

Merhaba,

Toros ARGE Bülteni'nin yeni sayılarında birbirinden farklı ve dopdolu içerikleri sizler için ele almaya devam ediyoruz. Bu sayımızda "Fitojenik Yem Katkı Maddeleri: Sürdürülebilir Hayvancılığın Yeni Yolu", "Sürdürülebilir Tarım Uygulamaları İçin Zeolit Minerali ve Etkileri", "Hidrojen Peroksitin Tarım Sektöründe Stres Koşullarına Karşı Etkisi" ve "Hidrojen Üretiminde Kaynak Seçimi ve Yeşil Üretim" 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.



## Fitojenik Yem Katkı Maddeleri: Sürdürülebilir Hayvancılığın Yeni Yolu

Doç. Dr. Gökhan FİLİK, Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Gül FİLİK  
Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Kırşehir, Türkiye  
Öğretim Üyesi

Hayvancılık sektörünün sürdürülebilirlik hedeflerine daha kolay ulaşabilmek amacıyla meydana gelen sera gazı emisyonu etkilerini minimize edebilmek için yem veya yem katkı maddelerine alternatifler yeni spesifik ürünlere yönelimi giderek artmaktadır. Bitki kaynaklı biyoaktif bileşenlerden (fenolik bileşikler, flavonoidler, alkaloidler, esansiyel yağlar vb.) oluşan fitojenik yem katkı maddeleri (FYM), hayvanların büyüme performansını ve bağışıklığını güçlendirme, sindirim etkinliğini artırma ve çevresel ayak izini azaltma potansiyeline sahiptir. Araştırmalar, bu katkı maddelerinin antimikrobiyal ve antioksidan etkileriyle antibiyotik kullanımına alternatif olabileceğini göstermekte; oksidatif stresi azaltarak doku hasarını önlediğini ve bağırsak mikrobiyotasını düzenleyerek hayvan refahını iyileştirdiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca FYM, yemden yararlanma oranlarını iyileştirerek hem üretim maliyetlerini düşürmekte hem de metan salınımını azaltarak sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlamaktadır. Bu çalışmada, FYM'nin hayvansal üretim sistemlerinde kullanılmasına ilişkin temel veriler, farklı bitki ekstraktlarının etkinliği ve teknolojik yeniliklerle (nanoteknoloji ve biyoteknoloji gibi) desteklenebilecek gelecek perspektifleri

ele alınmıştır. Sonuç olarak, FYM'nin yaygınlaşması; hayvan sağlığı ve verimliliğine katkı sağlarken, çevre dostu üretim pratiklerinin de önünü açarak modern hayvancılıkta stratejik bir avantaj sunmaktadır.

### 1. Fitojenik Yem Katkı Maddelerinin Tanımı

Fitojenik yem katkı maddeleri, bitkisel kaynaklı aktif bileşenlerden oluşan, hayvan beslemede kullanılan yenilikçi yem katkılarıdır. Esansiyel yağlarla karşılaştırıldığında daha yoğun biyoaktif bileşen içeriğine sahip olan bu katkıları, antibakteriyel, antioksidan ve sindirimi destekleyici özellikleriyle öne çıkar[1,2]. Fitojenik yem katkıları; bitki ekstraktları, esansiyel yağlar, fenolik bileşikler, alkaloidler ve flavonoidler gibi çok çeşitli biyoaktif bileşenleri içerir. Fenolik bileşikler oksidatif stresi azaltan güçlü antioksidan etkileriyle dikkat çekerken, esansiyel yağlar özellikle antimikrobiyal ve bağırsak sağlığını destekleyici rolleriyle bilinir[3,4]. Örneğin, zerdeçal (*Curcuma longa*) ve propolis kombinasyonu, tilapyalarda oksidatif stresi azaltıp, bağışıklık sistemini güçlendirmiştir[5]. Benzer şekilde kekik yağı ve thymol, bağırsak mikrobiyotasını olumlu etkileyerek hayvan

performansını artırırken, lipid peroksidasyonunu düşürerek hücrel koruma sağlamıştır [6,7]. Bu katkı maddelerinin biyoaktif bileşenlerin hedefli salınımı ve metabolizma desteği gibi özellikleri, onları bitkisel yağlardan ayıran önemli bir faktördür. Flavonoidler hem antiinflamatuvar hem de immün sistem destekleyici etkiler gösterirken, alkaloidler metabolik aktiviteleri düzenleyerek stres toleransını artırabilir[8,9]. Henna (*Lawsonia inermis*) ve Acacia nilotica gibi bitkisel katkıların, tavuklarda *Eimeria* spp. enfeksiyonlarına karşı antioksidan savunmayı güçlendirdiği ve bağırsak histolojisini koruduğu bildirilmiştir [10]. Bitkisel katkıların çevresel sürdürülebilirliğin etkisini artırması ve antibiyotiklere alternatif olarak kullanılabilmesi, modern hayvancılıkta onları cazip bir seçenek haline getirmektedir. Örneğin berberin alkaloidi yüklü kitosan nanopartiküllerinin, ısı stresine maruz kalan tavşanlarda oksidatif hasarı azaltarak performansı iyileştirmesi, bu katkıların potansiyelini göstermektedir [4].

## 2. Fitojenik Yem Katkı Maddelerinin Etki Mekanizmaları

Fitojenik yem katkıları, çeşitli biyokimyasal ve fizyolojik mekanizmalar aracılığıyla hayvan performansını ve sağlığını iyileştirir. Antimikrobiyal aktivite, antioksidan etki, sindirim sistemi desteği ve bağışıklık sistemi katkısı, bu katkıların temel etki alanlarını oluşturur.

**2.1. Antimikrobiyal Aktivite:** Fitojenik maddeler, zararlı mikroorganizmaların büyümesini engelleyerek bağırsak mikrobiyotasını dengeler. Örneğin tarçın yağı, kekik ekstraktı ve sarımsakta bulunan allisin gibi bileşikler patojenik bakterilere karşı güçlü antimikrobiyal etki gösterir[10,12]. Kekik yağı ve carvacrol gibi bileşenlerin, bağırsak sağlığını ve hayvan performansını artırdığı bilinmektedir[13]. Thymol ve p-cymene, bağırsak bütünlüğünü koruyarak büyüme performansını ve bağışıklığı desteklemektedir[9].

**2.2. Antioksidan Etki:** Fitojenik katkıları, serbest radikal temizleyici özellikleri sayesinde oksidatif stresi azaltarak hayvanların metabolizmasında koruyucu bir rol oynar[12]. Bu durum, doku hasarını önlemeye ve genel sağlık durumunu iyileştirmeye yardımcı olur. Zerdeçal ve propolis kombinasyonunun oksidatif stresi azalttığı ve bağışıklığı iyileştirdiği gösterilmiştir[14]. Kekik yağı, sarımsak ve biberiye gibi bileşiklerde bulunan fenolik bileşikler de lipid peroksidasyonunu düşürerek antioksidan savunmayı güçlendirmektedir[3]. Ayrıca berberin yüklü kitosan nanopartikülleri, ısı stresine maruz kalan tavşanlarda oksidatif hasarı azaltarak büyüme performansını artırmıştır[4].

**2.3. Sindirim Sistemine Destek:** Fitojenik katkıları, sindirimi kolaylaştıran enzimlerin salgılanmasını teşvik ederek yemden alınan besin maddelerinin emilimini artırır[6]. Kekik yağı ve thymol, bağırsaktaki patojenik bakteri yükünü azaltırken faydalı bakterilerin çoğalmasında destekler[9]. Curcumin (zerdeçal) ve *Scutellaria baicalensis* gibi bileşikler ise bağırsak epitelini koruyarak yemden yararlanma oranını

iyileştirmektedir[15]. Ayrıca kara kimyon ve susam tohumu gibi katkıların, yem enerji verimliliğini artırdığı tespit edilmiştir[7].

**2.4. Bağışıklık Sistemine Katkı:** Fitojenik yem katkıları, bağışıklık sistemini güçlendirerek hayvanların patojenlere karşı dirençlerini artırır[5]. Sarımsak ve kekik yağındaki biyoaktif bileşenler, enfeksiyonlara karşı koruma sağlarken, flavonoidler ve fenolik bileşikler bağışıklık hücrelerinin fonksiyonlarını destekler[9]. Henna ve Acacia nilotica gibi bitkisel ekstraktlar, bağırsak enfeksiyonlarına karşı koruma sağlayarak büyüme performansını da iyileştirmektedir[10].

## 3. Sürdürülebilirlik ve Yeşil Dönüşüm: Fitojenik Yem Katkı Maddeleri

Fitojenik yem katkıları, hayvancılık sektöründe sürdürülebilirlik ve yeşil dönüşüm hedeflerine ulaşmak için önemli bir yaklaşım sunmaktadır. Doğal bileşenlerden oluşan FYM, çevresel etkileri azaltırken, hayvan sağlığını ve üretim performansını olumlu yönde etkileyen antimikrobiyal, antioksidan ve sindirim destekleyici özellikleri barındırmaktadır [13].

**3.1. Çevresel Etkilerin Azaltılması:** Fitojenik yem katkılarının en önemli avantajlarından biri, antibiyotik kullanımını sınırlandırarak antimikrobiyal direnç (AMR) oluşumunu azaltma potansiyelidir [16]. Aynı zamanda çevrede kimyasal kalıntı bırakmayan bu katkıları, sindirim etkinliğini artırarak gübredeki azot ve fosfor salınımını düşürmektedir [17]. Alharbi ve ark., (2025) tarçın ve kekik yağı gibi bileşenlerin sindirim enzimlerini aktive ettiği, yemden yararlanma oranını yükseltip, atık miktarını azalttığını bildirmişlerdir. Ayrıca FYM'nin metan emisyonlarını azalttığına dair bulgular, hayvancılığın karbon ayak izini azaltma potansiyeline dikkat edilmesini işaret etmektedir [18].

**3.2. Hayvan Refahı ve Üretim Verimliliği:** Fitojenik katkıları, hastalıklara karşı direnç sağlayarak üretim kayıplarını en aza indirmektedir. Sarımsakta bulunan allisin ve propolis gibi doğal bileşenler, oksidatif stresi azaltıp, hayvanların genel sağlık durumunu desteklediği bilimsel çalışmalarda ispatlanmıştır [19]. Yemden yararlanma oranlarını iyileştirdiği ve büyüme performansını artırdığı birçok çalışmada gösterilen FYM, et ve yumurta kalitesini de yükselterek ekonomik kazanç sağlamaktadır [3]. Örneğin, curcumin ve *Scutellaria baicalensis* özleri, tavuklarda temoregülasyonu destekleyerek ısı stresine bağlı verim kayıplarını hafifletmektedir [15].

**3.3. Yeşil Dönüşüm ve Döngüsel Ekonomi:** Fitojenik yem katkıları, tarımsal yan ürünlerin yem katkısına dönüştürülmesinde rol oynayarak döngüsel ekonomiye de önemli bir destek sağlamaktadır. Brunetti ve ark., (2022) üzüm posası ve enginar yapraklarından elde edilen ekstraktların yem katkısı olarak kullanılması, atıkların azaltılmasını ve kaynakların verimli bir biçimde değerlendirilmesini sağlamışlardır. Bu yaklaşım hem

ekonomik fayda hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır.

**3.4. Sürdürülebilir Geleceğe Katkı: FYM;** hayvancılıkta antibiyotik kullanımına alternatif sunarak ekosistemin korunmasını, hayvan refahının artmasını ve daha sürdürülebilir üretim pratiklerine geçişi teşvik etmektedir [8]. Böylece çevre dostu ve verimli bir sistem kurulurken, üreticilerin ve tüketicilerin beklentileri de karşılanmaktadır.

#### 4. Uygulamalar ve Gelecek Araştırmalar

Fitojenik yem katkı maddeleri, kanatlı hayvanlardan ruminantlara kadar geniş bir uygulama alanına sahiptir. Ancak bu katkıların tam potansiyelini ortaya koymak ve kullanımını yaygınlaştırmak için daha fazla bilimsel çalışma ve teknolojik gelişme gereklidir. Nanoteknoloji, biyoteknoloji ve moleküler yöntemlerle entegre edilen FYM'ler, hayvancılık sektöründe köklü değişiklikler yaratabilme potansiyeline sahiptir.

##### 4.1. Nanoteknoloji ve Fitojenik Yem Katkıları:

Nanoteknoloji, FYM'nin biyoyararlanımını ve etki gücünü artırmada kritik bir araçtır. Nanoenkapsülasyon sayesinde biyoaktif bileşikler bağırsakta hedeflenen bölgeye etkili şekilde ulaşabilmektedir [12, 13]. Berberin yüklü kitosan nanopartiküllerinin, ısı stresine maruz kalan tavşanlarda oksidatif stresi ve dokusal hasarı azaltması, bu alandaki potansiyele en güncel örnek olarak gösterilebilir [4]. Nanopartikül bazlı FYM'lerin ayrıca bağırsak mikrobiyotasını dengeleyerek hayvan performansını artırabileceği de ileri sürülmektedir [18].

##### 4.2. Biyoteknolojik Yaklaşımlar:

Biyoteknolojik yöntemler, FYM'nin etkinliğini artırırken ekonomik ve ekolojik sürdürülebilirlik sunan bir araçtır. Genetik mühendislikle zenginleştirilmiş bitkiler, fenolik bileşikler ve flavonoidler gibi biyoaktif unsurların miktarı artırılabilir [20]. Bu da daha güçlü antioksidan ve bağışıklık destekleyici etki anlamına gelir. Probiyotiklerle birleştirilen FYM'ler, bağırsak mikrobiyotasını olumlu yönde etkileyerek sindirim ve bağışıklık sisteminin performansını yükseltmektedir [21, 22].

##### 4.3. Moleküler Yöntemler ve Etki Mekanizmaları:

Moleküler düzeyde yapılan araştırmalar, FYM'nin hayvan sağlığı üzerindeki etkilerini daha iyi anlamamızı sağlamaktadır. Gen ekspresyon analizleri, FYM'nin özellikle antioksidan enzimler ve bağışıklıkla ilişkili genler üzerindeki düzenleyici rolünü ortaya koymaktadır [23]. RNA dizileme (RNA-Seq) ve proteomik analizler, bağırsak mikrobiyotası değişikliklerini ve bunların hayvan performansına yansımalarını detaylandırarak yeni formülasyonların geliştirilmesini de kolaylaştırmaktadır [11, 24].

##### 4.4. Gelecek Perspektifleri:

Nanoteknoloji ve biyoteknolojinin FYM ile entegre edilmesi, daha etkili, güvenilir ve ekonomik katkı maddelerinin önünü açmaktadır. Gelecek araştırmalar da özellikle şu alanlarda yoğunlaşmalıdır:

1. Nanoteknolojik Uygulamalar: Biyoaktif bileşenleri hedefleyen nanopartikül sistemlerinin geliştirilmesi,
2. Genetik Modifikasyonlar: Biyoaktif içerik bakımından zenginleştirilmiş bitki kaynaklarının kullanılması,
3. Çevresel Sürdürülebilirlik: FYM'nin uzun vadeli karbon ayak izi ve ekosistem etkilerinin değerlendirilmesi.

#### 5. Sonuç

Fitojenik yem katkı maddeleri, hayvan sağlığı ve üretim verimliliğini artırmanın yanı sıra, çevresel sürdürülebilirliği güçlendiren kapsamlı bir yaklaşım sunmaktadır. Doğal biyoaktif bileşenleriyle hem antibiyotik kullanımını azaltarak direnç sorununu hafifletmekte hem de üretim sistemi üzerinde ekolojik faydalar sağlamaktadır. Antimikrobiyal, antioksidan ve sindirimi destekleyici etkileriyle FYM, modern hayvancılık uygulamalarının vazgeçilmez unsurları arasında hızla yer edinmektedir. Gelecekte nanoteknoloji, biyoteknoloji ve moleküler yöntemlerle desteklenen FYM'lerin daha geniş bir yaygınlık kazanacağı öngörülmektedir. Nanopartiküller biyoaktif bileşiklerin hedefe yönelik salınımını artırırken, genetik mühendislikle geliştirilen bitkisel kaynaklar ve probiyotik kombinasyonları hayvan sağlığını daha da üst seviyeye taşıyabilir. Bu sayede hayvan refahı, ekonomik kazanç ve ekolojik sorumluluğun aynı potada eridiği sürdürülebilir bir hayvancılık sistemi inşa etmek mümkün olacaktır.

#### Kaynaklar:

1. Alharbi, K., Asnayanti, A., Hasan, A., Vaught, W. J., Buehler, K., Van der Klis, J. D., Gonzalez, J., Kidd, M. T., & Alrubaye, A. (2025). Investigating the effect of 1,25 dihydroxycholecalciferol-glycosides and phytoanticipants against bacterial chondronecrosis induced by aerosol transmission model. *Journal of Applied Poultry Research*, 34, 100507.
2. Hanif, M. F., Agus, A., Ariyadi, B., Muhlisin, & Pambuka, S. R. (2025). Effect of turmeric powder supplementation on physical and chemical egg quality, antioxidant activity, and yolk fatty acid profile. *Veterinary Integrative Sciences*, 23(2), e2025031.
3. Bekele Alemu, S., Girma Abebe, M., & Kebede Senbeta, E. (2025). Effects of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) and onion (*Allium cepa* L.) extracts as feed additive on layers performance, hematological, and blood biochemical parameters of White Leghorn. *Journal of Poultry Sciences and Avian Diseases*, 3(1), 26–34.
4. Shalaby, F. M., Hassan, S. A., El-Raghi, A. A., El-Hady, A. E. S., Alajmi, F. E., Hassan, A. A., & Attia, K. A. (2025). The beneficial impacts of dietary berberine-loaded chitosan nanoparticles on growth performance and health status of newly weaned rabbits facing heat stress. *Italian Journal of Animal Science*, 24(1), 206–222.
5. Edrees, A., Abdel-Dairn, A. S., Shaban, N. S., Shehata, O., & Ibrahim, R. E. (2025). Dietary intervention of propolis and/or turmeric boosted growth, hematology, biochemical profile, and antioxidant-immune responses in Nile tilapia. *Aquaculture International*, 33, 46.
6. Moraes, P. O., Seghetto, R., Hauptli, L., Paiano, D., Schafer da Silva, A., Benetti Filho, V., Wagner, G., & de Oliveira Moraes, P. (2025). Blended phytochemicals as an alternative to growth-promoting antibiotics in newly weaned piglets. *Tropical Animal Health and Production*, 57(5).
7. Yassein, S. A., El-Kady, R. I., Abedo, A. M., El-Mallah, G. M., & Sallam, M. G. (2025). Response of growing Japanese quails to different types of natural seed meals on performance, carcass traits, and some biochemical parameters. *Egyptian Journal of Veterinary Sciences*, 56(7), 1555–1563.
8. Haghghat-Jahromi, M., Talebi, E., Naemi, M., & Rakhshan, V. (2025). Efficacy and safety of peppermint extract (*Mentha Piperita*) and probiotics in broilers: Antioxidant and performance effects. *Journal of Poultry Sciences and Avian Diseases*, 3(1), 35–53.
9. Elmelegy, E. H., Attallah, S. T., Sallam, E. A., & Mohammed, L. S. (2025). Impact of Yucca extract and basil oil supplementation on carcass characteristics, quality of meat, and the cecal microbiota in broiler chickens. *Journal of Advanced Veterinary Research*, 15(1), 20–27.
10. Eldeeb, F. A., Noseer, E. A., Abdelazeem, S., Ali, E., Basher, A. W., Abdalla, M. A. A., & Ibrahim, H. H. (2025). Effect of dietary supplementation of *Lawsonia inermis* and *Acacia nilotica* extract on growth performance, intestinal histopathology, and antioxidant status of broiler chickens challenged with coccidiosis. *BMC Veterinary Research*, 21(2).

11. Kour, D., Khan, S. S., Singh, S., et al. (2024). Microbial nanotechnology for agriculture, food, and environmental sustainability. *Folia Microbiologica*, 69(491–520).
12. Hanif, M. F., Agus, A., Ariyadi, B., Muhlisin, & Pambuka, S. R. (2025). Effect of turmeric powder supplementation on physical and chemical egg quality, antioxidant activity, and yolk fatty acid profile. *Veterinary Integrative Sciences*, 23(2), e2025031.
13. Moniruzzaman, M., & Min, T. (2020). Curcumin nanoparticles and their applications in monogastric farm animal, poultry, and fish nutrition. *Pharmaceutics*, 12(447).
14. Edrees, A., Abdel-Daim, A. S., Shabari, N. S., Shehata, O., & Ibrahim, R. E. (2025). Dietary intervention of propolis and/or turmeric boosted growth, hematology, biochemical profile, and antioxidant-immune responses in Nile tilapia. *Aquaculture International*, 33,46.
15. Zmrhal, V., Hampel, D., & Lichovnikova, M. (2025). Curcuma and *Scutellaria baicalensis* extracts reduced thermoregulatory behavior in chickens subjected to moderate heat stress. *Applied Animal Behaviour Science*, 282.
16. Wang, J., Deng, L., Chen, M., & Feng, T. (2024). Phytogetic feed additives as natural antibiotic alternatives in animal health and production: A review of the literature of the last decade. *Animal Nutrition*, 17, 244–264.
17. Brunetti, L., Leuci, R., Colonna, M. A., Carrieri, R., Celentano, F. E., Bozzo, G., ... & Piemontese, L. (2022). Food industry byproducts as starting material for innovative, green feed formulation: A sustainable alternative for poultry feeding. *Molecules*, 27(4735).
18. Teobaldo, R. W., Cardoso, A. d. S., Brito, T. R., & Reis, R. A. (2022). Response of phytogetic additives on enteric methane emissions and animal performance of Nelore bulls raised in grassland. *Sustainability*, 14(9395).
19. Ahmed, S., Farooq, M., Khan, M. J., Khan, A., & Islam, Z. (2024). Effectiveness of phytogetic feed additives in improving immunity, antioxidant status, and production performance of poultry. *Molecules*, 27(4735).
20. Verma, M. L. (2020). *Nanobiotechnology for sustainable bioenergy and biofuel production*. CRC Press.
21. Brunetti, L., Leuci, R., Colonna, M. A., Carrieri, R., Celentano, F. E., Bozzo, G., ... & Piemontese, L. (2022). Food industry byproducts as starting material for innovative, green feed formulation: A sustainable alternative for poultry feeding. *Molecules*, 27(4735).
22. Mishra, A., Sharma, S., & Pandey, S. K. (2014). Role of probiotics and phytogetics in sustainable poultry farming. *World's Poultry Science Journal*, 70(2), 345–352.
23. Dokou, S., Vasilopoulou, K., Bonos, E., et al. (2023). Effects of dietary supplementation with phytobiotic encapsulated plant extracts on broilers' performance parameters, welfare traits, and meat characteristics. *Annals of Animal Science*, 23, 1105–1118.
24. Scott, A., Vadalasetty, K. P., Chwalibog, A., & Sawosz, E. (2018). Copper nanoparticles as an alternative feed additive in poultry diet: A review. *Nanotechnology Reviews*, 7(1), 69–93.



## Sürdürülebilir Tarım Uygulamaları İçin Zeolit Minerali ve Etkileri

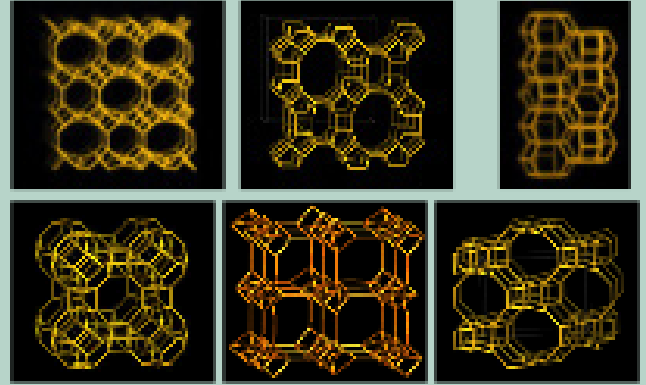
Mehmet Ufuk Aslan  
Toros Tarım A.Ş., ARGE Merkezi, Mersin, Türkiye  
Ar-Ge Uzmanı

Günümüzde tarımsal üretim süreçlerinde karşılaşılan önemli sorunlardan biri, yanlış, etkisiz veya aşırı gübreleme uygulamalarıdır. Bu tür hatalı uygulamalar, toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bozulmasına yol açmakta, aynı zamanda kullanılan kimyasal gübrelerin yeraltı sularına sızarak su kaynaklarını kirletmesiyle çevresel problemlere sebep olmaktadır. Bu durumun ekonomik etkileri de göz ardı edilemez. Bu bağlamda, tarımda sürdürülebilir ve çevre dostu çözümler arayışında yapılan araştırmalardan bir kısmı, zeolit minerali üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu çalışmada, zeolitinin tarımda kullanım alanları ve sağladığı faydalar ile sahip olduğu özellikler detaylı bir şekilde incelenmiştir.

### 1.Giriş

Beslenme, insanlık tarihi boyunca en önemli sorun ve araştırma konularından biri olmuştur. İnsanlar yerleşik hayata geçtiklerinde bu sorun bir nebze olsun hafifletilmiş olsa da bu defa verim sorunları ortaya çıkmıştır. Nüfus arttıkça yiyecek ihtiyacı da paralel olarak artmakta ve birim alandan daha fazla verim eldesi gerekmektedir. 19.yy'a kadar gübreleme imkânı kısıtlı olduğundan dolayı verim artışı belirli bir noktaya kadar sağlanabiliyordu. 19.yy'da Alman kimyager Justus von Liebig bitkiler için azot (N), fosfor (P) ve potasyum'un (K) temel bitki besinleri olduğunu keşfetti. 20.yy'da Fritz Haber ve Carl Bosch'un amonyak sentezleme yöntemi (Haber-Bosch süreci) ile entüstriyel olarak azotlu gübre üretimi mümkün oldu [1]. Kimyasal gübre üretiminin ve tüketiminin yaygınlaşması ile birlikte tarımsal alanda büyük bir verim artışı sağlandı. Ancak bu çözüm beraberinde bazı sorunları da getirdi. Kullanılan kimyasal gübrelerin fazlası hem ekonomik olarak hem de çevresel olarak zarar vermektedir. Aşırı gübrelemeye devam edilmesi hem su kaynakları açısından hem de sürdürülebilirlik açısından büyük bir tehlike arz etmektedir. Bundan dolayı gübreleme konusunda yeni yaklaşımların geliştirilmesi oldukça önemli hale gelmiştir. Zeolit minerali bu konuda araştırmaların yapıldığı ve çözüm potansiyeli olan bir maddedir.

Zeolit minerali 18.yy'da İsveçli mineralog Frederich Cronstet tarafından keşfedildi ve isimlendirildi. Zeolitler, tetrahedral  $AlO_4^-$  ve  $SiO_4^-$  moleküllerinden oluşan sert bir kristal kafes yapısı olarak yapılandırılmış alkali veya alkali toprak metallerin alüminosilikatlarıdır [2-4].



Şekil 1. Farklı zeolit türlerine ait kafes yapısı türleri [5].

Zeolitlerin porlu yapıda olması, yüzey alanı büyüklüğü, yüksek su tutma kapasitesi ve yüksek kation değişim kapasitesi gibi özelliklerinden dolayı tarımda ve farklı sektörlerde popüler araştırma konularından biridir. Zeolit sahip olduğu porlardan ve kation değişim kapasitesinden dolayı yapısında gübre veya farklı maddeleri tutma ve bunları ortama geri bırakma özelliğine sahiptir [6-7]. Bu özelliğinden dolayı zeolite gübre yükleme çalışmaları ilgi odaklarından biridir. Yazının devamında zeolitinin tarımda kullanılan veya kullanılma potansiyeli olan konulara değinilecektir.

### 2.Toprak İyileştirici Olarak Zeolit

Toprak yapısı oldukça hassas bir dengeye sahiptir. Toprağa yapılan herhangi bir uygulama veya arazide yetiştirilen bitkiler dahi toprağın yapısını değiştirebilmektedir. Toprağın fiziksel, kimyasal veya biyolojik açıdan tedavi etmek için kullanılan maddelere "toprak iyileştirici" denir [8]. Toprak iyileştiricileri organik veya inorganik içerikli olabildiği gibi doğal veya sentetik de olabilirler. İnorganik



toprak iyileştiriciler arasında zeolit minerali de bulunmaktadır.

Günümüzde ABD, Japonya ve çeşitli ülkelerde zeolitler toprak iyileştirici olarak kullanılmaktadır [9-10]. Literatürdeki çalışmalarda (i) zeolitın toprağın su tutma kapasitesini arttırdığı [11], (ii) topraktaki ağır metalleri tutarak besin zincirine geçişini engellediği [12], (iii) topraktaki mikroorganizma aktivitesini arttırdığı [13] ve (iv) pestisitlerin toprakta bozunma hızını arttırdığı gösterilmiştir [14]. Burada görüldüğü üzere zeolitın toprak üzerinde pozitif etkisi bulunmaktadır. Ancak literatürdeki çalışmalarda genel olarak tek bir sorunun üzerine yoğunlaşmış ve ona yönelik çalışılmıştır. Tarımsal üretim sırasında üreticiler tek bir sorunla karşılaşmayıp farklı sorunların kombinasyonları ile uğraşabilmektedir. Bu alanda ise yeterli miktarda çalışma maalesef bulunmamaktadır.

### 3.Bitki Koruma Ürünleri Taşıyıcısı Olarak Zeolit Minerali

Pestisitler tarımda sıklıkla kullanılan kimyasallardır. Pestisitlerin aşırı kullanımı hem insan sağlığına hem de çevreye zarar vermektedir. Sadece 2021 yılında 3,53 milyon ton pestisit kullanılmıştır ve bu miktarın 1/3'ü ABD ve Brezilya'nın kullanımına aittir [15-16]. Bununla birlikte son zamanlarda medyada sıkça, fazla pestisit içerdiğinden dolayı gümrük testlerini geçemeyen ürünler ile karşılaşmaktayız. Pestisit miktarını azaltmak ve pestisit kullanım etkinliği arttırmak amacıyla yapılan çalışmalar literatürde mevcuttur. Bu çalışmalarda genel olarak ilgili kimyasalın zeolitın porlarına yüklenmesi ve pestisit yavaş salınımı amaçlanmıştır [17-18]. Bu çalışmalarda zeolit mineralinin pestisit adsorplama ve kullanım etkinliğini arttırmada başarılı olduğu gözlenmiştir. Tarımsal alanda kullanılan pestisitler sadece bitkiler üzerinde kalmayıp çeşitli yollarla su kaynaklarına karışabilmektedir. Bu durum ilgili su kaynaklarının kimyasal ve mikrobiyal içeriklerini değiştirerek kullanılamaz duruma getirmektedir. Bu kaynaklar kullanıldığında insanlarda çeşitli rahatsızlıkların oluştuğu bildirilmiştir. Su kaynaklarında biriken pestisit kontrol altına alınması ve giderilmesi için geliştirilen bazı yöntemler bulunsa da bu yöntemlerin maliyetleri yüksek olduğu için aktif olarak kullanımları oldukça sınırlıdır. Zeolitlerin maliyeti düşük olduğundan ve ilgili kimyasalların yapılarında toplayabildiklerinden dolayı bu konuda çözüm için araştırılan materyallerden biridir [19-20].

### 4.Zeolit ve Bitki Besin Maddesi Etkileşimleri

Tarımsal alanda yapılan zeolit konulu çalışmaların, büyük bir kısmı zeolitler ile bitki besin maddesi (BBM) etkileşimlerine odaklanmaktadır. Bu çalışmalar genel olarak iki ana kategoride incelenebilir:

- BBM'i zeolite yükleyerek ortama verilmesi
- Zeolit ve BBM'i ayrı olarak verip BBM kullanım etkinliğinin araştırılması.

Literatürde, çoğunlukla BBM'in zeolitlere yüklenerek ortama verilmesi üzerinde durulmaktadır. Bu tür çalışmalar, zeolitın kation değişim kapasitesi ve porlu yapısından yararlanarak çeşitli BBM'leri zeolit yapısına yüklemeyi amaçlamaktadır [21-23]. Bu araştırmalardaki temel hedef, BBM'in zeolit ile yüklenerek ortama verilmesi ve zeolitın yavaş salınım özelliği sayesinde BBM'in ortamdaki aşırı şekilde yıkanmasının engellenmesidir. Böylelikle, daha az miktarda BBM kullanılarak tarımsal üretimin verimliliği artırılmak istenmektedir. Yapılan çalışmalarda, zeolitlere BBM yüklenmenin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği ve bu alanda önemli bir potansiyelin bulunduğu bildirilmiştir [24]. Diğer bir yaklaşımda ise zeolitın doğrudan ortama eklenerek, ortamda BBM kullanım verimliliği üzerindeki etkisi incelenmektedir. Zeolit minerali, bulunduğu ortamdaki iyonları absorplayarak, ortamın konsantrasyonu düşüldükçe bu iyonları geri salma kapasitesine sahiptir. Bu özellik, BBM'lerin ortamdaki yıkanmasını engellemeye yardımcı olmakta ve dolayısıyla BBM'lerin yararlılığını artırmaktadır. Literatürdeki çalışmalar, ortama zeolit eklenmesinin azot [25-26], fosfor [27-28] ve potasyum [29-30] kullanım verimliliğini artırdığını göstermektedir.

### 5.Sonuç

Zeolitın sahip olduğu bu özelliklerden dolayı direkt ve indirekt olarak bitki verimine etki etmektedir. Örneğin (i) yüksek su tutma kapasitesi nedeniyle kuraklık sorunu olan bölgelerde toprağın su tutma kapasitesini artırarak bitkinin kuraklık stresine girmesini önleme etkili olduğu, (ii) ağır metalleri toplama özelliği nedeniyle ortamdaki ağır metallerin bitkiye geçmesini (ve haliyle besin zincirine geçmesini) engelleyerek ağır metal stresinin önüne geçtiği, (iii) pestisit taşıyıcısı olarak aşırı pestisit kullanımının önüne geçtiği, (iv) BBM taşıyıcısı olarak bitki beslemede pozitif etki yarattığı, (v) ortama eklendiğinde BBM'lerin kullanım verimliliğini artırarak bitki verimini arttırmaktadır.

Sonuç olarak zeolitın farklı özelliklerinden dolayı tarımda kullanım alanları bulunmaktadır. Potansiyel farklı kullanım alanları için ise çalışmalar sürdürülmektedir. Bununla birlikte zeolitın farklı sektörlerde (örneğin, (i) hayvancılıkta altlık veya yem katkısı olarak, (ii) endüstride katalizör veya filtrasyonda, (iii) inşaatda beton katkı maddesi olarak) kullanım alanı bulunmaktadır. Ülkemizde, özellikle Manisa ve Balıkesir illeri olmak üzere farklı bölgelerde zeolit yatakları ve maden işletmeleri mevcuttur. Bu yer altı zenginliklerinin, ekonomiye kazandırılması, yalnızca ekonomik açıdan fayda sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik açısından da olumlu etkiler yaratacaktır. Bu durum, ekolojik dengeyi güçlendirerek uzun vadede toplumsal refahı artırmaya katkı sağlayacaktır.

**Kaynaklar:**

- Prasad, R., & Shivay, Y. S. (2021). A Brief History of the Fertilizer Nitrogen. *Indian Journal of History of Science*, 56(1), 60-64.
- Jarosz, R., Szerement, J., Gondek, K., & Mierzwa-Hersztek, M. (2022). The use of zeolites as an addition to fertilisers—A review. *Catena*, 213, 106125.
- Mumpton, F. A. (1985). Using zeolites in agriculture. *Innovative biological technologies for lesser developed countries*, 127-158.
- Auerbach, S. M., Carrado, K. A., & Dutta, P. K. (2003). *Zeolite science and technology*. New York, Basel, 11-30.
- Europe IZA-SC. 2023. (WWW document) Available at: [https://europe.iza-structure.org/IZA-SC/ftc\\_table.php](https://europe.iza-structure.org/IZA-SC/ftc_table.php). Accessed December 2024.
- Noviello, M., Gattullo, C. E., Faccia, M., Paradiso, V. M., & Gambacorta, G. (2021). Application of natural and synthetic zeolites in the oenological field. *Food Research International*, 150, 110737.
- Ramesh, K., & Reddy, D. D. (2011). Zeolites and their potential uses in agriculture. *Advances in agronomy*, 113, 219-241.
- Pearson, M. S., Maenpaa, K., Pierzynski, G. M., & Lydy, M. J. (2000). Effects of soil amendments on the bioavailability of lead, zinc, and cadmium to earthworms (Vol. 29, No. 5, pp. 1611-1617). *American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America*.
- Nakhli, S. A. A., Delkash, M., Bakshshayesh, B. E., & Kazemian, H. (2017). Application of zeolites for sustainable agriculture: a review on water and nutrient retention. *Water, Air, & Soil Pollution*, 228, 1-34.
- DeSutter, T. M., & Pierzynski, G. M. (2005). Evaluation of soils for use as liner materials: A soil chemistry approach. *Journal of environmental quality*, 34(3), 951-962.
- de Campos Bernardi, A. C., Oliveira, P. P. A., de Melo Monte, M. B., & Souza-Barros, F. (2013). Brazilian sedimentary zeolite use in agriculture. *Microporous and Mesoporous Materials*, 167, 16-21.
- Zheng, R., Feng, X., Zou, W., Wang, R., Yang, D., Wei, W., ... & Chen, H. (2021). Converting loess into zeolite for heavy metal polluted soil remediation based on "soil for soil-remediation" strategy. *Journal of Hazardous Materials*, 412, 125199.
- Sivashankari, L., Rajkishore, S. K., Lakshmanan, A., Subramanian, K. S., & Praghadeesh, M. (2021). Bio-safety assessment of nanozeolites of varying size and doses on soil beneficial microorganisms. *Journal of Environmental Biology*, 42, 1181-1190.
- Gorodylova, N., Michel, C., Seron, A., Joulain, C., Delorme, F., Bresch, S., ... & Michel, K. (2021). Modified zeolite-supported biofilm in service of pesticide biodegradation. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 45296-45316.
- Statista R.D. 2023. Global pesticide agricultural use 2021, by leading country (WWW document) Available at: <https://www.statista.com/statistics/1263069/global-pesticide-use-by-country/>. Accessed March 2024.
- Doust, E., Ayres, J. G., Devereux, G., Dick, F., Crawford, J. O., Cowie, H., & Dixon, K. (2014). Is pesticide exposure a cause of obstructive airways disease?. *European respiratory review*, 23(132), 180-192.
- Janićević, D., Uskoković-Marković, S., Ranković, D., Milenković, M., Jevremović, A., Vasiljević, B. N., ... & Bajuk-Bogdanović, D. (2020). Double active BEA zeolite/silver tungstophosphates—Antimicrobial effects and pesticide removal. *Science of the Total Environment*, 735, 139530.
- Janićević, D., Jevremović, A., Lezaic, A. J., Vasiljević, B. N., Uskoković-Marković, S., Bajuk-Bogdanović, D., & Milojević-Rakić, M. (2021). Comparative assessment of pesticide adsorption capacity and antioxidant activity of Silver Dodecatungstophosphate/HBEA zeolite composites. *Journal Of Environmental Chemical Engineering*, 9(6).
- De Smedt, C., Ferrer, F., Leus, K., & Spanoghe, P. (2015). Removal of pesticides from aqueous solutions by adsorption on zeolites as solid adsorbents. *Adsorption Science & Technology*, 33(5), 457-485.
- Andrunik, M., Skalny, M., Gajewska, M., Marzec, M., & Bajda, T. (2023). Comparison of pesticide adsorption efficiencies of zeolites and zeolite-carbon composites and their regeneration possibilities. *Heliyon*, 9(10).
- Lateef, A., Nazir, R., Jamil, N., Alam, S., Shah, R., Khan, M. N., & Saleem, M. (2016). Synthesis and characterization of zeolite based nano-composite: An environment friendly slow release fertilizer. *Microporous and Mesoporous Materials*, 232, 174-183.
- Mondal, M., Biswas, B., Garai, S., Sarkar, S., Banerjee, H., Brahmachari, K., ... & Hossain, A. (2021). Zeolites enhance soil health, crop productivity and environmental safety. *Agronomy*, 11(3), 448.
- Soltys, L., Myronyuk, I., Tatarчук, T., & Tsinurhynch, V. (2020). Zeolite-based composites as slow release fertilizers. *Physics and Chemistry of Solid State*, 21(1), 89-104.
- Aslan, M. U., & Arslan, H. (2024). The Effect of Zeolites on Soil and Plant: A Review. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 55(14), 2197-2216.
- Sepaskhah, A. R., & Barzegar, M. (2010). Yield, water and nitrogen-use response of rice to zeolite and nitrogen fertilization in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management*, 98(1), 38-44.
- Wu, Q., Chi, D., Xia, G., Chen, T., Sun, Y., & Song, Y. (2019). Effects of zeolite on drought resistance and water-nitrogen use efficiency in paddy rice. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 145(11), 04019024.
- Nur Aainaa, H., Haruna Ahmed, O., & Ab Majid, N. M. (2018). Effects of clinoptilolite zeolite on phosphorus dynamics and yield of Zea Mays L. cultivated on an acid soil. *PLoS One*, 13(9), e0204401.
- Palanivell, P., Ahmed, O. H., Omar, L., & Abdul Majid, N. M. (2021). Nitrogen, phosphorus, and potassium adsorption and desorption improvement and soil buffering capacity using clinoptilolite zeolite. *Agronomy*, 11(2), 379.
- Li, Y., Xia, G., Wu, Q., Chen, W., Lin, W., Zhang, Z., ... & Chi, D. (2022). Zeolite increases grain yield and potassium balance in paddy fields. *Geoderma*, 405, 115397.
- Moraetis, D., Papagiannidou, S., Pratikakis, A., Pentari, D., & Komnitsas, K. (2016). Effect of zeolite application on potassium release in sandy soils amended with municipal compost. *Desalination and Water Treatment*, 57(28), 13273-13284.



## Hidrojen Peroksitin Tarım Sektöründe Stres Koşullarına Karşı Etkisi

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

Hidrojen peroksitin düşük konsantrasyonlarda bitki metabolizmasını ve büyümesini teşvik edici etkileri bilinmektedir. Hidrojen peroksit, bitki hücrelerinde reaktif oksijen türlerinin (ROS) düzenlenmesine katkıda bulunarak hücrel sinyal yollarını aktive eder ve böylece bitki büyümesini ve stres direncini artırabilir. Bilimsel çalışmalar, hidrojen peroksitin bitkilerde kök gelişimini, yaprak yüzey alanını ve klorofil içeriğini artırdığını göstermiştir. Ayrıca, düşük konsantrasyonlarda uygulanan hidrojen peroksitin, bitkilerin su ve besin alımını optimize ederek fotosentez verimliliğini artırdığı ve böylece genel bitki sağlığını iyileştirdiği bilinmektedir. Bu çalışmada, tarımda hidrojen peroksit kullanımının etkinliğini değerlendirecek ve bu yenilikçi yaklaşımın sürdürülebilir tarım uygulamalarına nasıl entegre edilebileceğini ortaya koyacaktır.

### 1. Tarım Sektöründe Etkisi

Hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) fizyolojik ve biyokimyasal yolları modüle eden bir sinyal molekülü olarak hareket ederek çeşitli bitki türlerinde bitki büyümesini ve verimini artırmada önemli rol oynar. Uygulaması fotosentetik verimliliğini, stres toleransını ve genel bitki verimliliğini artırdığı gösterilmiştir. Yazlık mısırda, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ön hazırlığı, stoma iletkenliğini artırarak ve fotosistem II (PSII) verimliliğini koruyarak net fotosentetik oranı %37,5 oranında artırmış, bu da kuru madde birikimini ve suya doymuş koşullar altında tane verimini iyileştirmiştir [4]. Ficus deltoidea için, 30 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> uygulaması bitki boyunu, yaprak sayısını ve fotosentetik oranları önemli ölçüde artırarak gelişmiş büyüme ve fotosentetik kapasiteyi göstermiştir [5].

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> çeşitli tarımsal bağlamlarda incelenerek potansiyel faydaları ve etkileri bilimsel araştırmalarla ortaya konmuştur. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin çeltik topraklarında fenton benzeri reaksiyonları tetikleyerek As(V)-indirgeyici ve As-metilleyici mikroorganizmaları inhibe edebileceğini ve böylece pirinç tanelerinde arsenik birikimini azaltabilmektedir [1]. Hidroponik sistemlerde H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> mikrobiyal popülasyonları azaltabilir, organik gübrelere

birlikte uygulandığında bitki büyümesini artırarak organik hidroponik gübrelemeyi daha uygulanabilir hale getirir [2]. Ayrıca, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin vermikompost ve NPK ile birlikte uygulanması toprak verimliliğini, mahsul üretimini ve besin içeriğini olumlu yönde etkilemektedir, ancak sürekli uygulama zararlara ve hastalık direncinin azalmasına neden olabilir [3].

Mango ağaçlarında H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin 5 ve 20 mM'de yapraktan uygulanması, toplam şeker ve karotenoid içeriğinin artmasıyla meyve tutumu ve kalitesini iyileştirerek daha yüksek verim ve daha iyi meyve kalitesine yol açmıştır [6]. Patates bitkileri, özellikle kuraklık koşullarında H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> takviyeli su ile sulandığında, su kullanım verimliliğini ve yumru verimini artırarak vejetatif büyüme ve verimde iyileşme göstermiştir. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sinyal ağlarında ikincil bir haberci olarak hareket eder, stres tepkilerine aracılık eder ve diğer sinyal molekülleriyle etkileşime girerek büyümeyi teşvik eder [7]. Patateste H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kök solunumunu, yaprak biyokütlesini ve klorofil içeriğini artırmanın yanı sıra makro element alımını ve enzim aktivitesini artırarak kuraklığa toleransı geliştirmiştir [8]. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> bitki büyümesini ve verimini artırabilirken hem faydalı bir sinyal molekülü hem de potansiyel bir toksin olarak ikili rolü dikkatle yönetilmelidir. Aşırı konsantrasyonlar oksidatif strese ve hücre hasarına yol açabilir, bu da bitki gelişimi üzerindeki olumlu etkilerinden yararlanmak için kontrollü uygulamanın önemini vurgular.

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, absisik asit (ABA) ve etilen gibi fitohormonlarla etkileşime girerek bitki büyümesi ve gelişiminde önemli rol oynar. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, düşük konsantrasyonlarda bitki hormonlarını taklit eden sinyal molekülü olarak hareket eder ve çeşitli gelişimsel süreçlerin düzenlenmesinde rol oynar [15]. Bitkilerin zorlu ortamlarda gelişmesine yardımcı olan biyokimyasal yollara aracılık ettiği bilinmektedir [16]. ABA ise gen ifadesini kontrol ederek ve antioksidan aktiviteleri artırarak bitkilerde stres toleransını geliştirir [17]. Çok yönlü hormon olan etilen, büyüme ve gelişme süreçlerini düzenlemek için diğer hormonlarla etkileşime girerek bitki



büyümesini, meyve olgunlaşmasını ve yaşlanmayı modüle eder [18]. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, ABA ve etilen arasındaki çapraz etkileşimi, bitkilerin çevresel uyarılara verdiği tepkileri koordine eden ve büyüme, gelişme ile stres toleransını etkileyen karmaşık bir sinyal ağı oluşturmaktadır. [9].

## 2. Stres Koşullarına Etkisi

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> çeşitli stres koşulları altında bitki direncini artırmada çok yönlü bir rol oynar. Stres tepkilerini modüle eden bir sinyal molekülü olarak hareket ederek bitkilerin tuzluluk, kuraklık ve diğer abiyotik stresler gibi olumsuz çevresel faktörlerle başa çıkmasına yardımcı olur. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin stres azaltmadaki etkinliği konsantrasyona bağlıdır. Düşük seviyeler faydalı etkileri teşvik ederken, yüksek seviyeler oksidatif hasara neden olabilir. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, stres savunma mekanizmalarını ve gen ekspresyonunu aktive eden, tuzluluk ve kuraklık gibi abiyotik streslere karşı bitki toleransını artıran bir sinyal ajanı olarak işlev görür [10]. Stres koşulları altında hücrel su durumunun korunmasına yardımcı olan ozmoprotektanların birikimini uyararak ozmotik ayarlamayı teşvik eder.

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> hazırlama, antioksidan savunmaları geliştirir, reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimini ve tuzluluk toleransı için çok önemli olan temizlemeyi dengeler [11]. Graviola bitkilerinde, yapraklardan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> uygulaması tuzlu koşullar altında fizyolojik ve büyüme endekslerini iyileştirmiştir, ancak stresi şiddetlendirmekten kaçınmak için konsantrasyon dikkatlice yönetilmelidir [12]. Kuraklık koşulları altında soya fasulyesi ve domates bitkilerinde eksojen H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> uygulaması, fotosentetik verimliliği, klorofil içeriğini ve ozmotik ayarlamayı iyileştirerek daha iyi stres toleransı ve iyileşmeye yol açmıştır. Soya fasulyesinde, düşük H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonları, klorofil floresansı ve prolin içeriği gibi özellikleri geliştirerek hassas büyüme aşamalarında kuraklık stresinin azaltılmasına yardımcı olmuştur [13].

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> gen ekspresyonunu modüle eder ve strese duyarlı transkripsiyon faktörlerini aktive ederek bitkinin adaptif tepkilerine katkıda bulunur. Oksidatif stresi azaltmaya ve bitki direncini artırmaya yardımcı olan antioksidan enzimler ve fenolik bileşikler gibi savunma ile ilgili moleküllerin üretimini artırır [14]. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> stres azaltmada faydalı olsa da daha yüksek konsantrasyonlarda potansiyel oksidatif hasarı önlemek için uygulaması dikkatlice kontrol edilmelidir.

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oksidatif strese karşı korunmak için bitkilerde antioksidan savunma mekanizmalarının etkinleştirilmesinde çok önemli rol oynar [15, 16, 19]. Yüksek seviyelerde zararlı olabilen reaktif oksijen türü olsa da izin verilen sınırlar dahilinde, bitki büyümesi ve gelişimine yardımcı olan bir dizi biyokimyasal yolu tetikleyen sinyal molekülü olarak işlev görür. Bitkiler süperoksit dismutaz, katalaz ve peroksidazlar gibi enzimatik antioksidanların yanı sıra askorbik asit ve glutatyon gibi serbest radikalleri temizlemek ve stres koşullarına yanıt olarak redoks dengesini korumak için birlikte çalışan enzimatik olmayan

antioksidanlara sahiptir. Karmaşık antioksidan ağı, bitkilerin ROS birikiminin zararlı etkilerini azaltmasına yardımcı olarak sonuçta stres toleransını artırır ve zorlu ortamlarda hayatta kalmayı teşvik eder.

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> tuzluluk ve ağır metal toksisitesi de dahil olmak üzere çeşitli stres koşullarına karşı bitki toleransını artırmada umut verici sonuçlar göstermiştir ve sonuçta mahsul veriminin ve kalitesinin artmasına neden olmuştur [20, 21]. Çalışmalar, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin yapraklardan uygulanmasının klorofil sentezini ve iyon homeostazını iyileştirerek tuz stresinin bitkiler üzerindeki zararlı etkilerini azaltabileceğini ve böylece daha iyi büyüme endekslerini teşvik edebileceğini göstermiştir [22].

## Sonuç

Hidrojen peroksitin bitki büyümesi, fotosentetik verimlilik ve stres toleransını artırmada etkili bir bileşen olduğunu göstermektedir. Düşük konsantrasyonlarda kullanımı, reaktif oksijen türlerinin düzenlenmesi ve fitohormonlar ile çapraz etkileşim yoluyla bitki metabolizmasını desteklerken, aynı zamanda çevresel stres koşullarına karşı adaptasyonu güçlendirmektedir. Hidrojen peroksitin kullanımı, geleneksel tarım uygulamalarına yenilikçi ve sürdürülebilir bir katkı sağlayarak, mahsul verimliliğini artırma ve çevresel etkileri azaltma potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte, uygulama sırasında dikkatli bir dozaj kontrolü, potansiyel toksik etkilerin önlenmesi açısından kritik öneme sahiptir. Gelecekteki araştırmalar, farklı bitki türleri ve çevresel koşullar altında hidrojen peroksitin optimize edilmiş uygulama yöntemlerine odaklanarak, bu bileşenin tarım sektöründeki kullanımını daha da genişletebilir.

## Kaynaklar:

- Peng, Z., Lin, C., Fan, K., Ying, J., Li, H., Qin, J., & Qiu, R. (2024). The use of urea hydrogen peroxide as an alternative N-fertilizer to reduce accumulation of arsenic in rice grains. *Journal of Environmental Management*, 349, 119489.
- Lau, V., & Mattson, N. (2021). Effects of hydrogen peroxide on organically fertilized hydroponic lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Horticulturae*, 7(5), 106.
- Selvaanathi, A., & Jerlin, B. (2020). Study on the Effect of Fertilizers and Hydrogen Peroxide on Soil Property, Growth, Yield and Nutrient Content of *Abelmoschus Esculentus* (L.) Moench. *International Journal of Agriculture System*, 8(2), 77-84.
- Wang, S., Hu, J., Ren, B., Liu, P., Zhao, B., & Zhang, J. (2022). Effects of hydrogen peroxide priming on yield, photosynthetic capacity and chlorophyll fluorescence of waterlogged summer maize. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1042920.
- Nik Muhammad Nasir, N. N., Khandaker, M. M., Mohd, K. S., Badaluddin, N. A., Osman, N., & Mat, N. (2021). Effect of hydrogen peroxide on plant growth, photosynthesis, leaf histology and rubisco gene expression of the *Ficus deltoidea* Jack Var. *Deltoidea* Jack. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40, 1950-1971.
- Mostafa, L. (2021). Effect of Hydrogen Peroxide on the Growth, Fruit Set, Yield and Quality of Ewais Mango Trees. *Egyptian Journal of Horticulture*, 48(1), 71-81.
- Fatima, H., Ishaque, S., Hashim, M., Hano, C., Abbasi, B. H., & Anjum, S. (2023). Role of hydrogen peroxide in plant and crosstalk with signaling networks, growth, and development. In *Hormonal Cross-Talk, Plant Defense and Development* (pp. 195-224). Academic Press.
- Abd Elhady, S. A., El-Gawad, H. G. A., Ibrahim, M. F., Mukherjee, S., Elkelish, A., Azab, E., ... & El-Azm, N. A. (2021). Hydrogen peroxide supplementation in irrigation water alleviates drought stress and boosts growth and productivity of potato plants. *Sustainability*, 13(2), 899.
- Bhoi, A., Yadu, B., Chandra, J., & Keshavkant, S. (2024). Cross-talk of strigolactones with abscisic acid, gibberellins, ethylene, and other hormones. In *Strigolactones* (pp. 103-126). Academic Press.
- Anam, S., Hilal, B., & Fariduddin, Q. (2024). Polyamines and hydrogen peroxide: Allies in plant resilience against abiotic stress. *Chemosphere*, 143438.

11. Jamshidi Goharizi, K., Karami, S., & Ghanaei, S. (2024). Hydrogen peroxide priming promotes salinity tolerance in plants—A comprehensive review. *Agronomy Journal*, 116(2), 612-629.
12. Capitulino, J. D., Lima, G. S. D., Azevedo, C. A. D., Silva, A. A. D., Arruda, T. F. D. L., Souza, A. R. D., ... & Nascimento, R. D. (2024). Hydrogen peroxide in attenuating salt stress in soursoy. *Revista Caatinga*, 37, e11876.
13. Basal, O., Zargar, T. B., & Veres, S. (2024). Elevated tolerance of both short-term and continuous drought stress during reproductive stages by exogenous application of hydrogen peroxide on soybean. *Scientific Reports*, 14(1), 2200.
14. Barzotto, G. R., Cardoso, C. P., Jorge, L. G., Campos, F. G., & Boaro, C. S. F. (2024). Foliar H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Application Improve the Photochemical and Osmotic Adjustment of Tomato Plants Subjected to Drought. *Agriculture*, 14(9), 1572.
15. Jahan, A., Khan, M. M. A., Ahmad, B., Ahmed, K. B. M., Pandey, R. P., & Gulfishan, M. (2023). Hydrogen peroxide: regulator of plant development and abiotic stress response. In *Reactive Oxygen Species: Prospects in Plant Metabolism* (pp. 213-228). Singapore: Springer Nature Singapore.
16. Fatima, H., Ishaque, S., Hashim, M., Hano, C., Abbasi, B. H., & Anjum, S. (2023). Role of hydrogen peroxide in plant and crosstalk with signaling networks, growth, and development. In *Hormonal Cross-Talk, Plant Defense and Development* (pp. 195-224). Academic Press.
17. Nguyen, C. H., Yan, D., & Nambara, E. (2023). Persistence of abscisic acid analogs in plants: chemical control of plant growth and physiology. *Genes*, 14(5), 1078.
18. Bhardwaj, S., Sharma, D., Jan, S., Singh, R., Bhardwaj, R., & Kapoor, D. (2022). Crosstalk of ethylene and other phytohormones in the regulation of plant development. *Ethylene in Plant Biology*, 17-31.
19. Borges, C. V., Orsi, R. O., Maraschin, M., & Lima, G. P. P. (2023). Oxidative stress in plants and the biochemical response mechanisms. In *Plant Stress Mitigators* (pp. 455-468). Academic Press.
20. Capitulino, J. D., Lima, G. S. D., Azevedo, C. A. D., Silva, A. A. D., Arruda, T. F. D. L., Souza, A. R. D., ... & Nascimento, R. D. (2024). Hydrogen peroxide in attenuating salt stress in soursoy. *Revista Caatinga*, 37, e11876.
21. Jamshidi Goharizi, K., Karami, S., & Ghanaei, S. (2024). Hydrogen peroxide priming promotes salinity tolerance in plants—A comprehensive review. *Agronomy Journal*, 116(2), 612-629.
22. Silva, P. C., Gheyi, H. R., Evangelista, H. S., Deus, K. D. S. D., & Azevedo, A. D. D. (2023). Hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) improves ion homeostasis in coriander plants under salt stress. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 27(9), 729-735.



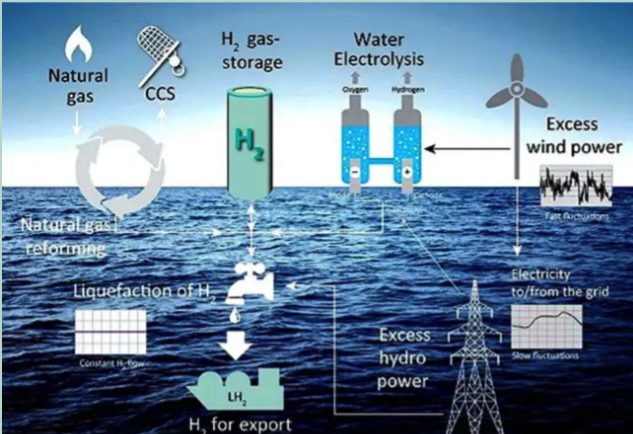
## Hidrojen Üretiminde Kaynak Seçimi ve Yeşil Üretim

Doç. Dr. Ahmet Ozan Gezerman  
Toros Tarm A.Ş., ARGE Merkezi, Mersin, Türkiye  
Ar-Ge Şefi

Hidrojen üretimi, dünya yüzeyinde hidrojen bileşikler halinde bu kadar bol iken tek bir hidrojen gazı üretimi şeklinde üretilmesi insanlığın dünyadaki sürdürülebilir yaşamı açısından önemli bir sorun haline gelmiştir. Ancak hidrojen üretimi, dünya yüzeyinde mevcut prosesler içerisinde en çok karbondioksit salınımını meydana getiren sıfır emisyonu giden pencereyi de aralamaktadır.

### 1.Hidrojen üretiminde deniz suyu ve tuzluluk sorunu

Yeşil enerji üretim teknolojileri içerisinde, günümüz teknolojisi ile on plana çıkan ve üretim verimi açısından geliştirilmesine ihtiyaç duyulan teknoloji, suyun elektrolizi ile hidrojen üretimidir. Günümüzde suyun elektrolizi ile hidrojen üretim teknolojilerinde tatlı suyun kullanılması, tekniğin anlaşılabilmesi üzerine çalışılan bir konudur. Ancak tatlı su kaynağının dünya yüzeyinde oldukça sınırlı olması, hidrojen üretim teknolojileri için tatlı suyun kullanılmaması gerektiği sonucuna ulaşılmaktadır. Bununla birlikte dünyanın minimum %75'inin sudan oluşması sebebiyle, hidrojen üretimi için deniz suyunun kullanılması gerektiğine dair bir zorunluluk ortaya koymaktadır. Bununla birlikte deniz suyunun, dünya yüzeyinde su miktarının eksponansiyel katı olsa da deniz suyunun kimyasal yapısı tatlı suya göre çok daha karmaşık ve farklı bileşenlerden oluşur. Bu karmaşıklık, deniz suyunun kullanımı esnasında, tıkanıklık, korozyon gibi çeşitli sorunlara neden olur.



Görsel linki: <https://124.im/hpv0CK>

Deniz suyundan hidrojen üretimi teknolojisi, kapasite ve kullanılan suyun neredeyse sonsuz miktarda olması, bu suyun kullanıldığı teknolojilerin geliştirilmesine neden olmuştur. Günümüzde en çok kullanılan hidrojen üretim teknolojisi: elektroliz veya fotoliz olarak ön plana çıkmaktadır. Diğer yöntem ise membran teknolojileri ile suyun saflaştırılması ile hidrojen üretimi yöntemidir.

### 2.Hidrojen üretiminde deniz suyunun avantajları

Yeşil enerji terminolojisi itibarı ile uzun vadeli enerji üretimi ve depolama işlemi için kimyasal üretim sistemlerinin kullanılması ile açık deniz platformlarının hidrojen üretimi esasına dayanmaktadır.



Görsel linki: <https://124.im/zMx8Es>

Hidrojen üretimi için deniz suyunun kullanımında enerji tüketimi sorunu yine yenilenebilir enerjinin açık denizlerden karşılanabildiği durumlar için çözüm önerisi olabilir. Bununla birlikte enerji tüketiminin daha çok denizlerden karşılanabildiği böyle bir proses için hidrojen üretimi ve dolayısı ile amonyak üretimi söz konusu olabilir.

### 3.Deniz suyundan hidrojen üretim için teknik zorluklar

Deniz suyunun elektroliz yöntemiyle iyonlarına ayrıştırıldığı elektrolitik yöntemde, deniz suyunun kendi kimyasal yapısı nedeniyle, hidrojen biriktirilen tarafta (anot) deniz suyundan gelen sodyum, magnezyum, kalsiyum gibi katyonlarda bulunmaktadır. Bununla birlikte deniz suyunun yapısı gereği çok sayıda mikroorganizmanın da bulunması, hidrojen üretim teknolojilerinde verimi

sınırlayan parametrelerden bir kaçıdır.

Elektroliz yöntemi ile hidrojen üretim yönteminde, elektrolitik banyonun içesine sürekli olarak deniz suyu ilavesi ile, elektrotların hidrojen ayrıştırma verimi oldukça kısıtlanır ve bir süre sonra tıkanma meydana gelir. Hidrojenin korozyif yapısı, elektrotların dayanıklılığını doğrudan etkileyecektir. Bununla birlikte, deniz suyu içerisindeki ayrışan klorür iyonlarının oksijen iyonlarının biriktiği tarafta korozyona neden olması, elektrolitik çözültiden hidrojen üretme ve elektrik iletkenliği verimini doğrudan etkileyeceği için elektrot verimi proses için bir sorun olarak karşılaşılabacaktır.

Diğer teknik zorluk olarak, anodik oksijen evrim reaksiyonu ve oksijen klorlama reaksiyonu yarışmasıdır.

Hidrojen üretiminde verimi artırmaya yönelik çalışmalarda son dönemde deniz suyundan hidrojen üretimine dair elektrolitik proseslerde önemli gelişmeler katedilmiştir.

Deniz suyundan elektrolitik hidrojen üretimi katalitik verimi artırmak amacıyla çeşitli araştırma çalışmalarına konu olmuştur. Deniz suyunun kontamine ve farklı iyonlardan oluşan kompleks yapısı, her ne kadar elektrolitik çözültülerin karmaşıklığı üzerine olsa da yapılan araştırma çalışmaları, bu tuzlardan bağımsız olarak gerçekleşmiştir. Bununla birlikte deniz suyunun tuzlu yapısının elektrolitik çözültisi olarak kullanımı ile tuzdan arındırılıp hidrojen üretimine konu olması çok sayıda araştırma çalışması için odak noktasıdır.



Görsel linki: <https://124.im/cRE2O>

Deniz suyunun tuzdan arındırılarak hidrojen üretiminde kullanılması ve bunun endüstriyel ölçekte gerçekleştirilmesi, küresel ısınma, iklim değişikliği ve daha da önemlisi karbonsuzlaşma yol haritası için insanoğlunun milenyumuna devam edecektir.

#### Kaynaklar:

- [1] <https://124.im/bhXtR>
- [2] <https://124.im/dlO4wj>
- [3] <https://124.im/WnUYMrb>
- [4] <https://124.im/x3hS2>