038. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20237101038>
- Kumar, S., K, K., & Aithal, P. (2023). Tech-business analytics – a review-based new model to improve the performances of various industry sectors. *International Journal of Applied Engineering and Management Letters*, 67-91. <https://doi.org/10.47992/ijaeml.2581.7000.0167>
- Li, C., Lin, Y. (2023). Research on the Carbon Reduction Effect of Digital Transformation of Agriculture in China. *Polish Journal of Environmental Studies*. <https://doi.org/10.15244/pjoes/170001>
- longgo, D. (2023). Integrating education for sustainable development (esd) in higher education institutions to reduce the impact of climate change on agricultural industries. *Agroland the Agricultural Sciences Journal (E-Journal)*, 10(2), 94-102. <https://doi.org/10.22487/agroland.v0i0.1936>
- Mazwane, S., Makhura, M., & Senyolo, M. (2022). Important policy parameters for the development of inclusive digital agriculture: implications for the redistributive land reform program in south africa. *Agriculture*, 12(12), 2129. <https://doi.org/10.3390/agriculture12122129>
- Micle, D., Deiac, F., Olar, A., Drența, R., Florean, C., Coman, I., ... & Arion, F. (2021). Research on innovative business plan. smart cattle farming using artificial intelligent robotic process automation. *Agriculture*, 11(5), 430. <https://doi.org/10.3390/agriculture11050430>
- Montalvo-Romero, N. (2023). Agro-technological systems in traditional agriculture assistance: a systematic review. *Ieee Access*, 11, 123047-123069. <https://doi.org/10.1109/access.2023.3329087>
- Morrone, S., Dimauro, C., Gambella, F., & Cappai, M. (2022). Industry 4.0 and precision livestock farming (plf): an up to date overview across animal productions. *Sensors*, 22(12), 4319. <https://doi.org/10.3390/s22124319>
- Nosratabadi, S. and Mosavi, A. (2018). Sustainable business model: a review. <https://doi.org/10.20944/preprints201810.0378.v1>
- Pechlivani, E. (2023). Iot-based agro-toolbox for soil analysis and environmental monitoring. *Micromachines*, 14(9), 1698. <https://doi.org/10.3390/mi14091698>
- Rotter, T., Plishka, C., Lawal, A., Harrison, E., Sari, N., Goodridge, D., ... & Kinsman, L. (2018). What is lean management in health care? development of an operational definition for a cochrane systematic review. *Evaluation & the Health Professions*, 42(3), 366-390. <https://doi.org/10.1177/0163278718756992>
- Sazonov, A. and Sazonova, M. (2022). Development of a model of a universal technological platform for digitalization in the agro-food complex. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*, 1112(1), 012062. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1112/1/012062>
- Soam, S. (2023). Academia-industry linkages for sustainable innovation in agriculture higher education in india. *Sustainability*, 15(23), 16450. <https://doi.org/10.3390/su152316450>
- Zhang, X. and Fan, D. (2023). Can agricultural digital transformation help farmers increase income? an empirical study based on thousands of farmers in hubei province. *Environment Development and Sustainability*, 26(6), 14405-14431. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03200-5>



## Rekombinant Protein Üretim Platformu Olarak Bitkiler

Dr. Hatice Şelale Yıldız, Prof. Dr. Sami Doğanlar  
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir, Türkiye  
Dr. Öğretim Görevlisi

Bitkiler, gıda, hayvan yemi ve diğer endüstriyel uygulamalar dışında, yüksek ekonomik değere sahip farmasötik ve diğer endüstriyel alanlarda kullanılan rekombinant proteinlerin üretiminde önemli bir platform olarak kullanılmaktadır. Rekombinant proteinler, genetik mühendisliği teknolojileri ile ilgili proteini kodlayan genlerin konukçu organizmalara aktarılmasıyla üretilen polipeptitlerdir. Bu proteinler, tıp, sağlık, tarım, gıda, kimya, biyo-yakıt, kâğıt, tekstil ve deri endüstrisi gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Örneğin, 2022 yılında rekombinant protein temelli ilaç sektörü yaklaşık 400 milyar dolarlık bir pazar büyüklüğüne ulaşmıştır (Chung vd., 2022). Ayrıca, 2022 itibarıyla küresel rekombinant enzim piyasası 12,1 milyar dolar olup, 2027'de 16,9 milyar dolara ulaşması beklenmektedir (Markets ve Markets 2022; Tatta vd., 2022).

Rekombinant protein üretimi, bakteriler, mayalar, böcek ve memeli hücre kültürleri gibi çeşitli konukçu organizmalarda gerçekleştirilebilir. Ancak, mikroorganizma ve hayvan hücre kültürlerinde bu süreçler yüksek maliyetler ve özel altyapılar gerektirir. Bitkiler, daha basit ve maliyet etkin bir altyapı gerektirdiğinden, bu alanda avantaj sağlar. Bitkiler büyük ölçekli üretime uygun olup, çeşitli türlerde ve aynı anda farklı rekombinant proteinleri üretme kapasitesine sahip hibrit bitkiler de geliştirilebilir. Ayrıca, bitkiler hayvan hastalıklarına neden olan patojenler ve toksinler içermediğinden, farmasötik ve gıda endüstrilerinde güvenli üretim sağlar. Bitkilerde rekombinant proteinler, hem bütün bitkilerin yetiştirilmesiyle hem de kök gibi bitki dokuları veya hücre kültürlerinde üretilebilir.

Sağlık ve tıp alanında, rekombinant proteinler aşı ajanları, teşhis ve tedavi amaçlı kullanılır. Monoklonal antikorlar, rekombinant insülin, büyüme hormonları, interferonlar ve enzimler, en yaygın terapötik proteinlerdir. Bu alanda kanser, diyabet, otoimmün hastalıklar ve nadir hastalıkların tedavisine yönelik çalışmalar devam etmektedir. 1990'lı yıllardan itibaren bitkilerde rekombinant protein üretimi

başlamış olup, 2012'de Gaucher hastalığı için geliştirilen "Eleyso" gibi ticari terapötik proteinler de mevcuttur (Fox, 2012). Şu anda, bitki kaynaklı rekombinant protein temelli ilaçlar, diyare, HIV, lenfoma, pankreatit ve sistik fibroz gibi hastalıkların tedavisinde kullanılmak üzere geliştirilmektedir (Shillberg ve Finner, 2021). Ayrıca, hepatit-B, Norwalk virüsü, kuduz ve mevsimsel grip gibi bulaşıcı hastalıklar için protein temelli aşı geliştirme çalışmaları devam etmektedir (Shillberg ve Finner, 2021). Bitkilerde ürettiği rekombinant proteinleri kullanarak COVID-19 aşısını geliştiren ve piyasaya süren Medicago, bazı ülkelerde acil kullanım onayı almıştır. Bu aşı, doğada bulunan bir bitki virüsünün kullanılmasıyla üretilmiştir (Medicago, 2023).

Bitki temelli rekombinant protein üretiminin önündeki en büyük engellerden biri, bu üretim platformunun henüz tam olarak gelişmemiş olmasıdır. Sektördeki mikrobiyal ve hücre kültürü temelli üretim yöntemlerinin yanı sıra, bitkiler için henüz standart idari yönetmelikler bulunmamaktadır. Ancak, Fraunhofer (Almanya), Kentucky BioProcessing (ABD), Medicago (Kanada) ve Protalix Biotherapeutics (İsrail) gibi şirketler, bitki temelli rekombinant protein üretimi için iyi üretim uygulamaları üretim altyapısını kurmuş ve insan klinik denemeleri gerçekleştirmektedir (Shanmugaraj vd., 2020). Bu şirketler, bitki tabanlı biyofarmasötik ürünlerin üretimi ve geliştirilmesi konusunda önemli ilerlemeler kaydetmişlerdir. Ayrıca, 2023 yılında Fraunhofer Enstitüsü ve diğer araştırma kurumları, bitkilerde rekombinant proteinlerin üretimini optimize etmek için yeni gen düzenleme teknikleri ve gelişmiş hücre kültürü yöntemleri üzerine çalışmalarını genişletmiştir (Fraunhofer, 2023).

Endüstriyel proteinler, kimyasal tepkimeleri katalizleyen enzimlerden oluşur ve deterjan, nişasta, biyo-yakıt, gıda, hayvan yemi gibi birçok alanda kullanılır. 2021'de, Novozymes ve DSM gibi firmalar, biyo-yakıt üretimi için daha verimli ve çevre dostu rekombinant enzimler geliştirdiklerini duyurmuştur. Bu enzimler, özellikle

lignoselülozik biyokütleden biyo-yakıt üretiminde kullanılan enzimlerin performansını artırmayı hedeflemektedir (Novozymes, 2021; DSM, 2021). Fitaz,  $\beta$ -mannanase ve  $\beta$ -glucanase gibi enzimler bitki platformlarında verimli ve ekonomik bir şekilde üretilebilir. Örneğin, 2015 yılında Çin'de fitaz içeren mısır biyo-güvenlik sertifikası olarak hayvan yemi olarak kullanılmaya başlanmıştır (Tschofen vd., 2016). Biyo-yakıt üretiminde kullanılan enzimler, bitki temelli olarak üretildiğinde, mikroorganizmalara kıyasla daha düşük maliyetlerle elde edilebilir. Örneğin, endo- $\beta$ -1,4-glucanase ve endo- $\beta$ -1,4-xylanase enzimleri yüksek verimlilik gösteren mısır hatları tarafından üretilmektedir (Zang vd., 2011). Ayrıca, bitki temelli sakkarifikasyon enzimleri üzerine patenti bulunan Edenspace Systems Corporation gibi şirketler, bu alanda önemli katkılar sağlamaktadır (Blaylock, 2012). Biyo-yakıt üretimi gibi fermentasyon süreçlerinde kullanılan bitki temelli exo-1,4- $\beta$ -glukanaz enzimi, saflaştırılmış olarak, biyo-yakıt ve diğer endüstriyel uygulamalar için enzimlerin üretimi ve geliştirilmesi üzerine odaklanan ABD merkezli biyoteknoloji şirketi Infinite Enzyme tarafından üretilmektedir (Hood 2014). Termostabil  $\alpha$ -amilaz ifade eden mısır hattı Enogen, İsviçre merkezli bir firma olan Syngenta tarafından geliştirilmiş ve 2011 yılında ABD Tarım Bakanlığı tarafından onaylanmıştır (Tschofen vd., 2016). Amilaz ifade eden bitkilerin malt, fırıncılık, nişastadan glukoz ve fruktoz şurubu üretimi, biyogaz üretimi ve hayvan yem katkısı olarak kullanımı da mümkündür. Kâğıt ve tekstil endüstrisinde kullanılan lakkaz ve ksilanaz gibi enzimlerin bitki temelli olarak üretilmesi için ABD merkezli ProdiGene ve Medicago ile Almanya merkezli Fraunhofer firmaları tarafından çalışmalar yürütülmektedir. Bitki temelli üretilen avidin,  $\beta$ -glukuronidaz ve tripsin gibi araştırma ve teknik amaçlı rekombinant proteinler, saflaştırılmış olarak ABD merkezli ProdiGene biyoteknoloji firması tarafından ticari olarak üretilmektedir.

Güncel örneklerle desteklenmiş bu bilgiler, rekombinant proteinlerin geniş bir uygulama yelpazesine sahip olduğunu ve bitki rekombinant protein üretim platformlarının yeni ekspresyon yöntemleriyle ne kadar avantajlı hale geldiğini göstermektedir. Ayrıca, idari yönetmeliklerin netleşmesi, bitki sistemlerini geleneksel üretim yöntemlerine alternatif olarak öne çıkarmakta ve bu teknolojilerin geliştirilmesiyle girişimlerde bulunan ülkeler, hem iç hem de dış piyasalarında yüksek katma değere sahip ürünlerle ekonomilerine büyük katkı sağlayabilirler.

#### Kaynaklar:

1. Blaylock MJ, Ferguson BW, Lee DA. 95. 2012. Energy crops for improved biofuel feedstocks. US Patent No. 20070250961 A1
2. Chung, Young Hun, Derek Church, Edward C. Koellhoffer, Elizabeth Osota, Sourabh Shukla, Edward P. Rybicki, Jonathan K. Pokorski, and Nicole F. Steinmetz. "Integrating plant molecular farming and materials research for next-generation vaccines." *Nature Reviews Materials* 7, no. 5 (2022): 372-388.
3. Fox, Jeffrey L. "First plant-made biologic approved." *Nature Biotechnology* 30, no. 6 (2012): 472-473.
4. Fraunhofer Institute. (2023). Expanding research on optimizing recombinant protein production in plants through new gene editing techniques and advanced cell culture methods.
5. Hood E, Requesens D. 91. 2014. Commercial plant-produced recombinant cellulases for biomass conversion. See Ref. 69 231-46
6. Markets&Markets. (2022). "Enzymes Market - Global Forecast to 2027." from <https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/enzyme.asp>.
7. Medicago (2023) Retrieved from <https://www.medicago.com>.
8. Schillberg, S., & Finern, R. (2021). Plant molecular farming for the production of valuable proteins—Critical evaluation of achievements and future challenges. *Journal of plant physiology*, 258, 153359.
9. Shanmugaraj, B., I Bulaon, C. J., & Phoolcharoen, W. (2020). Plant molecular farming: a viable platform for recombinant biopharmaceutical production. *Plants*, 9(7), 842.
10. Shanmugaraj, Balamurugan, Christine Joy I. Bulaon, and Waranyoo Phoolcharoen. "Plant molecular farming: A viable platform for recombinant biopharmaceutical production." *Plants* 9, no. 7 (2020): 842.
11. Tatta ER, Irchen M, Moopantakath J, Kumavath R (2022) Bioprospecting of microbial enzymes: current trends in industry and healthcare. *Appl Microbiol Biotechnol* 106(5):1813-1835.
12. Tschofen, Marc, Dietmar Knopp, Elizabeth Hood, and Eva Stöger. "Plant molecular farming: much more than medicines." *Annual Review of Analytical Chemistry* 9, no. 1 (2016): 271-294.
13. Zhang D, VanFossen A, Pagano R, Johnson J, Parker M. 93. et al. 2011. Consolidated pretreatment and hydrolysis of plant biomass expressing cell wall degrading enzymes. *BioEnergy Res.* 4:276-86



## Fosfojipsin Tarımdaki Rolü ve Etkin Kullanımı

Dr. Didem Değirmenbaşı Bay  
Toros Tarım A.Ş., ARGE Merkezi, Mersin, Türkiye  
Ar-Ge Uzmanı

Fosfojips, fosfat kayalarının sülfürik asit ile işlenmesi sırasında oluşan bir yan ürün olup, temel olarak kalsiyum sülfat dihidrat ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) yapısında bulunur. Kimyasal bileşimi, kullanılan fosfat kayasının saflığına, üretim sürecindeki değişkenlere ve katkı maddelerine bağlı olarak değişebilir. Yan ürün olarak üretilen fosfojips, dünya genelinde her yıl milyonlarca ton olarak birikir ve çevresel yönetim sorunlarına yol açar.

Fosfojips, fosforlu gübreler için gerekli olan fosforik asit üretimi sırasında ortaya çıkmaktadır. Fosfat kayalarının sülfürik asit ile işlenmesi sonucu oluşan bu bileşik, çoğunlukla kalsiyum sülfat ve az miktarda diğer mineralleri içerir. Üretim miktarını yüksek olmasından dolayı bazı depolama problemleri yaşanmaktadır (Şekil 1). Tarım sektöründe çeşitli yararlarıyla öne çıkan fosfojips, toprağın yapısını iyileştirmede, bitki gelişimini artırmada ve verimliliği yükseltmede önemli bir rol oynamaktadır hem de değerlendirilmesi sağlanmaktadır.



Şekil 1. Fosfojipsin üretimi ve depolanması

Bu materyalin atık olarak depolanması hem çevresel hem de ekonomik sorunlara neden olduğundan, fosfojipsin tarımsal faydaları üzerine araştırmalar hız kazanmıştır. Fosfojips, başta kalsiyum ve sülfat olmak üzere içerdiği elementler sayesinde tarımsal alanlarda toprak düzenleyici ve gübre katkı maddesi olarak kullanılabilir. Bu özellikler, özellikle düşük verimli ve tuzlu toprakların iyileştirilmesinde büyük önem taşır.

### 1. Fosfojipsin Toprağa Faydaları

Fosfojips, toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini olumlu yönde etkileyen bir maddedir. Toprağın pH dengesi, yapısı ve su tutma kapasitesi üzerinde önemli değişiklikler yaratarak, tarımsal üretimi destekler.

Fosfojips, kalsiyum içeriği sayesinde toprağın sıkışmasını önler ve toprağı daha geçirgen hale getirir. Bu durum, bitki köklerinin gelişimini destekler ve köklerin oksijen ile besin maddelerine daha kolay ulaşmasını sağlar.

Özellikle alkali topraklarda, fosfojips kullanımı pH seviyesini düzenleyerek toprağın ideal nötr hale gelmesine katkıda bulunur. pH dengesi, bitki besin maddelerinin emilimini artırarak daha sağlıklı bitki gelişimini destekler.

Fosfojips, toprak tuzluluğunu düşürmeye yardımcı olur ve tuzun bitkiler için zararlı olmasını önler. Bu özelliğiyle, özellikle tuzlu toprakların iyileştirilmesinde etkili bir bileşik olarak kullanılır.

### 2. Bitki Gelişimine Katkıları

Fosfojips, içerdiği kalsiyum ve sülfat sayesinde bitkilerin büyümesini ve verimini doğrudan etkileyen bir etkiye sahiptir. Bu maddeler, bitkilerin yapısal bütünlüğünü güçlendirir ve onların çevresel strese karşı dayanıklılığını artırır.



Şekil 2. Fosfojipsin tarımda alternatif kullanımı

Kalsiyum, bitki hücre duvarlarının güçlenmesi ve hücre bölünmesi için gereklidir. Fosfojips kullanımıyla toprağa kalsiyum eklenir ve bu, bitkilerin kök ve gövde yapısını

güçlendirerek verimi artırır.

Fosfojips, sülfat içeriği sayesinde bitkilerin kükürt ihtiyacını karşılar. Kükürt, klorofil üretiminde ve protein sentezinde önemli bir rol oynar. Böylece bitkiler daha canlı ve sağlıklı olur, aynı zamanda verimlilikleri de artar.

Kalsiyum ve sülfat içeriği ile fosfojips, bitkilerin kuraklık ve hastalık gibi çevresel stres etmenlerine karşı direncini artırır. Bu durum, tarım alanlarında uzun vadeli ve sürdürülebilir bir üretim yapılmasını sağlar.

## 2. Tarımsal Verimliliğe Katkıları

Fosfojipsin düzenli ve bilinçli bir şekilde kullanımı, tarımda verimliliği artıran birçok fayda sağlar. Özellikle yüksek kaliteli ürün elde etmek ve toprak verimliliğini korumak açısından önemli bir bileşik olarak görülmektedir.

Fosfojips, bitkilerin ihtiyaç duyduğu temel mineralleri sağlayarak ürün kalitesini artırır. Sağlıklı ve minerallerle beslenmiş bitkiler, hem yüksek verim verir hem de kaliteli meyve ve sebzeler üretir.

Toprak yapısını güçlendiren fosfojips, aynı zamanda erozyonu önler. Toprak kaybının azalması, uzun vadede tarım alanlarının korunmasına katkı sağlar ve sürdürülebilir bir tarıma zemin hazırlar.

Fosfojips, topraktaki faydalı mikroorganizmaların faaliyetlerini destekleyerek toprağın biyolojik sağlığını korur. Bu mikroorganizmalar, bitki besin maddelerinin emilimini artırır ve organik madde dönüşümünü hızlandırır.

## 3. Çevresel ve Ekonomik Yararlar

Son yıllarda fosfojipsin çevresel etkilerini minimize etmek amacıyla geri dönüşüm teknolojileri ve tarımsal uygulamaları destekleyen çalışmalar artmaktadır. Bunun yanı sıra, fosfojipsin karbon ayak izinin azaltılmasına yönelik yenilikçi yöntemler, bu bileşiğin daha geniş çapta benimsenmesi için umut verici bir yaklaşım sunmaktadır.

Fosfojipsin tarımda kullanımı, çevreye olan etkileriyle de dikkat çeker. Çevresel yararlarının yanı sıra ekonomik açıdan da çiftçilere maliyet avantajı sağlar.

Fosfojipsin tarımda kullanılması, bu yan ürünün atık olarak birikmesini önler. Böylece çevreye olan olumsuz etkileri azaltılır ve geri dönüşüme katkıda bulunulur.

Fosfojips, uygun maliyetli bir toprak iyileştirici ve gübre katkısı olarak çiftçilere ekonomik açıdan da avantaj sağlar. Kalsiyum ve sülfat içeriği ile, çiftçiler pahalı kimyasal gübrelere olan bağımlılığını azaltabilir.

Fosfojips, tanıma olan çok yönlü katkıları ile önemli bir doğal kaynak haline gelmiştir. Toprak yapısını iyileştirmesi, bitki gelişimini desteklemesi ve verimliliği artırması, bu bileşiğin tarım sektöründe değerli bir bileşen olarak kullanılmasını sağlamaktadır. Çiftçilerin bu konuda bilinçlendirilmesi ve fosfojips kullanımının teşvik edilmesi, sürdürülebilir tarım için büyük bir adım olacaktır.

## Sonuç

Fosfojips, kimyasal yapısı ve içerdiği yararlı mineraller sayesinde hem toprak düzenleyici hem de bitki besin maddesi olarak tarımda önemli potansiyele sahiptir. Yapılan araştırmalar, fosfojipsin kalsiyum ve sülfat içeriği ile toprak sıkışmasını azaltarak kök gelişimini desteklediğini, su tutma kapasitesini artırdığını ve tuzlu toprakların iyileştirilmesinde etkili olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle alkali ve tuzlu topraklarda, fosfojips uygulamalarının pH dengesini sağlamak ve tuzluluk sorunlarını gidermek için uygun bir çözüm sunduğu belirlenmiştir.

Fosfojipsin tarımsal uygulamalarda kullanımının yaygınlaşması, çevresel açıdan ciddi faydalar sağlamaktadır. Endüstriyel bir yan ürün olarak fosfojipsin kullanımı, atık depolama sorunlarını azaltarak çevresel kirliliği minimize etmektedir. Ekonomik olarak ise, fosfojipsin düşük maliyeti, kimyasal gübrelere birlikte çiftçilere önemli bir avantaj sunmaktadır.

Fosfojipsin daha verimli kullanımı için, bu materyalin farklı toprak tiplerindeki etkilerinin daha ayrıntılı şekilde incelenmesi gereklidir. Ayrıca, fosfojipsin diğer organik ve inorganik materyallerle birleştirilerek kompozit gübre veya toprak düzenleyici ürünlerin geliştirilmesi hem çevresel hem de tarımsal sürdürülebilirlik açısından önemli araştırma alanı olarak öne çıkmaktadır.

Fosfojips, tarımsal uygulamalarda sürdürülebilir çözüm sunmakla birlikte, ekonomik ve çevresel avantajları ile dikkat çekmektedir. Ancak, bu materyalin etkin kullanımını teşvik etmek için çiftçiler ve endüstriyel paydaşlar arasında farkındalığın artırılması ve uygulanabilir kullanım kılavuzlarının geliştirilmesi önemlidir. Gelecekteki araştırmalar, fosfojipsin tarımdaki potansiyelini daha geniş kapsamlı şekilde değerlendirmek için kritik rol oynayacaktır.

## Kaynaklar:

- Dartan, G. & Toröz, İ. (2013). Güney Marmara bölgesinde tarım topraklarında ağır metal kirliliğinin araştırılması. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 25(1), 24-40.
- Guliyev, R. (2018). Investigation of the availability of boron-containing diammonium phosphate the production. *Journal of Boron*, 3(2), 87-92.
- International Fertilizer Industry Association. (2016). *PHOSPHOGYPSUM : Sustainable Management and Use*.
- Chernysh, Y., Yakhnenko, O., Chubur, V., ve Roubik, H. (2021). Phosphogypsum Recycling: A Review of Environmental Issues, Current Trends, and Prospects. *Applied Sciences* 2021, Vol. 11, Page 1575, 11(4), 1575. doi:10.3390/AP11041575
- James, J., ve Kasinatha Pandian, P. (2014). Effect of phosphogypsum on strength of lime stabilized expansive soil. *Gradevinar*, 12, 1109-1116. doi:10.14256/JCE.1097.2014
- Prasad, M. N. V. (2016). Resource Potential of Natural and Synthetic Gypsum Waste. *Çincede Environmental Materials and Waste: Resource Recovery and Pollution Prevention* (ss. 307-337). Elsevier Inc. doi:10.1016/B978-0-12-803837-6.00014-7
- Rutherford, P. M., Dudas, M. J., ve Samek, R. A. (1994). Environmental impacts of phosphogypsum. *Science of the Total Environment*, The. doi:10.1016/0048-9697(94)90002-7
- Yang, M. (2011). Solubility of phosphogypsum in pure water and lime solution. *Çincede Advanced Materials Research*. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.250-253.131



## Mahsul Verimini ve Kalitesini Artırmak İçin Genetik Mühendisliği Teknolojileri

Murat Atun, Ali Yetgin  
Toros Tarım A.Ş., ARGE Merkezi, Mersin, Türkiye  
Ar-Ge Uzmanı

Genetik mühendisliği alanında son yıllarda önemli bir devrim niteliği taşıyan tekniklerden biri, Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats (CRISPR) ve CRISPR-associated protein 9 (Cas9) sistemidir. CRISPR-Cas9, genetik mühendislik uygulamalarında hedefli gen düzenleme sağlayan güçlü bir araç olarak öne çıkmaktadır. Bu sistem, bakterilerdeki virüslere karşı doğal savunma mekanizması olarak keşfedilmiş ve daha sonra gen düzenleme çalışmalarında kullanılmak üzere adapte edilmiştir. CRISPR-Cas9 sistemi, DNA üzerinde belirli bir bölgeyi tanıyabilen ve kesme yeteneği olan Cas9 proteinini kullanır (Asmaw ve Zawdie, 2021). Bir RNA molekülü, hedeflenen DNA dizisine özgü olarak tasarlanarak Cas9'a rehberlik eder ve bu sayede Cas9, istenilen genetik bölgeyi tanır ve keser. Daha sonra, hücre kendi onarım mekanizmalarını kullanarak DNA'yı düzeltebilir ve yeni genetik materyali entegre edebilir. CRISPR-Cas9 sistemi, hızlı, doğru ve maliyet etkin şekilde genetik materyali düzenleme yeteneği ile genetik mühendisliği alanında bir devrim yaratmıştır.

CRISPR-Cas9'un yanı sıra, diğer genetik mühendislik teknikleri de önemli rol oynamaktadır. Örneğin, genetik mühendisliğinde yaygın olarak kullanılan bir diğer teknik, transgenik organizmaların üretilmesinde kullanılan gen transferi yöntemleridir. Bu yöntemlerde, genetik materyal bir organizmadan diğerine aktarılır ve bu sayede istenilen özelliklerin kazanılması mümkün olabilir. Genetik mühendisliğindeki bu teknikler, bitki geliştirme, gen terapisi, hastalık direnci ve biyoteknoloji gibi birçok alanda uygulanabilirlik göstermektedir (National Research Council, 2004). Bu tekniklerin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi, genetik mühendisliğinin potansiyelini genişleterek birçok alanda olumlu etkiler yaratmaktadır.

### 1. Bitkide Genetik Çalışmalar

Bitki genetiği, genetik mühendisliği uygulamalarının önemli bir alanını oluşturur ve tarım sektöründe çeşitli uygulamalara olanak tanır. Bu alandaki çalışmalar, bitkilerin genetik yapısının doğrudan düzenlenmesini ve özellikle verimlilik, hastalıklara direnç, su kullanım verimliliği ve

besin içeriği gibi özelliklerin iyileştirilmesini hedefler (Ndudzo ve ark., 2024). Bitki çeşitlerinin genetik materyalini özelleştirmek için kullanılarak, tarımda daha dayanıklı ve verimli bitkilerin geliştirilmesine olanak tanır. Örneğin, belirli böcek türlerine karşı dirençli bitkilerin üretilmesi veya bitkilerin daha az su ile yetişmesini sağlamak gibi hedeflere ulaşmak amacıyla genetik mühendislik teknikleri uygulanabilir. Bu teknikler aynı zamanda bitkilerin besin içeriğini geliştirmek ve insan sağlığı için daha besleyici gıdalar üretmek amacıyla kullanılır. Vitamin ve mineral içeriği artırılmış bitkiler, genetik mühendisliği sayesinde elde edilebilen örnekler arasındadır (Sahoo ve Panda, 2023). Bu, özellikle besin eksiklikleriyle mücadelede ve dünya genelindeki beslenme sorunlarına çözüm arayışında önemli bir adımı temsil eder. Ayrıca, genetik mühendisliği uygulamaları, iklim değişikliği gibi çevresel zorluklara karşı daha dirençli bitki çeşitlerinin geliştirilmesine olanak tanır. Bu, tarımsal üretkenliği sürdürülebilir şekilde artırarak, küresel gıda güvenliğine katkı sağlayabilir.

### 2. Mahsul Veriminin Artırılması

Yüksek verimli bitki çeşitleri, tarım sektöründe gıda üretimini artırmak ve nüfusun gıda talebini karşılamak amacıyla genetik mühendisliği teknolojileri kullanılarak geliştirilen önemli bir alanı temsil eder. Bu çeşitler, genellikle daha büyük hasatlar elde etmek, enerji ve kaynak kullanımını optimize etmek ve çeşitli stres faktörlerine karşı dayanıklılığı artırmak amacıyla tasarlanır. Genetik mühendisliği, yüksek verimli bitki çeşitlerinin geliştirilmesinde etkili bir araç olarak işlev görür (Hamdan ve Tan, 2024). Bu süreç, bitkilerin genetik materyalinin özelleştirilmesini sağlar, böylece belirli özelliklerin geliştirilmesi mümkün olur. Yüksek verimli bitki çeşitleri genellikle daha fazla ürün sağlayarak tarım verimliliğini artırır ve bu da dünya genelinde gıda güvenliğine önemli katkıda bulunur. Bu tür bitki çeşitleri, hastalıklara, zararlılara veya çevresel streslere karşı direnç geliştirme açısından da genetik mühendislik tekniklerinden faydalanır (Dong ve Ronald, 2019). Örneğin, kuraklık veya yüksek sıcaklık gibi zorlu çevresel koşullara dayanıklı bitkilerin geliştirilmesi, iklim değişikliği gibi faktörlerin etkileriyle başa çıkabilen



tarım sistemleri için kritik öneme sahiptir. Yüksek verimli bitki çeşitlerinin genetik mühendislikle geliştirilmesi, sadece tarımın ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliğini artırmakla kalmaz, aynı zamanda dünya genelindeki gıda güvenliği sorunlarına çözüm sunar. Ancak, bu gelişmelerin etik, çevresel ve toplumsal etkileri göz önünde bulundurularak dikkatlice yönetilmesi önemlidir. Yüksek verimli bitki çeşitlerinin genetik mühendislikle geliştirilmesi, tarımın geleceği için umut vadeden bir yaklaşımı temsil etmektedir.

### 3. Stres Koşullarına Dayanıklılık

Stres toleransı ve hastalıklara direnç, tarımın karşılaştığı önemli zorluklara çözüm bulmak amacıyla genetik mühendislik teknolojileri tarafından vurgulanan iki temel özelliktir. Bitkiler, çeşitli çevresel stres faktörlerine maruz kaldıklarında ve patojenlere karşı savunma mekanizmalarını devreye soktuklarında daha yüksek verim ve dayanıklılık sergilemek için genetik olarak modifiye edilebilir. Stres toleransı, bitkilerin kuraklık, tuzluluk, yüksek sıcaklık veya soğuk gibi zorlu çevresel koşullara uyum sağlama kapasitesini ifade eder.

Genetik mühendisliği, bitkilerin bu tür streslere karşı dayanıklılığını artırmak için çeşitli stratejiler kullanır. Bu stratejiler arasında, bitkilerin su kullanım verimliliğini artırmak, osmoregülasyon mekanizmalarını güçlendirmek ve stresle başa çıkabilen genlerin eklenmesi yer alır.

Hastalıklara direnç ise, bitkilerin zararlı patojenlere (virüsler, bakteriler, mantarlar) karşı korunma yeteneklerini ifade eder. Genetik mühendisliği, bitkilerin hastalıklara karşı direncini güçlendirmek amacıyla özellikle bitki savunma mekanizmalarını optimize etme, hastalıklara karşı özel genlerin eklenmesi ve patojenlere karşı reaktif bileşenlerin üretimini artırma stratejilerini içerir (Van Esse ve ark., 2020). Bu genetik mühendislik uygulamaları, bitkilerin tarım alanlarında daha sağlıklı ve verimli şekilde yetişmelerini sağlar. Stres toleransı ve hastalıklara direnç, sürdürülebilir tarım uygulamalarını destekleyerek tarım üretimini artırırken aynı zamanda kimyasal mücadele yöntemlerine olan ihtiyacı da azaltabilir. Bu sayede, genetik mühendislik teknolojileri, tarımın çeşitli zorluklarına karşı daha dirençli ve sürdürülebilir çözümler sunma potansiyeline sahiptir.

Fotosentez verimliliği, bitkilerin güneş enerjisini kullanarak karbon dioksit ve suyu şeker ve diğer organik bileşenlere dönüştürme yeteneklerini ifade eder ve genetik mühendisliği çalışmaları bu sürecin daha etkili ve verimli hale getirilmesine odaklanır. Fotosentez, bitkilerin hayati enerji kaynağını elde etmelerini sağlar ve dolayısıyla tarımsal üretkenliği büyük ölçüde etkiler. Fotosentezi geliştirmek ve bitkilerin daha fazla güneş enerjisi yakalamasını, daha etkili bir şekilde karbon dioksit almasını ve bu enerjiyi depolamasını sağlamak için çeşitli stratejiler içerir. Örneğin, bitkilerin kloroplastlarında bulunan klorofil miktarını artırmak veya fotosentezle ilgili enzimleri optimize etmek amacıyla genetik düzenlemeler yapmak bu stratejilere örnektir (Khan ve ark., 2024). Fotosentez verimliliğini artırmak, bitkilerin daha hızlı büyümesini, daha yüksek verim elde etmelerini ve enerjiyi daha verimli

şekilde kullanmalarını sağlar. Bu, özellikle tarım sektöründe, gıda üretimini artırmak ve kaynakları daha sürdürülebilir şekilde kullanmak amacıyla önemli bir hedefdir. Su kullanım verimliliği, tarımsal üretimde su kaynaklarını daha etkili bir şekilde kullanma yeteneğini ifade eder ve genetik mühendisliği teknikleri bitkilerin daha az su ile yetişmelerini sağlamak amacıyla çeşitli stratejileri içerir (Alharbi ve ark., 2024). Bu stratejiler, bitkilerin suyu daha verimli kullanmalarını, su stresine karşı daha dayanıklı hale gelmelerini ve düşük su koşullarında bile yeterli verimi elde etmelerini hedefler. Bitkilerin su kullanım verimliliğini artırmak için farklı yaklaşımları içerir. Örneğin, bitkilerin stomalarını düzenlemek, suyun buharlaşmasını kontrol etmek ve su kaybını minimize etmek amacıyla yapılan genetik düzenlemelerden biridir. Aynı zamanda, bitkilerin kök sistemlerini geliştirmek ve suyu daha derin toprak katmanlarından çekmelerini sağlamak gibi stratejiler de kullanılır. Su kullanım verimliliğini artırmak, özellikle su kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde ve iklim değişikliği nedeniyle su stresinin arttığı durumlarda önemlidir. Bu çalışmalar sayesinde elde edilen bitki çeşitleri, daha az su ile daha fazla ürün elde edilmesine olanak tanıyarak tarımın sürdürülebilirliğini artırabilir. Ancak, bu tür genetik mühendislik uygulamalarının toplumsal, çevresel ve etik konularını dikkate almak önemlidir.

### Sonuç

Genetik mühendisliği, gıda güvenliği, nüfus artışı ve sürdürülebilir tarım gibi önemli zorluklara çözüm sunan bir araç olarak öne çıkmaktadır. Yüksek verimli bitki çeşitleri, stres toleransı, hastalıklara direnç ve fotosentez verimliliği gibi özelliklerin genetik mühendisliği yoluyla nasıl geliştirilebileceği incelenmiştir. Ancak, bu uygulamaların etik ve sosyal boyutları da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Toplumsal kabul, çevresel etkiler ve genetik çeşitlilik gibi konular, bu teknolojilerin uygulanabilirliğini ve sürdürülebilirliğini etkilemektedir.

### Kaynaklar:

- Asmamaw, M., & Zawdie, B. (2021). Mechanism and applications of CRISPR/Cas-9-mediated genome editing. *Biologics: targets and therapy*, 353-361.
- National Research Council. (2004). *Methods and Mechanisms of Genetic Manipulation and Cloning of Animals. In Safety of Genetically Engineered Foods: Approaches to Assessing Unintended Health Effects*. National Academies Press (US).
- Nduzuo, A., Makuvise, A. S., Moyoy, S., & Bobo, E. D. (2024). CRISPR-Cas9 genome editing in crop breeding for climate change resilience: Implications for smallholder farmers in Africa. *Journal of Agriculture and Food Research*, 101132.
- Sahoo, D. P., & Panda, C. (2023). Enhancing Nutritional Quality of Crops Through Genetic Engineering. In *Engineering Aspects of Food Quality and Safety* (pp. 77-92). Cham: Springer International Publishing.
- Hamdan, M. F., & Tan, B. C. (2024). Genetic modification techniques in plant breeding: A comparative review of CRISPR/Cas and GM technologies. *Horticultural Plant Journal*.
- Dong, O. X., & Ronald, P. C. (2019). Genetic engineering for disease resistance in plants: recent progress and future perspectives. *Plant physiology*, 180(1), 26-38.
- Van Esse, H. P., Reuber, T. L., & van der Does, D. (2020). Genetic modification to improve disease resistance in crops. *New Phytologist*, 225(1), 70-86.
- Khan, N., Choi, S. H., Lee, C. H., Qu, M., & Jeon, J. S. (2024). Photosynthesis: Genetic Strategies Adopted to Gain Higher Efficiency. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(16), 8933.
- Alharbi, S., Felemban, A., Abdelrahim, A., & Al-Dakhil, M. (2024). Agricultural and Technology-based strategies to improve water-use efficiency in Arid and Semiarid areas. *Water*, 16(13), 1842.