

## Hydrogen Farming

Duried Alwazeer<sup>1</sup>, Berrak Iğdır<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Innovative Food Technologies Development, Application, and Research Center,

Iğdır University, Iğdır, Türkiye <sup>1</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2291-1628> [alwazeerd@gmail.com](mailto:alwazeerd@gmail.com)

<sup>1</sup>Innovative Food Technologies Development, Application, and Research Center, PhD student, Iğdır University,

Iğdır, Türkiye <sup>1</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-5314-6853> [berrakigdir@hmail.com](mailto:berrakigdir@hmail.com)

### Abstract

Molecular hydrogen, a gas that is abundantly present in the atmosphere, is light, colorless, odorless, and non-toxic. Its ability to rapidly penetrate tissues, along with its antioxidant, anti-inflammatory, and gene-regulatory biological effects, has been predominantly applied in the medical field. These biological effects of hydrogen may also yield beneficial outcomes in agricultural practices. The agricultural sector faces numerous challenges, including population growth, air pollution, climate change, and declining soil fertility. Hydrogen's reducibility, as well as its characteristics as a plant growth regulator, and its safe, environmentally friendly, and sustainable properties, make it a promising approach for both addressing these challenges and advancing agricultural development. Hydrogen farming refers to the application of hydrogen biology in agriculture. Hydrogen-rich water (HRW) treatments can regulate plant hormones, enhance resistance to stress conditions, support growth and development, increase nutritional value, and influence protein modifications through the regulation of mRNA and DNA expression. Furthermore, it may help reduce nitrite accumulation during storage, thus contributing to food safety. This study aims to investigate the effects of hydrogen farming by reviewing research involving hydrogen-rich water (HRW) applied to various pre-harvest vegetables and fruits.

**Keywords:** *Hydrogen; plants; Agriculture; Quality characteristics*

### Hidrojen Tarımcılığı

#### Özet

Havada yaygın olarak bulunan moleküler hidrojen hafif, renksiz, kokusuz ve toksik olmayan bir gazdır. Dokulara hızlı nüfuz etmesi, antioksidan, anti-inflamatuar ve gen düzenleyici gibi biyolojik etkileriyle daha çok tıp alanındaki uygulamalarla karşımıza çıkmaktadır. Hidrojenin bu biyolojik etkileri tarım alanında da olumlu sonuçlar sağlayabilir. Tarım sektörü, nüfus artışı, hava kirliliği, iklimsel faktörler, toprak verimliliğinin azalması gibi birçok sorunla karşı karşıyadır. Hidrojenin indirgenebilme özelliği, bitki büyüme düzenleyicisi, güvenli, yeşil ve çevre dostu olma gibi özellikleriyle, tarım alanında hem bu sorunların çözümü hem de tarımın gelişmesi için iyi bir uygulama alanı olabilir. Hidrojen tarımı, hidrojen biyolojisinin tarıma uygulanmasıdır. Hidrojen açısından zengin su (HRW) uygulamaları, bitki hormonlarını düzenleyerek; bitkilerin stres koşullarına karşı direncini artırabilir, büyüme ve gelişmesini destekleyebilir, besin değerini artırabilir, mRNA ve DNA ekspresyonunu düzenleyerek protein modifikasyonunu etkileyebilir. Aynı zamanda depolama sırasında nitrit birikimini azaltarak gıda güvenliğinin korunmasına yardımcı olabilir. Bu çalışma, hidrojen tarımının etkilerini araştırmak için hasat öncesi bazı sebze ve meyveler üzerinde hidrojen açısından zengin su (HRW) ile yapılan bazı araştırmaları ele almayı amaçlamaktadır.

**Anahtar kelime:** *Hidrojen; Bitki; Tarım; Kalite özellikleri*

#### Giriş

Hidrojen gazı evrende en çok bulunan elementtir (Alwazeer et al., 2021; Wen-biao Shen et al., 2018). Hidrojen, başka bir hidrojen atomu ile birleşerek kimyasal formülü  $H_2$  olan moleküler hidrojeni oluşturur. Moleküler hidrojen, standart sıcaklık ve basınçta (STP) 0,08988 g/L yoğunluğa sahip (Alwazeer et al., 2021) renksiz, kokusuz, tatsız, metalik olmayan (Alwazeer & Çiçek, 2022) en küçük ve en hafif moleküldür (Alwazeer et al., 2021). Düşük yoğunluk ve boyut ile yüksek ayrışma enerjisine sahip olması nedeniyle gıdalarda ve çevrede kalıntı bırakmaz ve toksik değildir (Alwazeer, Elnasanelkasim, Çiçek, et al., 2023)(Alwazeer, Elnasanelkasim, Engin, et al., 2023). Moleküler hidrojen ( $H_2$ ) sıfır karbon emisyonu, yüksek enerji değeri nedeniyle son yıllarda potansiyel enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Hayvanlar üzerinde  $H_2$  gazıyla yapılan laboratuvar çalışmalarında,  $H_2$  gazının biyolojik etkileri aşamalı olarak keşfedilmiştir (Liu et al., 2024). Ohsawa ve ark. (2007), sığaların %2-4 (h/h)  $H_2$  solunması sonrasında iskemik beyin hasarında iyileşmeler gözlemlenmesiyle,  $H_2$  gazının klinik uygulamalardaki potansiyeli fark edilmiştir (L. Li et al., 2022a).  $H_2$  gazının etkili sitoprotektif ajan, antioksidan



(Russell et al., 2024), çeşitli gen ifadelerini düzenleyerek, antiapoptik, anti-inflamatuar ve anti-alerjik etkiler gösteren bir terapi gazı olduğu ortaya konmuştur (Liu et al., 2024)(Alwazeer & Çiçek, 2022)(Bulut et al., 2023). Yüksek difüzyon hızına sahip moleküler hidrojen ( $H_2$ ) biyolojik doku ve hücrelere hızlı bir şekilde yayılıp, hücre zarına kolaylıkla nüfuz etmektedir. Aynı zamanda vücudun redoks reaksiyonlarını değiştirmeyerek, hiçbir yan etkiye sahip değildir. Moleküler hidrojenin biyolojik ve tıbbi etkileri üzerine birçok çalışma yapılmakla birlikte bu araştırmalar devam etmektedir (Alwazeer & Çiçek, 2022). Bu çalışmalarla, moleküler hidrojen ( $H_2$ ), metabolik, sindirim, solunum ve kardiyovasküler hastalıklar, nörodejeneratif bozukluklar ve kanser gibi hastalıkların tedavisi için umut verici olmaktadır (L. Li et al., 2022b; M. Li et al., 2024).

Hidrojen biyolojisinin etkileri tıp alanında olduğu gibi tarım alanında da olumlu sonuçlar sağlayabilir. Tarım, iklim değişikliği, doğal afetler, çevre kirliliği ve gıda güvenliği sorunlarının sebep olduğu birçok problemle karşı karşıyadır (L. Li, Lou, et al., 2021). Kimyasal kirlilik, biyolojik çeşitliliğin azalması gibi çağdaş sorunlar, kaliteli gıdaların üretilmesini, korunmasını ve dağıtımını giderek zorlaştırmaktadır (Russell et al., 2024).

Hidrojen tarımı, bu zorlukların çözümüne katkı sağlayacak hidrojen biyolojisinin pratik bir uygulamasıdır (L. Li, Lou, et al., 2021). Yapılan çalışmalar, moleküler hidrojenin ( $H_2$ ) bazı botanik etkilere sahip olduğunu göstermiştir. Moleküler ağı, miRNA ve gen ekspresyonunun, hormon düzeylerinin kontrolü ve protein modifikasyonlarının düzenlenmesi süreçlerini kapsar (Wen-biao Shen et al., 2018). Bitkilerde, çevresel zorluklar, doğal bozulma ve oksidatif strese bağlı hücresel ve doku hasarı gibi faktörler gıdanın büyümesini, verimini ve kalitesini olumsuz etkileyebilir. Oksidatif hasar, gıdada lipit oksidasyonuna, renk bozulmasına ve lezzet değişimlerine neden olabilir (Dong et al., 2023). Buna karşılık moleküler hidrojen ( $H_2$ ), bitkinin oksidatif strese karşı toleransını artırabilir, bitki büyüme ve gelişimini destekleyebilir (M. Li et al., 2024), besin değerini artırabilir, raf ömrünü uzatabilir ve sebzelerin depolanması sırasında nitrit birikimini azaltabilir (L. Li, Lou, et al., 2021). Son yıllarda moleküler hidrojen ( $H_2$ ) çalışmaları bitkilere doğru kaymıştır (L. Li et al., 2022) ve birçok akademik çalışmada, bitkilerin ekilme ve büyüme evrelerinde  $H_2$  'ye maruz bırakılması sonucunda bitki kök oluşumunun iyileştiği, bitkinin hastalık direncinin arttığı ve tohum, yaprak, meyve büyüme ve gelişmesini desteklediği gözlemlenmiştir (Russell et al., 2024). Bitki köklerindeki iyileşmenin, kök iyileşmesini destekleyen kök bakterilerinin çoğalmasıyla ilişkili olup (Alwazeer et al., 2024a); bu da kimyasal gübrelerle karşılık  $H_2$  -nin alternatif bir gübre olma potansiyeline ortaya koymuştur (L. Li et al., 2022),(Alwazeer et al., 2024b). Bu sonuçlara göre  $H_2$  'nin tarım alanı uygulamaları, tarımsal faydalar açısından önemli bir rolü olabilir (L. Li, Zeng, et al., 2021).

### Hidrojen Açısından Zengin Su (HRW) Uygulamaları

Gaz formundaki moleküler hidrojen  $H_2$ , ayrışma hızının yüksek olması ve yüksek konsantrasyonlarda yanıcı özelliği saha uygulaması için pratik değildir (M. Li et al., 2024). Bu yüzden moleküler hidrojen ( $H_2$ ) açısından zengin su (HRW) daha uygulanabilir alternatiftir. HRW uygulamalarında, turp filizleri ve yonca fidelerinin antosiyaninler ve flavonoidler gibi ikincil metabolitleri ile filizlenmiş arpanın besin bileşiklerini artırdığı gözlemlenmiştir. Pirinç ile yapılan başka bir çalışmada ise verim ve kalitesinin arttığı gözlemlenmiştir (Liu et al., 2024). ( $H_2$ ) açısından zengin su (HRW), salatalık (*Cucumis sativus*) ve domates (*Lycopersicon esculentum*) bitkilerinin kök gelişimini teşvik ettiği gözlemlenirken, yoncada (*Medicago sativa*) ağır metal toksisitesinin hafıfladığı keşfedilmiştir (L. Li, Zeng, et al., 2021).

### Farklı bitki türlerinde HRW'nin etkileri üzerine yapılan bazı araştırmaların analizi

Çin lahanası (*Brassica chinensis* L. 'Qingshan') hem verimi hemde kalitesi üzerine yapılan araştırmada, Çin lahanası, hidrojen nanokabarcık suyu (HNW) formunda olan hidrojen bazlı sulama ile sulanmıştır. Hidrojen bazlı sulama, Çin lahanasının büyüme ve verimle ilgili sonuçlarını belirgin şekilde iyileştirirken, besin kalitesini artırıp nitrat içeriğini azaltmıştır. Denemeler sonrası hidrojen bazlı sulama ile kontrol grupları karşılaştırıldığında, hidrojen bazlı sulama ile elde edilen Çin lahanasının şeker oranı, çözünür protein oranı ve klorofil oranı önemli ölçüde artmıştır. Sonraki denemelerde, HNW demir (Fe), çinko (Zn) ve bakır (Cu) gibi eser elementlerin yanı sıra fosfor (P), potasyum (K) ve magnezyum (Mg) gibi makro elementlerin içeriklerinin karşılaştırılmasını sağlanmıştır. Fe, Zn ve Cu içerikleri önemli ölçüde artarken; K ve Mg içeriklerindeki önemsiz değişiklikler karşısında P içeriği önemli ölçüde artmıştır. HNW ile antioksidan bileşiklerinin ve antioksidan aktivitesinin arttığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda hidrojen bazlı sulamanın, Askorbik asit (AsA) içeriğini önemli ölçüde artırdığı tespit edilirken buna PMM1 (fosfomannomutaz), GMP2 (GDPR-mannoz pirofosforilaz), GME1 (GDPR-mannoz-3',5'-epimeraz), GGP3 (GDPR -I -galaktoz fosforilaz), GPP (I -galaktoz-1-fosfat fosfatazi) ve MDHAR2 (monodehidroaskorbat redüktaz dahil olmak üzere AsA biyosenteziyle ilişkili genlerin önemli ölçüde yukarı düzenlenmesinin eşlik ettiği gözlemlenmiştir (Liu et al., 2024). Pirinç ile yapılan başka bir çalışmada, HNW ile yapılan sulamanın, pirincin tarla ve tane kalite özelliklerini etkileyip etkilemediği incelenmiştir. Elde edilen verilere göre HNW ile sulanan pirinçlerin uzunluk, genişlik ve kalınlık farkının belirgin olduğu görülmüştür. Pirinç bitkilerinde azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K) emilimiyle ilgili temsili genlerin transkriptlerinin, N asimilasyonu





ve taşınmasının yanı sıra P ve K emiliminin kontrolü de dahil olmak üzere Nitrat taşıyıcıları 2.3 (NRT2.3), Nitrit redüktaz (NiR), ABC1 baskılayıcı 1 (ARE1), Nin benzeri protein 4 (NLP4) ve Potasyum taşıyıcısı 1 (AKT1), HNW ile sulanan pirinç köklerinde belirgin şekilde arttığı görülmüştür. Beyaz pirincin HNW'nin jel kıvamını arttığı, pirincin tebeşirlik oranını azalttığı keşfedilmiştir. Sonraki sonuçlar, HNW sulama işleminin, pirincin endospermdeki önemli ve ana depolama proteini olan glutelinde önemli değişiklik olmadan toplam protein seviyesini %19,8 oranında; toplam nişasta içeriğini değiştirmeden amiloz içeriğini %31,6 oranında azalttığı görülmüştür. Bu bulguların mekanizmasını araştırmak için, beyaz pirinçteki amiloz oluşumunu kontrol eden ilgili bazı genler, granüle bağlı nişasta sentaz1 (GBSS1), nişasta izomeraz1 (ISA1) ve nişasta dallanma enzimi 1/2 (SBE1/2) dahil olmak üzere analizler yapılmış ve hedef genlerin transkripsiyonel ifadesindeki değişiklikler, amiloz içeriğindeki azalmayla ilişkili olduğu saptanmıştır. HNW ile sulamanın beyaz pirinç element içeriği ile ilişkisini saptamak için daha fazla çalışma yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda Cd (kadmilyum) ve Sn (kalay) içeriklerinde önemli azalma görülmüştür. HNW'nin beyaz pirinçteki P (fosfor), K (potasyum), Mg (magnezyum) ve Fe (demir) dahil birçok besin elementinin içeriğini artırdığı tespit edilmiştir (Cheng et al., 2021). Çilek meyvesi ile yapılan (*Fragaria* × *ananassa* 'Benihoppe') bir çalışmada, çileklerin tarlaya ekiminden hemen sonra HNW'li su uygulanmaya başlanmıştır. Hasat sonrası çileklerde, çilek meyvesinin lezzetini artırmakla beraber en önemlisi de lignin, selüloz ve hemiselüloz sentezini düzenleyerek çilek meyvesinin raf ömrünü olumlu yönde etkilediği keşfedilmiştir (Jin et al., 2023). Çilek meyvesi ile yapılan başka bir çalışmada ise HNW uygulaması aldehitler, ketonlar, esterler ve asitler gibi toplam uçucu bileşiklerin konsantrasyonlarını farklı şekilde artırdığı gözlemlenmiştir. HNW uygulaması çilekteki çözünür şeker (glukoz, sakaroz, fruktoz) miktarını artırarak, meyvedeki şeker-asit oranı değişmiştir. Bu durumunun ise tüketici beğenisini olumlu yönde etkileyeceği vurgulanmıştır (L. Li et al., 2022).

## Sonuç

Doğal afetler, çevre kirliliği, hızlı nüfus artışı gibi birçok faktör tarım sektörünü olumsuz etkilemekte; tarımsal üretimde azalmaya ve kalite problemlerine sebep olmaktadır. Sağlık, enerji alanlarında olduğu gibi Moleküler hidrojen (H<sub>2</sub>), tarım alanında da yeşil bir çözüm olabilir (Alwazeer et al., 2024a). Son yıllarda yapılan araştırmalar incelendiğinde, hidrojen tarımı, bu yaklaşım için umut verici olmuştur. Daha fazla araştırma ve geliştirme çalışmalarıyla hidrojen tarımı, güvenli, lezzetli, sağlıklı ve yüksek verimli tarım ürünleri sağlamayı destekleyebilir (L. Li, Lou, et al., 2021).

## Kaynakça

- ALWAZEER, D., & ÇİÇEK, S. (2022). MOLEKÜLER HİDROJENİN SAĞLIK ALANINDA KULLANIMI. *Karya Journal of Health Science*, 3(1), 30–34. <https://doi.org/10.52831/kjhs.899237>
- Alwazeer, D., Elnasanelkasim, M. A., Çiçek, S., Engin, T., Çiğdem, A., & Karaogul, E. (2023). Comparative study of phytochemical extraction using hydrogen-rich water and supercritical fluid extraction methods. *Process Biochemistry*, 128, 218–226. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2023.01.022>
- Alwazeer, D., Elnasanelkasim, M. A., Engin, T., & Çiğdem, A. (2023). Use of hydrogen-rich water as a green solvent for the extraction of phytochemicals: Case of olive leaves. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 35, 100472. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2023.100472>
- Alwazeer, D., Hancock, J. T., Russell, G., Stratakis, A. Ch., Li, L., Çiğdem, A., Engin, T., & LeBaron, T. W. (2024a). Molecular hydrogen: a sustainable strategy for agricultural and food production challenges. *Frontiers in Food Science and Technology*, 4. <https://doi.org/10.3389/frfst.2024.1448148>
- Alwazeer, D., Hancock, J. T., Russell, G., Stratakis, A. Ch., Li, L., Çiğdem, A., Engin, T., & LeBaron, T. W. (2024b). Molecular hydrogen: a sustainable strategy for agricultural and food production challenges. *Frontiers in Food Science and Technology*, 4. <https://doi.org/10.3389/frfst.2024.1448148>
- Alwazeer, D., Liu, F. F.-C., Wu, X. Y., & LeBaron, T. W. (2021). Combating Oxidative Stress and Inflammation in COVID-19 by Molecular Hydrogen Therapy: Mechanisms and Perspectives. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2021(1). <https://doi.org/10.1155/2021/5513868>
- Bulut, M., Alwazeer, D., & Tunçtürk, Y. (2023). Effects of the Incorporation of Hydrogen and Nitrogen into Milk on the Reducing and Acidification Capacities of Yoghurt Bacteria. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2023, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2023/7462909>
- Cheng, P., Wang, J., Zhao, Z., Kong, L., Lou, W., Zhang, T., Jing, D., Yu, J., Shu, Z., Huang, L., Zhu, W., Yang, Q., & Shen, W. (2021). Molecular Hydrogen Increases Quantitative and Qualitative Traits of Rice Grain in Field Trials. *Plants*, 10(11), 2331. <https://doi.org/10.3390/plants10112331>
- Dong, W., Cao, S., Zhou, Q., Jin, S., Zhou, C., Liu, Q., Li, X., Chen, W., Yang, Z., & Shi, L. (2023). Hydrogen-rich water treatment increased several phytohormones and prolonged the shelf life in postharvest okras. *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1108515>





- Jin, Z., Liu, Z., Chen, G., Li, L., Zeng, Y., Cheng, X., Pathier, D., Xu, G., & Shen, W. (2023). Molecular hydrogen-based irrigation extends strawberry shelf life by improving the synthesis of cell wall components in fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 206, 112551. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112551>
- Li, L., Lou, W., Kong, L., & Shen, W. (2021). Hydrogen Commonly Applicable from Medicine to Agriculture: From Molecular Mechanisms to the Field. *Current Pharmaceutical Design*, 27(5), 747–759. <https://doi.org/10.2174/1381612826666201207220051>
- Li, L., Wang, J., Jiang, K., Kuang, Y., Zeng, Y., Cheng, X., Liu, Y., Wang, S., & Shen, W. (2022). Preharvest application of hydrogen nanobubble water enhances strawberry flavor and consumer preferences. *Food Chemistry*, 377, 131953. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131953>
- Li, L., Zeng, Y., Cheng, X., & Shen, W. (2021). The Applications of Molecular Hydrogen in Horticulture. *Horticulturae*, 7(11), 513. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7110513>
- Li, M., Zhu, G., Liu, Z., Li, L., Wang, S., Liu, Y., Lu, W., Zeng, Y., Cheng, X., & Shen, W. (2024). Hydrogen Fertilization with Hydrogen Nanobubble Water Improves Yield and Quality of Cherry Tomatoes Compared to the Conventional Fertilizers. *Plants*, 13(3), 443. <https://doi.org/10.3390/plants13030443>
- Liu, Z., Chen, G., Yang, E., Li, L., Zeng, Y., Cheng, X., Pathier, D., Xu, G., & Shen, W. (2024). Hydrogen-based irrigation increases yield and improves quality of Chinese cabbage by enhancing nutrient composition and antioxidant capabilities. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 65(4), 593–605. <https://doi.org/10.1007/s13580-023-00591-2>
- Russell, G., Nenov, A., & Hancock, J. T. (2024). How Hydrogen (H<sub>2</sub>) Can Support Food Security: From Farm to Fork. *Applied Sciences*, 14(7), 2877. <https://doi.org/10.3390/app14072877>
- Wen-biao Shen, Jiu-chang Su, & Xue-jun Sun. (2018). Research progress in the botanical effects of hydrogen gas. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 41, 392–401.

