



TOROS TARIM



Bülteni

Mart 2025
Sayı: 14

toros.com.tr

Ar-Ge Bülteni

Mart 2025
Sayı: 14

Merhaba,

Toros ARGE Bülteni'nin yeni sayılarında birbirinden farklı ve dopdolu içerikleri sizler için ele almaya devam ediyoruz. Bu sayımızda "Sürdürülebilir Tarımda Yeni Nesil Toprak Bakterileri ve Bitki Gelişimindeki Rolü", "Yapay Zekâ Uygulamalarının Tarıma Yansıması", "Biyopestisitlerin Sürdürülebilir Tarıma Sağladığı Çevre Dostu Çözümler" ve "Yeşil Amonyak Geleceğine Giden Yollar" gibi birbirinden farklı konulara yer verdik. Bülten çalışmalarını ile ilgili katkı, soru ve önerileriniz için info.arge@toros.com.tr üzerinden bizlere ulaşabilirsiniz.

Keyifli okumalar dileriz





TOROS TARIM

03

Sürdürülebilir Tarımda
Yeni Nesil Toprak Bakterileri ve
Bitki Gelişimindeki Rolü

06

Yapay Zekâ
Uygulamalarının
Tarıma Yansıması

08

Biyopestisitlerin
Sürdürülebilir Tarıma Sağladığı
Çevre Dostu Çözümler

12

Yeşil Amonyak
Geleceğine
Giden Yollar

Dr. Öğr. Üyesi Aziz ŞATANA
Öğretim Üyesi

Yük. Ziraat Müh. Ali SUSAR
Doktora Öğrencisi

Erciyes Üniversitesi,
Kayseri, Türkiye

Sürdürülebilir Tarımda Yeni Nesil Toprak Bakterileri ve Bitki Gelişimindeki Rolü

Günümüzde tarımsal üretimde kalite ve verimi arttırmak amacıyla kullanılan kimyasal gübrelerle ilişkili artan maliyetler ve çevresel endişeler, sürdürülebilir alternatifleri keşfetme ihtiyacını doğurmaktadır. Bitki büyümesini teşvik eden toprak bakterileri, bu konuda umut verici bir çözüm sunmaktadır. Araştırmalar bitkiler üzerinde olumlu etkilere sahip toprak bakterilerinin tarımsal üretimde bitki koruyucu ve bitki gelişimini teşvik edici gübre olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Bu çalışmada, toprak bakterilerinin bitki dünyası üzerindeki çok yönlü etkileri kapsamlı bir bakış açısıyla sunulmuştur.

1. Giriş

Toprak bakterileri, uzmanlar tarafından yararlı ve zararlı olarak ikiye ayrılır. Bu ayrım, bakterilerin toprak kalitesi, bitki gelişimi, verimi ve sağlığı üzerindeki etkilerine göre yapılır. Doğru kullanıldığında, yararlı bakteriler bitki gelişimini destekler, verimi artırır ve zararlı organizmaları kontrol altına alır (Bolat, 2006). Bitki gelişimini destekleyen yararlı bakteriler, serbest yaşayan rizobakteriler (asimbiyotik) ve bitki dokularında yaşayan simbiyotik bakteriler olmak üzere iki gruba ayrılır [1]. Bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler (PGPR), Azotobacter, Azospirillum, Bacillus, Pseudomonas ve Rhizobium gibi çeşitli cinslerden oluşur ve bitki köklerinde yaşayan bakterilerin yalnızca %1-2'sini oluşturur [2]. Özellikle Rhizobium bakterileri, baklagillerle kurdukları simbiyotik ilişki sayesinde kök nodüllerinde atmosferik azotu bağlayarak bitki gelişimine önemli katkılar sunmaktadır [3]. Yapılan araştırmalar, Azotobacter ve Azospirillum türü rizobakterilerin bitki üretiminde önemli artışlar sağladığını ortaya koymuştur. Bu rizobakteriler, tohum uygulaması, toprak yüzeyine veya yapraktan asılama gibi çeşitli yöntemlerle bitkilere uygulanabilmektedir. Ayrıca, biyolojik ve mineral gübrelerin kimyasal gübrelerle birlikte kullanımı, kimyasal gübrelerin etkinliğini önemli ölçüde artırmaktadır [4]. Bilimsel araştırmalar bitki gelişimini teşvik eden bu bakterilerin biyogübre olarak kullanılması halinde bitkisel üretim ve verim artışına katkı sağlayacağını göstermiştir [5]. PGPR bakterilerinin toprak kaynaklı hastalık etmenlerine karşı yüksek başarı oranları göstermesi, onları biyopestisitler arasında değerli bir konuma yerleştirmektedir [6].

Bitki hastalıklarının kontrolünde biyolojik mücadele ajanı olarak bu bakterilerin kullanımı, kimyasal pestisitlere sürdürülebilir ve çevre dostu bir alternatif sunmaktadır. Bakterilerin antibiyozis, besin rekabeti, hiperparazitizm ve bitki sistemik direnç mekanizmalarını tetikleyerek hastalıkların kontrol altına alma yetenekleri, çevresel kabul edilebilirliği yüksek ve sürdürülebilir bir mücadele yöntemi olarak değerlendirilmektedir [7]. Sonuç olarak, bitki gelişimini teşvik eden toprak bakterileri, sağlıklı ve sürdürülebilir tarımın temel taşlarından biri olarak öne çıkmaktadır. Bu bakterilerle kimyasal gübreler birlikte kullanılarak tarımsal üretimde ekonomik faydalar sağlanmaktadır.



2. Toprak Bakterilerinin Bitkiler Üzerindeki Etki Mekanizmaları ve Yapılan Çalışmalar

PGPR in bitki büyümesini teşvik etmeleri, fitohormon, siderofor, proteaz, kitinaz ve selüloz gibi sahip oldukları mekanizmalarla gerçekleştirir [8]. PGPR lerin havada serbest halde bulunan azotu bağlayarak, toprakta bulunan fosforu ise çözerek ve bitkisel fitohormon üretimine katkıda bulunarak bitkinin büyümesi ve verimi üzerinde olumlu etkileri olduğu görülmüştür. PGPR birçok tarımsal ürünün erken çimlenme ve çiçeklenme, bitki boyu, ağırlığı, sürgün dokularının gelişimi, klorofil oranında artış, besin içeriğinin dengelenmesi gibi birçok mekanizma ile bitki gelişimini de olumlu olarak etkilediği gözlenmektedir. PGPR, azot fiksasyonunu çoğaltır, fosfor, kükürt, demir gibi diğer bitki besin maddelerinin alımını kolaylaştırır. Bu yararlı bakteriler; ayrıca fungal ve bakteriyel sorunları kontrol altına almak ve böcek gibi zararlıları uzaklaştırmakta da kullanılmaktadır [9]. PGPR bakterilerinin, farklı koşullar altında farklı bitkilerde besin alımı, bitkilerin toplam biyokütle, köklenme, erken çimlenme, ağırlık, erken çiçek açma gibi doğrudan ve dolaylı etkileri üzerine farklı araştırmacılar tarafından araştırılmıştır. İncelenen özelliklerde PGPR bakterileri, bitki büyüme ve gelişimine olumlu yönde etki sağladığı ve bitki hastalıklarını azalttıkları gözlemlenmiştir [10]. PGPR bakteriler toprakta çözünebilir fosforun miktarını artırmakla kalmayıp aynı zamanda, çözünebilir durumda bulunan fosforun toprakta alınamayan forma dönüşmesini engellemektedir [11]. Bakteriyel biyogübrelerin hem kimyasal gübrelerle birlikte kullanıldığında hem de tek başına kullanıldığında bitkisel verim ve kaliteyi artırırken, birim alanda ihtiyaç duyulan kimyasal gübre miktarını potansiyel olarak azaltabileceğini göstermektedir [12]. Ülkemizde en yaygın çalışılan bakteri grubu *Bacillus* cinsine ait türlerdir. Bu türler azot fikse edici, fosfat çözücü ve bitkisel hormon üretici özellikleri nedeniyle tercih edilmektedir. Çeşitli bitkiler üzerinde *B. megaterium*, *B. subtilis*, *B. licheniformis*; *B. cereus*, *Bacillus* FS-3; *Bacillus* M3, *Bacillus* OSU-142, *B. amyloliquefaciens* ve *Bacillus* spp., gibi *Bacillus* ırkları ile yapılan çalışmalarda, kontrol gruplarına göre bitkilerde gelişme ve verimde önemli derecede artışlar olduğunu gözlemlenmiştir [13, 14].

PGPR'lerin biyokontrol mekanizması olarak etki etmelerinin temel sebebi Phenazine-1-carboxylic acid, 2,4-diacetyl phloroglucinol, Oomycin, Pyuloteorin, Pyrrolnitrin, Kanosamine, Zwittermycin-A ve Pantocin gibi antibiyotikleri üretebilmeleridir. Bu nedenle tarımsal ürünlerde bitki patojenlerine karşı kimyasal pestisitlerin yerine geçebilecek ciddi bir alternatif olarak önerilir [15]. Rhizobakteriler çeşitli mantar ve bakterilerin bitkide meydana getirdiği hasatlıkları kontrol edebilir. Biyokontrol mekanizması, besin elementleri için rekabet, uyarılmış sistemik dayanım ve antimikrobiyal metabolitlerin üretimini kapsamaktadır. *Pseudomonas* ve *Bacillus* türleri patojen mikroorganizmaları baskılamada önemli rol oynar. Bu bakteriyel antagonistler düşük konsantrasyonlarda engelleyici olan hücreler arası metabolit salgılarıyla bitki patojenlerini baskırlar [15]. PGPR bakterilerinin özellikle topraktan kaynaklanan hastalık etmenleri ile mücadelede başarı yüzdeleri oldukça yüksektir. PGPR'ler gerek verim artırıcı özellikleri bakımından gerekse biyolojik mücadelede değerlendirildiklerinde Entegre Üretim ve Organik Tarım Üretim Modellerinde vazgeçilmez olarak değerlendirilmektedirler [6]. Tarımsal üretimde biyotik ve abiyotik stres etkenleri kalite, verim yönünden önemli etkenlerdir. Stres koşullarında yetişen bitkiler patojenlere karşı yatkındır. Bitkiler büyüme sürecinde hormonal ve beslenme dengesizliği, fizyolojik bozukluklar gibi birçok zararlı faktöre maruz kalmaktadır. Toprak bakterileri bitkiyi bu faktörlerden koruduğu gibi bitkinin büyümesini teşvik ederek biyoyararlanım sağlamaktadır. Ayrıca stres koşullarından hem bitkiyi korudukları hem de toprak sağlığını korudukları ileri sürülmektedir. PGPR'ler bitkilerde toksisiteye neden olan, Zn, Cd, Pb ve Ni gibi ağır metal bulunan topraklarda ağır metalleri biriktirerek bitkilere olumsuz etkilerini engellemektedir [16]. PGPR lar ile yapılan çalışmalar sonucunda, bakterilerin salgıladıkları maddeler vasıtasıyla bitkiyi olumsuz çevresel şartlar altında koruyucu etkiye sahip olduğunu gözlemlemiştir [17].

Bakteri	Bitki	Ortam	Sonuçlar / Artış	Referans
<i>Bacillus subtilis</i> <i>Bacillus megaterium</i> <i>Lactococcus</i> spp. <i>Azospirillum</i> , <i>Rhizobium</i> , <i>Acetobacter</i>	Şekerpancarı	T	Kök ve Şeker veriminde artış	SUSAR. A. VE ŞATANA, A. (2024)
<i>Azospirillum brasilense</i> <i>Azospirillum</i> spp.	Sorgum Sorgum	S T	Kurumadde, yaprak alanı, kök sayı ve uzunluk % 33-40 Hidrolik % 25-40 Verim artışı % 12-18,5	Sarıg vd. 1992, 1998
<i>A. brasilense</i>	Fasulye	BBK	Kök ve gövde ağırlığının artışı	Vedder-Veiss vd. 1999
<i>A. brasilense</i> <i>A. brasilense</i> Cd <i>A. brasilense</i> Cd245	Sorgum Buğday Arpa, Mısır Yulaf	T T S T	Kök sayısı, uzunluğu, kök ve gövde ağırlığı artışı Verim artışı % 25	Dobbelaere ve ark. 2001
<i>A. brasilense</i> Cd	Sorgum, Sudanotu	T	Verim artışı % 11-24	Smit vd. 1984
<i>A. brasilense</i> Cd <i>A. brasilense</i> Br-17 <i>A. brasilense</i> Sp-111	Mısır Buğday Mısır	T T T	% 35-40 Mineral gübreyi karşılama verim artışı iklime bağlı hafif ve orta N verim artışı	Okon ve L-Gonzales 1994
<i>Azospirillum</i> spp.	Mısır	T	Verim artışı % 11-14	Fallik ve Okon 1996
<i>Azospirillum</i> spp.	Mısır	T	Kurumadde ve Mg artışı	Hernandez vd. 1997
<i>Azospirillum</i> spp.	Buğday	S	Biyomass, dane, protein ve N artışı	Saubidet vd. 2002
<i>Azotobacter</i> <i>Enterebacter</i> spp. <i>Xanthobacter</i> spp.	Çeltik	T	Kurumadde, tane N akımı % 6-24 artışı, YAI, Klorofil oranı artışı	Alam vd. 2001
<i>B. polymyxa</i> <i>B. megaterium</i>	Şekerpancarı Arpa	S T	% 75-16,5 Şekerpancarı kök verim artışı, % 8,4-14,2 Arpa dane verim artışı	Çakmacı vd. 1999
<i>B. polymyxa</i> <i>Burkholderia</i> spp. <i>Pseudomonas</i> spp.	Şekerpancarı	T	% 6,1-13 Şekerpancarı kök % 7,8 şeker verim artışı	Çakmacı vd. 2001
<i>Bacillus</i> sp.	Sorgum	T	Verim artışı % 15,3-33	Broadbent vd. 1997
<i>Beijerinckia mobilis</i> <i>Clostridium</i> spp.	Pancar, Arpa, Buğday, Turp	L, S	Çimlenme uzunluk ve ağırlık artışı	Polyanskaya vd. 2000
<i>Bacillus</i> sp.	Pancar, Arpa	T	İkili aşılama pancar % 11,9-12,4 verim artışı arpa % 7,4-9,3 verim artışı	Şahin vd. 2004
<i>P. chlororaphis</i>	Yazlık Buğday	T, L	% 6-8 çimlenme artışı Fusarium culmorum kontrolü	Kropp vd. 1996
<i>Pseudomonas</i> sp.	Patates	S T	Serada bitki ağı, tarlada yumru verimi artışı	Frommel vd. 1993
<i>Pseudomonas</i> sp.	Pancar	S, T	Serada fide ağırlığı, tarlada verim artışı, hastalıklara antagonizm	Suslow ve Schroth 1982

Stres koşullarında, bitki gelişimini engelleyen etilen miktarını azaltıcı bakterilerle yürütülen araştırmalarda; bitki gelişimini engelleyen aşırı su, organik kirleticiler, ağır metal kirliliği, patojen stresi, sıcaklık, yüksek tuzluluk ve kuraklık stresine karşı bitkilerde korunma sağlandığı ve bitki gelişimi ve verimi üzerinde olumlu etkilerinin olduğu tespit edilmiştir [18]. PGPR bakterileri bitkilerde tuzluluk stresleri dahil çeşitli streslere dayanımı artırması, bitki gelişimini olumlu etkileyen hormonları ve asitleri salgılamaları nedeniyle mineral gübrelerle karşı tarımsal üretimde alternatif olabilir [19]. PGPR'ler bitkiye besin alımı, bitki büyümesini teşvik, bitkide verim artışı ve kimyasal gübre kullanımının en aza indirilmesinin yanı sıra bitkileri kuraklıktan, tuzlardan ve ağır metal streslerinden koruma özelliğine sahiptir [20].

Mikrobiyal gübre uygulaması bazı durumlarda başarısız olabilmektedir. Bunun sebepleri olarak; yetersiz toprak verimliliği, pH, bitkinin uygun olmayışı bitki besin elementlerinin toprakta yeterli miktarda olmaması, yüksek sıcaklık, toksik maddeler ve mikrobiyal gübrenin kalitesinin düşük olması sayılabilir [21]. Her bakteri her bitki üzerinde aynı etkiyi göstermediği gibi farklı bakteri kombinasyonlarının bitkilerdeki etki şekilleri de farklılık göstermektedir. *Pseudomonas* türlerinin oksin salgılayarak *Arabidopsis* bitkisinde morfogenez ve bitki gelişimini düzenleyici, glukonik asit ve 2- ketoglukonik asit üreterek bitkilerde organik fosfatları çözmeye özelliği gösterdiği görülmüştür. *Pseudomonas* fillagelin ve lipopolisakaritlerin ise turp ve *Arabidopsis* bitkisinin sistemik dayanım mekanizmasını artırdığı tespit edilmiştir. *Rhizobium* türlerinin giberallin ve sitokinin salgılarıyla pirinç ve kanola bitkisinde gelişimine katkı sağladığı, ayrıca glukonik asit ve 2-ketoglukonik asit üreterek bitkilerde organik fosfatları çözerek ve fosfataz enzimi salgılayarak mısır bitkisinde inorganik fosfatları mineralize edebildiği belirtilmiştir. *Enterobacter* türlerinin ACC

deaminaz enzimi salgılayarak kanolada etilen üretimini azalttığı tespit edilmiştir. *Bacillus* türleri glukonik asit ve 2-ketoglukonik asit üreterek organik fosfatları bitkilerin faydalanabileceği şekilde çözmeye özelliği göstermektedir. *Bacillus* sp. 2R, 3R-Butanediol, acetoin gibi uçucu maddeleri salgılayarak *Arabidopsis* bitkisinde gelişmeyi teşvik edici ve sistemik dayanım oluşturmaya etki gösterdiği görülmüştür [22]. Bitki gelişimini teşvik eden bakterilerin etkileri; bakteri tür ve sayısı, bitki-bakteri kombinasyonu, bitki genotipi, gelişme dönemi, hasat tarihi, bitkisel parametreler, toprak tipi, toprak organik madde miktarı ve çevresel koşullara bağlı olarak değişebilmektedir [4]. Bitki gelişimini teşvik eden bakteri uygulamaları laboratuvar, sera ve tarla şartlarında sürdürülmekte, ancak tarla koşullarında yürütülen çalışmalarda önceden tahmin edilemeyen bazı etmenlerden dolayı her zaman istenen sonuçları sağlamamaktadır. Kontrollü koşullarda etkin olabilen bazı bakteri türlerinin tarla koşullarında yetersiz olduğu da bilinen bir gerçektir. PGPR lerin etkinlik düzeyleri tarım alanlarında meydana gelen olumsuz çevre koşullarına ve mevcut iklim şartlarına göre değişiklik gösterebilmektedir [23, 24].

Bitkiler üzerinde olumlu etkiye sahip bir veya birkaç bakteri kombinasyonunu bir arada barındıran bakteriyel gübreler son yıllarda artış göstermiştir. Bu bakterilerin; topraklardaki besinleri bitkilerin kullanabileceği forma dönüştürerek, bitkilerin besin maddelerine erişimini artırma yoluyla besin alımını etkilediği bildirilmiştir [25]. Bir bakteri türünün birden fazla PGPR özelliğine sahip olabileceği belirtilmiştir. Böylelikle biyolojik gübre olarak kullanılmasının yanı sıra biyolojik kontrol ajanı olarak da fayda sağlayabilmektedir [26]. PGPR'lerin bitki büyümesi ve gelişimi üzerindeki etkisinin ortaya çıkmasıyla tarımsal üretimde kullanılması giderek daha fazla yaygınlaşmaktadır [27].

3. Sonuç ve Öneriler

Günümüzde artan dünya nüfusunun gıda ihtiyacını karşılamak için kaliteli ve verimli bitkisel üretim kadar tarımsal üretimde sağlıklı ve çevre dostu girdilerin kullanılması tarımın sürdürülebilirliği açısından zorunluluktur. Topraklarımızın gelecekte verim ve kalite özelliklerini kaybetmesini istemiyorsak, çiftçilerimizin ve üreticilerimizin rizobakteri, hayvan gübresi, yeşil gübre, kompost ve hümik asit gibi organik gübreleri terci h etmeleri önem arz etmektedir.

Kaynakça:

- Hardoim, P.R., et al., The hidden world within plants: ecological and evolutionary considerations for defining functioning of microbial endophytes. *Microbiology Molecular Biology Reviews*, 2015. 79: p. 293–320.
- Adesemoye, A.O. Obini, M. & Ugoji, E.O. 2008. Comparison of plant growth promotion with *Pseudomonas aeruginosa* and *Bacillus subtilis* in three vegetables. *Brazilian J. Microbiol.* 39:423–426.
- Suzaki, T. and M. Kawaguchi, Root nodulation: a developmental program involving cell fate conversion triggered by symbiotic bacterial infection. *Current Opinion in Plant Biology*, 2014. 21:p. 16–22.
- Çakmakçı, R., 2006. Bitki Gelişme Promotörü Rizobakteri Kullanımındaki Son Gelişmeler Organik Tarım Perspektif ve Uygulamaları. *Organik Tarım Kong.*, Yalova.
- Garcia-Fraile, P., E. Menendez, and R. Rivas, Role of bacterial biofertilizers in agriculture and forestry. *AIMS Bioengineering*, 2015. 2: p.183–205.
- Tilak K.V.B.R., Ranganayaki N., Pal K.K., De R., Saxena A.K., Shekhar Nautiyal C., Mittal S., Tripathi A.K. and Johri B.N., 2005. Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria. *Current Science*, Vol. 89, No. 1. 2005.
- Kotan, R., Çakmakçı, R., Şahin, F., Karagöz, K., Dadaşoğlu, F., Kantar, F., 2010. Türkiye, de Bakteriyel Bioajantların Kullanılarak Hastalık ve Zararlıların Kontrolüne Yönelik Yapılan Biyolojik Mücadele Çalışmaları, Türkiye IV. Organik Tarım Sempozyumu, 28 Haziran - 1 Temmuz 2010, Erzurum, 711-723.
- Kumar, P. G., Kishore, N., Amalra D. E.L., Ahmed, H. S.K.M., Rasul, A., & Desai, S. 2012. Evaluation of fluorescent *Pseudomonas* spp. with single and multiple PGPR traits for plant growth promotion of sorghum in combination with AM fungi. *Plant Growth Regul.* 67:133–140
- Saharan, B.S., & Nehra, V. 2011. Plant growth promoting *Rhizobacteria*: A Critical Review. *Life Sciences and Medicine Research*, 2011: LSMR-21.
- Maheshwari, D., 2011. Use of Plant growth promoting rhizobacteria in horticultural crops Chap. 8. *Bacteria in Agrobiolgy: Crop Ecosystems*. Springer Heidelberg Dordrecht London New York. 438
- Khan, K.S., Joergensen, R.G., 2009. Changes in microbial biomass and P fractions in biogenic household waste compost amended with inorganic P fertilizers. *Bioresource Technology*, 100, 303–309.
- Susar, A., & Şatana, A., 2024. Investigating the Impacts of Nitrogen Doses and *Rhizobacteria* on Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Yield and Quality Parameters for Sustainable Cultivation. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 8(3), 789–803.
- Çakmakçı, R., Kotan, R., Kantar, F., Şahin, F., 2010. "Türkiye de bitki gelişmesini teşvik edici bakteri ve biyolojik gübre araştırmaları". Türkiye 4. Organik Tarım Sempozyumu, 724-731
- Erman, M., Kotan, R., Çakmakçı, R., Çiğ, F., Karagöz, K., Sezen, M., 2010. "Van gölü havzasında izole edilen azot fikseri ve fosfat çözücü bakterilerin buğday ve şeker pancarında büyüme ve verim özellikleri üzerine etkileri". Türkiye 4. Organik Tarım Sempozyumu, 325–329.
- Fernando, W.G.D., Nakkerean, S., Zhang, Y., 2006. Biosynthesis of Antibiotics by PGPR and its Relation in Biocontrol of Plant Diseases. PGPR: Biocontrol and Biofertilization. Edited by Zaki A. Siddiqui. Springer, The Netherlands, 67–109.
- Varma A., Abbott L., Werner D., and Hampp R., (Ed) 2004. *Plant Surface Microbiology*, SPRINGER 628p. Google Book Search, <http://books.google.com>
- Fuentes-Ramirez, E.L., Caballero-Mellado, J. 2006. Bacterial Biofertilizers. PGPR: Biocontrol and Biofertilization. Edited by Zaki A. Siddiqui. Springer, The Netherlands, 143–172.
- Çakmakçı, R., 2009. Stres koşullarında ACC deaminaze üretici bakteriler tarafından bitki gelişiminin teşvik edilmesi. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Dergisi, 40(1), 109–125.
- Gupta, R., Satyanarayana, T., & Garg, S. 2000. Ectomycorrhiza – An Overview, In: *Mycorrhizal Biology*, (Ed. by K.G.Mukerji, B.P.Chamola, J.Singh), Kluwer Academic, 27–44.
- Kumar, A., Patel, J. S., Meenad, V. S., and Ramteke, P. W. (2019). Plant growthpromoting rhizobacteria: strategies to improve abiotic stresses under sustainable agriculture. *J. Plant Nutr.* 42, 1402–1415.
- Mahdi, S.S., Hassan, G.I., Samoon, S.A., Rather, H.A., Showkat, A.D. and Zehra, B. 2010. Bio-fertilizers in organic agriculture. *Journal of Phytology* 2(10):42–54.
- Ping, L., Boland, W., 2004. Signals From the Underground: Bacterial Volatiles Promote Growth in *Arabidopsis*. *TRENDS in Plant Science*, 9, 6–10
- Miransari M., 2013. Soil microbes and availability of soil nutrients. *Acta Physiol Plant* 35:3075–3084.
- Ahemad, M., Kibret, M., 2014. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective. *J. Of King Saud Univ-Science* 26:1–20.
- Malua, E., and N. Vassilev, A. 2014. Contribution to set a legal framework for biofertilisers. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 98: p. 6599–6607.
- İmriç, G., Özdemir, F., Topal, G., Ercan, B., Tağ, M.N., Yakıgür, E., & Okur, O. 2014. Bitkisel üretimde bitki gelişimini teşvik eden rizobakteri (PGPR) ler ve etki mekanizmaları. *Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi* TR, 12(2): 1–19.
- Pooja, K., Krishna, K. C., Akhileshwar, K. S., and Amit, K. S. (2019). "PGPR bioelicitors: induced systemic resistance (ISR) and proteomic perspective on biocontrol," in PGPR Amelioration in Sustainable Agriculture – Food Security and Environmental Management, eds K. S. Amit, K. Ajay, and K. S. Pawan (Cambridge: Woodhead Publishing), 67–84.



Yapay Zekâ Uygulamalarının Tarıma Yansıması

Yapay Zekâ, uzun yıllardır (yaklaşık 1950'den beri) araştırmalara konu olan bir daldır. Son zamanlarda bu uygulamaların son kullanıcılara açılması ve farklı sektörlere entegre edilmesi ile birlikte hızlı bir yayılım gösterdi. İnsanlar, yapay zekâ uygulamalarının gösterdiği performans ve potansiyeli gördükçe hızlı bir şekilde hayatın her alanına uyarlamaya ve kullanmaya başladılar. Tarım da kaçınılmaz olarak bu alanlardan biriydi. Avrupa komisyonuna göre tarımın beşinci devrimi yapay zekâ ve bulut bilişim teknolojilerine dayanacaktır [1]. Bu yazıda yapay zekâ uygulamalarının tarımda kullanılan veya kullanılma potansiyeli olan konular üzerinde durulacaktır.

1. Yapay Zekâ Tabanlı Tarım Uygulamaları

Şu an yapay zekâ uygulamalarında büyük bir potansiyel görülmekte ve bu potansiyelin tarımsal alanda ne biçimde kullanılabileceği ise insanların hayal gücüne kalmıştır. Şu an için öngörülen veya geliştirilen yapay zekâ ile güçlendirilmiş robotik sistemlerin tarımda kullanılabileceği bazı alanlar bulunmaktadır. Bazı tarımsal ürünler olgunlaşma durumlarına göre hasat edilir ve bundan dolayı aynı arazide belirli aralıklarla olgunlaşmış ürünler toplanır. Bu durum otomasyonun kullanılmasını zorlaştırır. Ancak yapay zekâ destekli robotlar olgunlaşmış ürünleri tespit ederek onları toplayabilir ve aynı zamanda diğer ürünlerin olgunlaşma sürelerini tahmin ederek bir diğer hasat zamanını oluşturabilir [2-4].



Tarımda toprak işlemede, ilaçlamada, sulamada veya gübrelemede kullanılan cihazlar yapay zekâ ile birlikte tam otomasyona kavuşabilirler [5-6]. Örneğin sulamada geliştirilecek sistem, toprağın su tutma kapasitesini, toprağın o anki nemini, hava durumu tahminleri ve bitkilerin durumu gibi verileri toplayarak sulama zamanı ve miktarını en iyi şekilde ayarlayabilir ve bu yolla su kaynaklarının optimum şekilde kullanılarak israf edilmesinin önüne geçebilir [7]. Bu durum gübreleme veya farklı sistemler için de uyarlanarak eldeki kaynakların optimum kullanımı sağlanabilir.

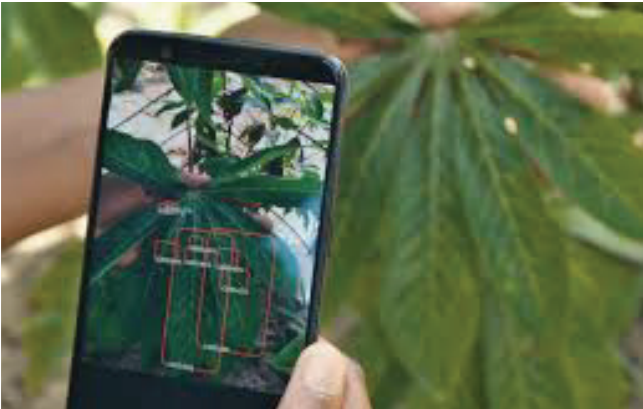
Zararlı otlar için ise geliştirilecek robotik sistemler tüm araziye herbisit uygulamak yerine istenmeyen otların bulunduğu alana herbisit uygulayarak veya farklı yöntemlerle istenmeyen otların temizlenmesi sağlanabilir. Böylelikle herbisit kullanımı azaltılarak (Bazı kaynaklarda %90 oranında azalma olduğu belirtiliyor) daha sağlıklı ürünlerin üretilmesi sağlanabilir. Daha az herbisit kullanımı hem ekonomik girdileri düşürecek hem de bu kimyasalların çevreye vereceği olası zararların önüne geçilecektir. Ayrıca ürünlerin üzerindeki kimyasal kalıntı miktarı da azalacağı için daha sağlıklı ürünler yetiştirilecektir. Şu an John Deere firmasının bu konu hakkında geliştirdiği bir ürünü (Blue River, See&Spray) bulunmaktadır.

2. Yapay Zekâ ile Bitki Hastalıkları ve Zararlılarının Tespiti

Bitkisel hastalıkların erken dönemde fark edilmesi ve aksiyon alınması verim açısından oldukça önemlidir [8]. Yapraklardaki görsel semptomlar hastalığı tanımlamada önemli bir araçtır [9]. Yapay zekâ uygulamalarının bu konuda çiftçilere yardımcı olma potansiyeli bulunmaktadır. Yaprakların fotoğraflarının yapay zekâya yüklenerek olası hastalıklar belirlenebilir ve buna yönelik önlemler alınabilir [10].



Şu an bu konuda yapılan öncül çalışmalar ve sistemler bulunmaktadır. Bu uygulamalara ilgili yaprağın fotoğrafı yüklendiğinde bitkinin hastalığını %90'ın üzerindeki doğruluklarla tespit edebilmektedir [11]. Bu durumun profesyonelleşmiş aşamasında ise robotik veya dron sistemlerinin araziye dolaşarak ilgili hastalıkları otomatik olarak taramasıdır. Benzer yöntem topraktaki bitki besin maddelerinin (BBM) eksikliğinin tespitinde de kullanılabilir. Topraktaki BBM'lerin eksikliğinde bitkide bazı semptomlar görülür. İlgili bitkiler fotoğraflanarak yapay zekâ aracılığıyla semptomların nedeni tespit edilebilir



3.Yapay Zekâ Destekli Tarımsal Verimlilik Artışı

Tarımın yapay zekâdan en önemli kazanımları iş gücü ihtiyacını azaltmakla birlikte verim artışı sağlamaktır [12]. Yazının önceki bölümlerinde bahsedilen konular doğrudan veya dolaylı olarak verim ile ilişkiliydi. Yapay zekâ araçları sadece bitkiler ekildikten sonra değil öncesinde de etkin rol alarak ilgili araziden maksimum verim alınmasına yardımcı olabilir. Örneğin arazinin toprak analizi, iklimsel ve ekonomik veriler analiz edilerek en yüksek verim ve kâr marjı sağlayacak ürün ve gübreleme tipi tespit edilmesine yardımcı olabilir [13].

4. Farklı Yapay Zekâ Uygulamalarının Tarımın Geleceği Hakkındaki Görüşleri

Şu ana kadar hep yapay zekâlar hakkında insanların paylaştığı bilgi ve görüşler bu yazıya eklendi. Son olarak popüler yapay zekâ uygulamalarının bu konu hakkındaki görüşlerini eklemek istedim.

Prompt: Tarımın geleceğinde yapay zekâya yer var mı? Yapay zekâ tarıma başarılı bir şekilde uygulanabilecek mi bu konudaki düşüncelerini 50 kelimelik bir paragrafta kısaca yazabilir misin?

ChatGPT: Evet, yapay zekâ tarımda büyük bir potansiyele sahip. Verimlilik artırma, kaynak yönetimi, hastalık tespiti ve tarım makinelerinin otomasyonu gibi alanlarda AI, çiftçilere daha akıllıca ve verimli çözümler sunabilir. Teknoloji ilerledikçe, tarımda yapay zekanın rolü daha da önem kazanacaktır.

Grok: Yapay zekâ, tarımın geleceğinde önemli bir yer edinebilir. Verimlilik artışı, kaynakların optimize edilmesi ve iklim değişikliğine uyum gibi alanlarda başarılı uygulamalar mümkün. Örneğin, drone'lar ve sensörlerle veri toplayarak mahsul takibi yapılabilir. Ancak, maliyetler ve çiftçilerin teknolojiye adaptasyonu gibi zorluklar da dikkate alınmalı. Evet, başarılı olabilir.

Deepseek: Yapay zekâ, tarımın geleceğinde verimliliği artırmak, kaynak kullanımını optimize etmek ve sürdürülebilirliği desteklemek için kritik bir rol oynayabilir. Hassas tarım, otomatik sulama, hastalık tespiti ve ürün tahmini gibi alanlarda başarıyla uygulanabilir. Ancak, maliyet ve teknolojiye erişim gibi engellerin aşılması gerekiyor.

5. Sonuç

Yapay zekâ son zamanlarda hayatımıza hızlı bir giriş yaptı ve etkin bir şekilde kullanıldığında büyük kolaylıklar sağladığını deneyimledik. Tarım gibi kritik bir konuda bu araçların etkin bir şekilde kullanılmasının bizi birkaç adım öteye götüreceği aşikârdır. Ancak bu uygulamaların tarıma entegre edilmesinin önünde (i) ilk yatırım maliyeti, (ii) erişilebilirlik, (iii) mevcut uygulama performansı, (iv) veri kullanılabilirliği, (v) altyapı ve (vi) teknik uzman eksiklikleri gibi nedenler bulunmaktadır [13].

Bu ve benzeri sorunlar/eksiklikler nedeni ile global tarım sektöründe yapay zekâ araçların henüz tam olarak entegre edilmediği ve geliştirme aşamasında olduğunu görmekteyiz. Bu durum tarımın henüz kaçmadığını ve bu alanda hala fırsatların bulunduğu işaretidir. Ülkemizde de şu an yaklaşık 20 farklı üniversitede yapay zekânın tarımsal uygulamaları ile ilgili projeler yürütülmektedir [14].

Yapay zekânın etkin bir şekilde tarıma entegre edilmesi tarımsal girdileri azaltıp verimi arttırmakla birlikte tarım alanlarının kalitesini düşürmeyeceğinden dolayı sürdürülebilir tarım için de önemli bir araç olacaktır.

Kaynakça:

1. Martos, V., Ahmad, A., Cartujo, P., & Ordoñez, J. (2021). Ensuring agricultural sustainability through remote sensing in the era of agriculture 5.0. *Applied Sciences*, 11(13), 5911.
2. Homg, G. J., Liu, M. X., & Chen, C. C. (2019). The smart image recognition mechanism for crop harvesting system in intelligent agriculture. *IEEE Sensors Journal*, 20(5), 2766-2781.
3. Zhang, J., Karkee, M., Zhang, Q., Zhang, X., Yaqoob, M., Fu, L., & Wang, S. (2020). Multi-class object detection using faster R-CNN and estimation of shaking locations for automated shake-and-catch apple harvesting. *Computers and Electronics in Agriculture*, 173, 105384.
4. Sharma, A., Jain, A., Gupta, P., & Chowdary, V. (2020). Machine learning applications for precision agriculture: A comprehensive review. *IEEE Access*, 9, 4843-4873.

5. <https://farmolog.com/tarimin-gelecegi-yapay-zeka-tabanli-tarim-teknolojileri/>
6. Bosse, S., Gassen, E., Hussaini, M., & Eisert, P. Platform-Based and AI-Enabled Farming to Foster Agricultural Ecosystems.
7. <https://intellias.com/artificial-intelligence-in-agriculture/>
8. Harakannavar, S. S., Rudagi, J. M., Puranikmath, V. I., Siddiqua, A., & Pramodhini, R. (2022). Plant leaf disease detection using computer vision and machine learning algorithms. *Global Transitions Proceedings*, 3(1), 305-310.
9. Mehedi, M. H. K., Hosain, A. S., Ahmed, S., Promita, S. T., Muna, R. K., Hasan, M., & Reza, M. T. (2022, October). Plant leaf disease detection using transfer learning and explainable ai. In 2022 IEEE 13th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON) (pp. 0166-0170). IEEE.
10. Marzougui, F., Elleuch, M., & Kherallah, M. (2020, November). A deep CNN approach for plant disease detection. In 2020 21st international arab conference on information technology (ACIT) (pp. 1-6). IEEE.
11. <https://www.basic.ai/blog-post/7-applications-of-ai-in-agriculture>
12. Subeesh, A., & Mehta, C. R. (2021). Automation and digitization of agriculture using artificial intelligence and internet of things. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 5, 278-291.
13. Çakmakçı, M. F., & Çakmakçı, R. (2023). Uzaktan algılama, yapay zekâ ve geleceğin akıllı tarım teknolojisi trendleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (52), 234-246.
14. <https://www.yok.gov.tr/Sayfalar/Haberler/2024/tarimda-yapay-zeka.aspx>



Dr. Ali YETGİN
Ar-Ge Uzmanı

Toros Tarım A.Ş.
Ar-Ge Merkezi,
Mersin, Türkiye

Biyopestisitlerin Sürdürülebilir Tarıma Sağladığı Çevre Dostu Çözümler

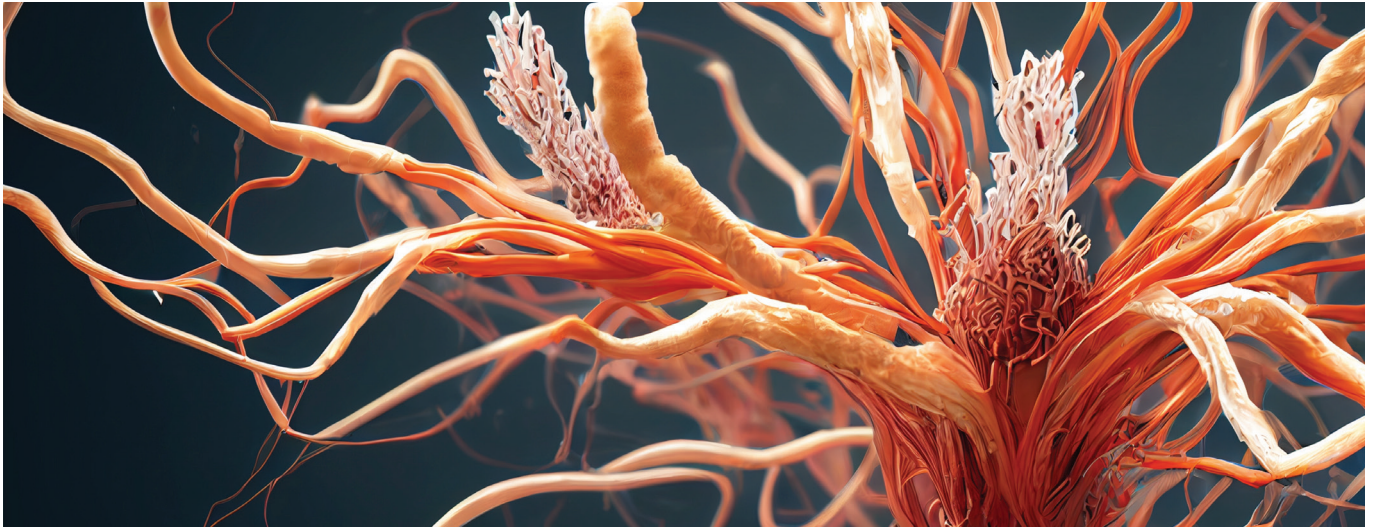
Biyopestisitler, tarımsal zararlı yönetiminde çevre dostu ve sürdürülebilir bir alternatif olarak giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Mikroorganizmalar, bitki özleri ve doğal mineraller gibi biyolojik kaynaklardan elde edilen bu pestisitler, geleneksel kimyasal pestisitlerin neden olduğu çevresel ve sağlık risklerini azaltma potansiyeline sahiptir. Geleneksel pestisitler, su ve toprak kirliliğine yol açarken, biyopestisitler daha hızlı bozularak ekosistem dengesini korumaya yardımcı olur. Ayrıca, biyopestisitler zararlı organizmalara özgüllük göstererek faydalı böcekler, kuşlar ve diğer doğal düşmanlara daha az zarar vermektedir. Biyopestisitlerin sürdürülebilir tarımda daha yaygın kullanımı için çiftçilerin bilinçlendirilmesi, ekonomik teşvikler ve düzenleyici politikalara ihtiyaç bulunmaktadır.

Biyopestisitler, öncelikle çevresel güvenlikleri ve hedef zararlılara karşı özgülükleri nedeniyle geleneksel kimyasal pestisitlere umut verici bir alternatif oluşturmaktadır. Mikroorganizmalar, bitkiler ve bazı mineraller gibi doğal malzemelerden elde edilen biyopestisitler, sürdürülebilir tarım uygulamalarıyla uyumludur. Biyopestisitlerin önemli bir özelliği, daha düşük kalıntı toksisite riskidir. Genellikle çevrede daha hızlı bozunurlar, bu da hedef olmayan organizmalarda biyoakümülyasyon potansiyelini azaltır [1,2]. Biyopestisitlerin çeşitliliği, her biri farklı zararlılara karşı farklı etki şekilleri sunan mikrobiyal pestisitleri (ör. bakteriler, mantarlar), bitki kaynaklı bileşikler ve biyokimyasal ürünleri içerir [3,4].

Biyopestisitlerin etkinliği yalnızca zararlı ölümleri üzerindeki doğrudan etkilerinde değil, aynı zamanda zararlı davranışını ve fizyolojisini değiştirme kapasitelerinde de yatmaktadır [5]. Örneğin, bazı biyopestisitlerin Aphis gossypii gibi zararlıların beslenme davranışını değiştirerek konukçu bitkilerden kaynak toplama yeteneklerini etkileyebildiği gösterilmiştir [6]. Dahası, Bacillus thuringiensis türetilenler gibi biyopestisitler, böceklerin sindirim

sistemlerini hedef alan spesifik proteinleri ifade ederek, daha sonra beslenme, üreme ve hayatta kalma yeteneklerini sınırlayarak işlev görür [7]. Bu tür mekanizmalar, biyopestisitlerin daha zararlı kimyasal pestisitlere bağımlılığı azaltmak için tasarlanmış Entegre Zararlı Yönetimi (IPM) sistemleri de dahil olmak üzere daha geniş zararlı yönetimi stratejilerine entegre olma potansiyelini göstermektedir [8].

Biyopestisit formülasyonlarındaki gelişmeler de raf ömrü ve dağıtım yöntemleri araştırmaların odak noktasını oluşturmaktadır. Çalışmalar, Beauveria bassiana ve Metarhizium anisopliae gibi çeşitli biyopestisit formülasyonlarının etkinliğini araştırmış ve tarımsal uygulamalar için uygulanabilirliklerini ve depolama koşullarını vurgulamıştır [8, 9]. Ayrıca, RNA interferans (RNAi) tabanlı biyopestisitler gibi yeni yaklaşımlar, hedef böceklerdeki spesifik gen ifadelerini bozarak hem etkinlik hem de özgülük sağlayarak hassas haşere kontrolünü kolaylaştıran en yeni metodolojileri temsil etmektedir [10,11].



2. Geleneksel Kimyasal Pestisitlerin Olumsuz Etkileri

Geleneksel kimyasal pestisitler, mahsul verimini artırmak ve bitkileri haşere istilalarından ve hastalıklardan korumak için tarımda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, yaygın kullanımları, bilim insanlarının, politika yapıcıların ve halkın giderek daha fazla dikkatini çeken çok sayıda olumsuz çevresel ve sağlık etkisi yaratmaktadır. Geleneksel pestisitlerle ilgili başlıca çevresel kaygılardan biri, bunların toprak ve su sistemlerini kirletmesidir. Bu kimyasalların yeraltı ve yüzey sularına sızarak su ekosistemleri ve biyoçeşitlilik üzerinde zararlı etkilere yol açtığı bilinmektedir. Araştırmalar, pestisit kalıntılarının tatlı su habitatları üzerinde önemli etkileri olduğunu, çeşitli su organizmalarında düşüşe yol açtığını ve uzun vadeli ekolojik rahatsızlıklar yarattığını göstermektedir [12]. Ayrıca, işlenmiş tarlalardan gelen akış, yakındaki nehir ve göllerde su kalitesinin bozulmasına katkıda bulunarak hem deniz yaşamını hem de bu su kaynaklarına güvenen insan nüfusunu etkileyebilecek toksik koşullara yol açabilir. Su kirliliğine ek olarak, kimyasal pestisitlerin yaygın kullanımı, faydalı böcekler, kuşlar ve diğer vahşi yaşam gibi hedef olmayan türler de dahil olmak üzere biyolojik çeşitlilikteki

düşüşlerle ilişkilendirilmiştir. Bu biyoçeşitlilik kaybı ekolojik dengeleri bozabilir ve doğal haşere avcılarının azalması nedeniyle haşere salgınlarının artmasına yol açabilir [13]. Pestisitlerin çeşitli biyolojik sistemlerde birikmesi, biyoakümülyasyon ve besin ağları ve ekosistem sağlığı üzerindeki potansiyel uzun vadeli sonuçlarla ilgili endişeleri de beraberinde getirmektedir [14,15]. Sağlık açısından bakıldığında, kimyasal pestisitlere hem akut hem de kronik maruziyet, tarım işçileri ve çevredeki topluluklar için ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir. Çalışmalar, pestisitlere maruz kalmanın solunum sorunları, cilt bozuklukları, endokrin bozulması ve hatta kanserle bağlantılı olduğunu göstermiştir [16]. Örneğin, bazı kimyasal bileşikler nörotoksik maddeler olarak kabul edilmekte ve özellikle tarımsal pestisit kalıntılarına maruz kalan çocuklarda bilişsel bozukluklara ve gelişim sorunlarına katkıda bulunmaktadır [17]. Dahası, çiftçilerin bu pestisitlerin güvenli kullanımı ve uygulanmasına ilişkin bilgi ve farkındalıkları genellikle yetersiz kalmakta ve sağlık risklerine karşı duyarlılıklarını daha da artırmaktadır [18].



3. Biyopestisitlerin Sürdürülebilir Tarıma Etkisi

Biyopestisitler, geleneksel kimyasal pestisitlere çevre dostu alternatifler sunarak sürdürülebilir tarımın hayati bileşenleri olarak giderek daha fazla kabul görmektedir. Biyopestisitlerin benimsenmesi, hem etkili haşere yönetimi çözümlerine duyulan ihtiyaçtan hem de kimyasal pestisit kullanımıyla ilişkili olumsuz etkileri azaltma zorunluluğundan kaynaklanmaktadır. Biyopestisitlerin sürdürülebilir tarımdaki rolü ve önemi hem mahsul verimini hem de ekolojik dengeyi artıran uygulamaları destekleyen çeşitli faydaları aracılığıyla anlaşılabilir.

Biyopestisitlerin önemli bir avantajı, hedef olmayan organizmalar için daha düşük toksisiteye sahip olmalarıdır. Bu durum, genellikle faydalı böceklerle, kuşlara ve diğer yaban hayatına zarar veren geleneksel pestisitlerle keskin bir tezat oluşturmaktadır [19, 20]. Biyopestisitler doğal maddelerden elde edildiğinden, daha seçici olma eğilimindedirler ve yaygın ekolojik hasara neden olmadan belirli zararlıları hedef alırlar [21]. Ayrıca, birçok biyopestisit hızlı bir şekilde ayrışarak kalıntı toksisitesini en aza indirir ve daha sağlıklı toprak ve su ekosistemlerine katkıda bulunur. Bu özellik, biyoçeşitliliği koruyarak ve ekolojik esnekliği sürdürerek daha sürdürülebilir uygulamaların geliştirilmesini destekler.

Dahası, biyopestisitler IPM stratejilerinde kritik rol oynamaktadır. Bu stratejiler sadece haşere kontrolü için biyopestisitlere dayanmakla

kalmaz, aynı zamanda haşere popülasyon yoğunluklarını azaltan ve mahsulün dayanıklılığını artıran çeşitli tarımsal uygulamaları da içerir [22]. Çalışmalar, IPM çerçeveleri içinde biyopestisitlerin kullanılmasının kimyasal pestisit bağımlılığını azalttığını ve hedef haşere popülasyonlarında pestisit direnci ile ilgili sorunlarla mücadelede yardımcı olduğunu göstermiştir [23]. Örneğin, *Bacillus thuringiensis*'in biyopestisit olarak uygulanması, zararlı böceklerin yaşam döngülerini etkili şekilde bozarken faydalı türlere verilen zarar en aza indirir [24].

Çiftçilerin biyopestisitleri kabul etmesi ve benimsemeye istekli olması, sürdürülebilir tarımdaki başarıları için kritik öneme sahiptir. Araştırmalar, kimyasal pestisit kullanımından kaynaklanan olumsuz sağlık etkileri yaşayan çiftçilerin biyopestisit kullanma eğiliminin daha yüksek olduğunu göstermektedir [23]. Bu değişim, yalnızca kimyasal pestisitlerle ilişkili sağlık riskleri konusunda artan farkındalığı yansıtmakla kalmıyor, aynı zamanda pestisitlerin uzun vadeli çevresel etkileri olmadan uygun maliyetli çözümler olarak hizmet edebilen biyopestisitlerin ekonomik uygulanabilirliğini de vurguluyor. Ayrıca, çiftçilerin biyopestisitler ve faydaları hakkındaki anlayışını geliştirmeyi amaçlayan eğitim programları, benimseme oranlarını ve tarım uygulamalarına entegrasyonu daha da artırabilir.

4. Sonuç

Biyopestisitler, sürdürülebilir tarım uygulamalarında önemli bir rol oynayarak kimyasal pestisitlerin olumsuz etkilerine karşı çevre dostu alternatif sunmaktadır. Doğal kökenli olmaları, hedef organizmalara özgüllükleri ve çevrede hızlı parçalanmaları sayesinde biyopestisitler, ekolojik dengeyi korurken etkili haşere yönetimi sağlamaktadır. Geleneksel pestisitlerin neden olduğu su ve toprak kirliliği, biyolojik çeşitlilik kaybı ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkiler göz önüne alındığında, biyopestisitlerin entegrasyonu giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

Biyopestisitlerin entegrasyonu, IPM stratejilerinin etkinliğini artırarak pestisit direnci sorunlarını azaltabilir. Bu bağlamda, biyopestisitlerin üretim, formülasyon ve uygulanabilirlik süreçlerindeki teknolojik gelişmeler, onların tarımda daha geniş çapta benimsenmesini sağlamaktadır. Ancak, çiftçilerin biyopestisitler hakkında bilinçlendirilmesi ve bu ürünlerin uygun maliyetli hale getirilmesi, yaygın kullanım açısından kritik faktörlerdir.

Kaynakça:

- Shahid, M., Shaukat, F., Shahid, A., Sohail, A., & Nadeem, M. (2023). Biopesticides: a potential solution for the management of insect pests. *Agrobiological Records*, 13, 7-15.
- Seiber, J. N., Coats, J. R., Duke, S. O., & Gross, A. D. (2018). Pest management with biopesticides. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 5(3), 295.
- Soyel, S. A., Ruidas, S., Roy, P., Mondal, S., Bhattacharyya, S., & Hazra, D. K. (2022). Biopesticides as eco-friendly substitutes to synthetic pesticides: an insight of present status and future prospects with improved bio-effectiveness, self-lives, and climate resilience. *International Journal of Environmental Sustainability and Protection*, 2(2), 1-12.
- Abdollahdokht, D., Gao, Y., Faramarz, S., Poustforoosh, A., Abbasi, M., Asadikaram, G., ... & Nematollahi, M. H. (2022). Conventional agrochemicals towards nano-biopesticides: an overview on recent advances. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 9(1).
- Iglesias, L. E., Havey, M. J., & Nault, B. A. (2021). Management of onion thrips (thrips tabaci) in organic onion production using multiple ipm tactics. *Insects*, 12(3), 207.
- Hamouche, Z., Zippari, C., Boucherf, A., Cavallo, G., Djelouah, K., Tamburini, G., ... & Cornara, D. (2024). Impact of biopesticides on the probing and feeding behavior of *Aphis gossypii*. *CABI Agriculture and Bioscience*, 5(1), 61.
- Johler, S., Kalbhenn, E. M., Heini, N., Brodmann, P., Gautsch, S., Bağcıoğlu, M., ... & Ehling-Schulz, M. (2018). Enterotoxin production of *Bacillus thuringiensis* isolates from biopesticides, foods, and outbreaks. *Frontiers in Microbiology*, 9.
- Almeida, M. G. B., Varize, C. S., Santos, T. S., Rezende, C. S., López, J. A., & Mendonça, M. d. C. (2023). Technology of a novel conidia-tablet formulation and packaging type to increase *Beauveria bassiana* (hypocreales: ophiocordycipitaceae) shelf life at room temperature. *Base*, 109-118.
- Jeong, S., Kim, H. M., Kim, J., Kim, J. S., & Park, H. W. (2022). Effect of storage conditions on the shelf-life extension of fungus-colonized substrates based on *metarhizium anisopliae* using modified atmosphere packaging. *Scientific Reports*, 12(1).
- Yang, X., Liu, S., Lu, W., Du, M., Qiao, Z., Liang, Z., ... & Li, X. (2022). Delta and jagged are candidate target genes of RNAi biopesticides for the control of *Nilaparvata lugens*. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10, 1023729.
- Li, X., Liu, X., Lu, W., Yin, X., & An, S. (2022). Application progress of plant-mediated RNAi in pest control. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10, 963026.
- Iturburu, F. G., Calderón, G., Amé, M. V., & Menone, M. L. (2019). Ecological risk assessment (era) of pesticides from freshwater ecosystems in the pampas region of Argentina: legacy and current use chemicals contribution. *Science of the Total Environment*, 691, 476-482.
- Liu, P., Zheng, X., Shanguan, S., Zhao, L., Fang, X., Huang, Y., ... & Hermanowicz, S. W. (2022). Public perceptions and willingness-to-pay for nanopesticides. *Nanomaterials*, 12(8), 1292.
- Zhang, Q., Si, G., Chen, L., Hu, L., Cui, G., Wang, M., ... & Zhao, D. (2024). Current status and prospects of pine wilt disease management with phytochemicals—a review. *Plants*, 13(15), 2129.
- Wu, C., Tang, P., Cao, A., Ni, P., Zhang, B., & Chang, Z. (2024). Evaluation of an ozone-induced free radical solution's characteristics and its efficacy as an alternative pest control method. *Applied Sciences*, 14(7), 3111.
- Macharia, I. (2015). Pesticides and health in vegetable production in Kenya. *BioMed Research International*, 2015(1), 241516.



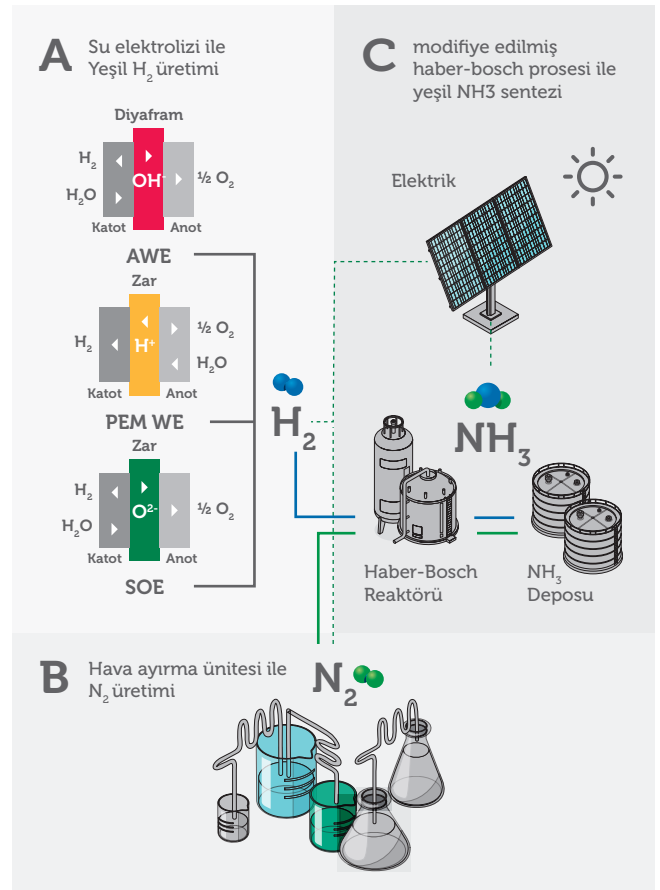
- Benka-Coker, W., Hoskovec, L., Severson, R., Balmes, J. R., Wilson, A., & Magzamen, S. (2020). The joint effect of ambient air pollution and agricultural pesticide exposures on lung function among children with asthma. *Environmental Research*, 190, 109903.
- Damalas, C. A., & Koutroubas, S. D. (2017). Farmers' training on pesticide use is associated with elevated safety behavior. *Toxics*, 5(3), 19.
- Pithiya, K. N., Maheta, H. Y., Bharodia, C. R., & Kumar, K. (2024). Bridging the gap: Factors influencing farmers' willingness and behaviour in biopesticide application. *J. Agricult. Ecol. Res. Int.*, 25(5), 1-6.
- Samada, L. H., & Tambunan, U. S. F. (2020). Biopesticides as promising alternatives to chemical pesticides: A review of their current and future status. *Online journal of biological sciences*, 20(2), 66-76.
- Kumar, V. V., Tripathy, S. A., Chand, R., Pradhan, S., & Kumar, R. (2022). Socio-demographic analysis of farming and use of biopesticides among farmers of Gajapati district in Odisha, India. *Plant Archives*, 22(2), 277-280.
- Soetopo, D. and Alouw, J. C. (2023). Biopesticide development & registration: challenges & strategies. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1179(1), 012003.
- Constantine, K., Kansime, M. K., Mugambi, I., Nunda, W., Chacha, D., Rware, H., ... & Day, R. (2020). Why don't smallholder farmers in Kenya use more biopesticides?. *Pest Management Science*, 76(11), 3615-3625.
- Kumar, P., Kamle, M., Borah, R., Mahato, D. K., & Sharma, B. (2021). *Bacillus thuringiensis* as microbial biopesticide: uses and application for sustainable agriculture. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31(1), 95.

Yeşil Amonyak Geleceğine Giden Yollar

Endüstriyel olarak sentezlenen amonyak (NH_3), küresel NH_3 üretiminin yaklaşık %85'inin tarımsal gübre olarak kullanılması nedeniyle dünya nüfusunu desteklemek için elzemdir [1]. Son zamanlarda, NH_3 enerji depolama ve taşımacılığı için umut verici bir karbonsuz H_2 taşıyıcısı olarak da düşünülmektedir [2,3]. Amonyakın nispeten yüksek olan $-33,4^\circ\text{C}$ 'lik (atmosferik basınçta) kaynama noktası, mevcut sıvı yakıt altyapısıyla uyumluluk için kolay sıvılaştırmayı mümkün kılar [4]. Dahası, NH_3 sıkıştırılmış H_2 'den ($4,5 \text{ MJ L}^{-1}$) ve sıvılaştırılmış H_2 'den ($8,49 \text{ MJ L}^{-1}$) daha yüksek bir hacimsel enerji yoğunluğuna ($12,92 -14,4 \text{ MJ L}^{-1}$) sahiptir [4]. Amonyak, kıvılcım ateşlemeli motorlar veya yakıt hücreleriyle çalışan araçlarda doğrudan yakıt olarak kullanılabilir ve amonyak yakıtlı araçlar Hydrofuel, Hyundai ve Mitsui O.S.K. Lines gibi şirketler tarafından geliştirilmektedir [5,6]. Sonuç olarak, küresel NH_3 üretim kapasitesinin 2030 yılında 289,83 milyon tona çıkması bekleniyor [7].

Ancak, buhar metan reformu (SMR) kullanılarak H_2 üretimi de dahil olmak üzere geleneksel Haber-Bosch NH_3 sentez süreci, küresel yıllık enerji tüketiminin %1-2'sini ($18,6 \text{ GJ tonNH}_3^{-1}$) oluşturur ve 8 yılda yaklaşık 235 milyon ton CO_2 emisyonuna neden olur [8]. Bu CO_2 emisyonlarının yaklaşık %80'i, enerji yoğun SMR süreci yoluyla H_2 üretiminden kaynaklanmaktadır [9]. Bu sürecin, CO_2 'nin bir SMR kimyasal reaksiyon ürünü olarak doğrudan emisyonu nedeniyle karbondan arındırılması zordur. Buna karşılık, su elektrolizi kullanarak yapılan yeşil H_2 üretimi, düşük karbonlu elektrik kaynakları kullanılarak sudan yalnızca H_2 ve O_2 üretir. Bu nedenle, Haber-Bosch işlemi için yeşil H_2 elde etmek üzere yenilenebilir enerji kaynaklarıyla çalışan su elektrolizi ile SMR'nin değiştirilmesi, NH_3 sentezinin önemli ölçüde karbondan arındırılmasını sağlayabilir [10]. Dahası, yeşil H_2 kullanımı, yenilenebilir enerjiyle daha elverişli bir şekilde entegre olabilen ve gübre erişiminin dağıtım eşitliğini iyileştirebilen küçük ölçekli, modüler NH_3 sentezini kolaylaştırabilir. Şekil 1'de açıklandığı gibi, yenilenebilir enerjiden üretilen elektriği kullanan modifiye Haber-Bosch işlemi ile yeşil NH_3 sentezi için çeşitli tipte su elektrolizörleri düşünülmüştür. Bunlara, Tablo 1'de özetlendiği gibi alkali su elektrolizi (AWE), polimer elektrolit membran su elektrolizi (PEM WE) ve katı oksit su elektrolizi (SOE) dahildir [11].

Şekil 1. Su elektrolizinden yeşil H_2 ile yeşil NH_3 üretimi için modifiye Haber-Bosch prosesinin şematik diyagramı. (A) Farklı su elektrolizörleri tarafından yeşil H_2 üretimi: alkali su elektrolizi (AWE), polimer elektrolit membran su elektrolizi (PEM WE) ve katı oksit su elektrolizi (SOE). (B) Bir hava ayırma ünitesi tarafından N_2 üretimi. (C) Modifiye Haber-Bosch prosesi tarafından yeşil NH_3 sentezi. Yeşil NH_3 üretim kapasitesi 10.000 ton gün $^{-1}$ 'dir. Güneş fotovoltaiklerinden üretilen yenilenebilir elektrik, yeşil kesik çizgilerle gösterildiği gibi yeşil NH_3 sentez prosesi (yani yeşil H_2 üretimi için su elektrolizörü, N_2 ayırma için hava ayırma ünitesi ve yeşil NH_3 üretimi için Haber-Bosch prosesi) için enerji sağlar.



Tablo 1. H₂ Üretimi için Alkali Su Elektrolizi (AWE), Polimer Elektrolit Membran Su Elektrolizi (PEM WE) ve Katı Oksit Su Elektrolizinin (SOE) Teknik Özellikleri Su elektroliziyle H₂ tedarik eden yeşil NH₃ sentez projeleri yakın zamanda Air Products, Siemens, OCP, Thyssen Krupp ve Fertiberia gibi büyük şirketler tarafından ticarileştirildi [12]. NH₃ fiyatı büyük ölçüde H₂ fiyatı tarafından belirlendiğinden, yeşil NH₃ ekonomisini hızlandırmak için maliyet açısından rekabetçi yeşil H₂ üretimi gerekli olacaktır [13]. Bu nedenle, kullanılan her su elektrolizörü türü için yeşil H₂ fiyatındaki gelecekteki değişikliklere dayalı olarak yeşil NH₃ üretiminin uygulanabilirliğini değerlendirmek için tekno ekonomik analiz (TEA) gereklidir. Son zamanlarda yapılan birkaç çalışmada, geleneksel Haber-Bosch işlemiyle karşılaştırıldığında yeşil NH₃ üretiminin uygulanabilirliğini belirlemek için TEA yürütülmüştür [14]. Ancak, başlıca elektrolizör teknolojilerini (AWE, PEM WE ve SOE) kullanarak yeşil NH₃ üretiminin ekonomik projeksiyonları ve çevresel etki değerlendirmesi araştırılmamıştır.

	AWE	PEM / WE	SOE
Elektrolit	KOH (2–40 wt %)	Polimer membran (Nafion)	Katı oksit veya seramik (itrimyla stabilize edilmiş zirkonyum)
Sıcaklık	65–80	50–80	700–1000
Basınç (bar)	1–30	20–50	1–15
Akım Yoğunluğu (A cm⁻²)	0.2–0.45	0.6–2.0	0.3–2.0
H₂ üretim oranı (Nm³ h⁻¹)	<1400	<400	<10
Soğuk Başlatma Süresi (min)	60–120	5–10	<60
Sıcak Başlatma Süresi	60–300	<10	900
H₂ Saflığı	>99.5	>99.99	>99.9
Çalışma Ömrü	60–100	20–60	(>2300)
Yatırım Maliyeti	920–1725	1610–2668	(>2300)
Teknik Durum	Ticari olarak büyük ölçekte mevcut	Ticari olarak büyük ölçekte mevcut	Ticarileştirilebilir seviyede değil
Teknoloji Hazırlık Düzeyi	9	8	5
Sistem Verimliliği	51–60	46–60	76–81
Enerji Tüketimi	55.5–65.3	55.5–72.4	41.1–43.8

Üç ana elektrolizör türü, kullanılan elektrolite göre ayırt edilebilir. AWE, yeşil H₂ üretimi için en yaygın su elektrolizörüdür, bunu PEM WE ve SOE takip eder (Tablo 1). AWE, daha az maliyetli katalizörlerin kullanımı nedeniyle yüksek teknoloji hazır olma seviyesi (TRL) ve düşük sermaye harcaması (CAPEX) nedeniyle ticarileştirilmiştir. PEM WE, ticari ölçekte mevcut olan ikinci en

ticarileştirilmiştir. PEM WE, ticari ölçekte mevcut olan ikinci en olgun elektroliz teknolojisidir. PEM WE, katı polimer elektrolit kullanımı, yüksek kompaktlık, aralıklı yenilenebilir elektriğin kullanımı için esnek çalışma ve yüksek basınçlı çalışma gibi temel avantajlara sahiptir [15]. Son olarak, SOE, yüksek çalışma sıcaklıklarında elverişli termodinamik ve kinetikten kaynaklanan yüksek sistem verimliliği nedeniyle büyük ölçekli yeşil H₂ üretimi için umut vericidir [16]. Bu nedenle, üç elektrolizör türünün hepsi yeşil NH₃ üretimi için kullanılabilir ve gelecekte ekonomik ve çevresel olarak sürdürülebilir olma potansiyeline sahip olabilir [17].

Diğer NH₃ sentezini karbondan arındırma yöntemleri gelecekte ümit verici olabilir, ancak ilişkili teknolojilerin, su elektrolizinden gelen H₂'yi kullanan değiştirilmiş Haber-Bosch işlemine kıyasla yüksek bir TRL'ye ulaşmak için önemli araştırma ve geliştirme gerektirmesi muhtemeldir [18]. Örneğin, N₂ elektrokimyasal indirgemesi yavaş kinetik ve H₂ evrimiyle önemli rekabetten mustarıptır [19,20]. Haber-Bosch işlemi için mavi H₂ üretmek üzere karbon yakalamalı SMR, doğal gaz tedarik zinciri nedeniyle yaşam döngüsü temelinde önemli iklim etkilerine neden olabilir [21]. Biyolojik fiksasyon yolları uzun zaman ölçeklerinde meydana gelir ve azotu büyük ölçekte fikslemeleri olası değildir [22]. Plazma fiksasyon işlemleri enerji verimliliği ve ölçeklenebilirlik açısından daha fazla iyileştirme gerektirmektedir [10]. Su elektroliziyle birleştirilen değiştirilmiş Haber-Bosch işlemi, yakın gelecekte maliyet açısından rekabetçi yeşil NH₃ elde etmek için ümit verici bir yöntem sunmaktadır.

Kaynakça:

1. Erisman, J. W.; Sutton, M. A.; Galloway, J.; Klimont, Z.; Winiwarer, W. How a Century of Ammonia Synthesis Changed the World. *Nature Geoscience* 2008 1:10 2008, 1 (10), 636–639.
2. Winter, L. R.; Cooper, N. J.; Lee, B.; Patel, S. K.; Wang, L.; Elimelech, M. Mining Nontraditional Water Sources for a Distributed Hydrogen Economy. *Environ. Sci. Technol.* 2022, 56, 10577.
3. MacFarlane, D. R.; Cherepanov, P. v.; Choi, J.; Suryanto, B. H. R.; Hodgetts, R. Y.; Bakker, J. M.; Ferrero Vallana, F. M.; Simonov, A. N. A Roadmap to the Ammonia Economy. *Joule* 2020, 4 (6), 1186–1205.
4. Aziz, M.; TriWijayanta, A.; Nandiyanto, A. B. D. Ammonia as E ective Hydrogen Storage: A Review on Production, Storage and Utilization. *Energies* 2020, 13 (12), 3062.
5. Mounaim-Rousselle, C.; Brequigny, P. Ammonia as Fuel for Low-Carbon Spark-Ignition Engines of Tomorrow's Passenger Cars. *Front Mech Eng.* 2020, 6, 70.
6. Ammonia - Green Car Congress. <https://www.greencarcongress.com/ammonia/>
7. Global Ammonia Capacity and Capital Expenditure Outlook, 2020–2030 - India and Russia to Lead Globally in Terms of Ammonia Capacity Additions. <https://www.globaldata.com/store/report/globalammonia-capacity-and-capital-expenditure-outlook-2020-2030-indiaand-russia-to-lead-globally-in-terms-of-ammonia-capacity-additions/>
8. Rouwenhorst, K. H. R.; Engelmann, Y.; van 't Veer, K.; Postma, R. S.; Bogaerts, A.; Le erts, L. Plasma-Driven Catalysis: Green Ammonia Synthesis with Intermittent Electricity. *Green Chem.* 2020, 22 (19), 6258–6287.
9. Ghavam, S.; Vahdati, M.; Wilson, I. A. G.; Styling, P. Sustainable Ammonia Production Processes. *Frontiers in Energy Research* 2021, 9, 34.
10. Winter, L. R.; Chen, J. G. N₂ Fixation by Plasma-Activated Processes. *Joule* 2021, 5(2), 300–315.
11. Lee, B.; Winter, L. R.; Lee, H.; Lim, D.; Lim, H.; & Elimelech, M. (2022). Pathways to a green ammonia future.
12. Air Products, ACWA Power and NEOM Sign Agreement for \$5 Billion Production Facility in NEOM Powered by Renewable Energy for Production and Export of Green Hydrogen to Global Markets. <https://www.airproducts.com/news-center/2020/07/0707-air-products-agreement-for-green-ammonia-production-facility-for-export-to-hydrogen-market> (accessed 2021-05-24).
13. Andersson, J.; Lundgren, J. Techno-Economic Analysis of Ammonia Production via Integrated Biomass Gasification. *Applied Energy* 2014, 130, 484–490.
14. Zhang, H.; Wang, L.; van herle, J.; Maréchal, F.; Desideri, U. Techno-Economic Comparison of Green Ammonia Production Processes. *Applied Energy* 2020, 259, 114135.
15. Bessarabov, D.; Millet, P. PEM Water Electrolysis; Pollet, B. G., Ed.; Elsevier Science, 2018; Vol. 1.
16. Hauch, A.; Küngas, R.; Blennow, P.; Hansen, A. B.; Hansen, J. B.; Mathiesen, B. v.; Mogensen, M. B. Recent Advances in Solid Oxide Cell Technology for Electrolysis. *Science* 2020, 370 (6513), No. eaba6118.
17. Brauns, J.; Turek, T. Alkaline Water Electrolysis Powered by Renewable Energy: A Review. *Processes* 2020, 8 (2), 248.
18. Chen, J. G.; Crooks, R. M.; Seefeldt, L. C.; Bren, K. L.; Morris Bullock, R.; Darensbourg, M. Y.; Holland, P. L.; Ho man, B.; Janik, M. J.; Jones, A. K.; Kanatzidis, M. G.; King, P.; Lancaster, K. M.; Lymar, S. v.; Pfromm, P.; Schneider, W. F.; Schrock, R. R. Beyond Fossil Fuel-Driven Nitrogen Transformations. *Science* 2018, 360 (6391), eaar6611.
19. Wang, L.; Xia, M.; Wang, H.; Huang, K.; Qian, C.; Maravelias, C. T.; Ozin, G. A. Greening Ammonia toward the Solar Ammonia Refinery. *Joule* 2018, 2 (6), 1055–1074.
20. van der Ham, C. J. M.; Koper, M. T. M.; Hetterscheid, D. G. H. Challenges in Reduction of Dinitrogen by Proton and Electron Transfer. *Chem. Soc. Rev.* 2014, 43 (15), 5183–5191.
21. Bauer, C.; Treyer, K.; Antonini, C.; Bergerson, J.; Gazzani, M.; Gencer, E.; Gibbins, J.; Mazzotti, M.; McCoy, S. T.; McKenna, R.; Pietzcker, R.; Ravikumar, A. P.; Romano, M. C.; Ueckerdt, F.; Vente, J.; van der Spek, M. On the Climate Impacts of Blue Hydrogen Production. *Sustainable Energy & Fuels* 2021, 6 (1), 66–75.
22. Vicente, E. J.; Dean, D. R. Keeping the Nitrogen-Fixation Dream Alive. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 2017, 114 (12), 3009–3011.



TOROS TARIM