

1. BÖLÜM

HİDROJEL VE SULAMADA KULLANIMI

Nurten YILDIZ¹

Nisa Nur ADIGÜZELOĞLU²

Caner YERLİ³

Giriş

Mavi gezegen olarak nitelendirilen dünyamızın üçte ikisi suyla kaplı yüzeylerden oluşmaktadır. Dünya yüzeyinde 1,4 milyar km³’lük bir su hacminden bahsedilse de bunun sadece % 2,5’i tatlı su hacmine tekabül etmekte ve % 2,5’lik tatlı su hacminin de sadece % 1’i canlılığın temel kaynağına ve yaşamsal faaliyetlere hizmet etme potansiyeline sahip bir su kaynağı olarak sınıflandırılmaktadır (Lal, 2015). Bu nicel durum, aslında suyun ne kadar önemli olduğunu ve dünyanın su potansiyelinin de ne kadar yetersiz olduğunu açıkça göstermektedir.

Su, canlılık döngüsü içerisinde kendini yenileyebilir bir yaşam kaynağı olarak tanımlansa da aslında sınırlı ve kıt bir doğal kaynaktır. Bu sınırlı ve kıt kaynak hidrolojik döngü içerisinde sürekli bir sirkülasyon içerisinde seyretmektedir. Ancak, toplumsal refahın, ekonomik kalkınmanın, enerji güvenliğinin ve ekosistemlerin dengesinin temelini oluşturan suyun, zaten sınırlı ve kıt olan hali, gün geçtikçe daha da baskılanmakta ve azalmaktadır (Gong vd., 2020; Miftah vd., 2025). Artan küresel ısınma karşısında popülasyondaki artış kişi başına düşen kullanılabilir su miktarını sınırlandırmakla kalmayıp su kaynaklarının kirlenmesine ve doğal döngü içerisinde sınırlı ve kıt halinin artmasına da neden olmaktadır (Dawadi ve

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Van, Türkiye, ORCID: 0009-0009-2651-2489

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Van, Türkiye, ORCID: 0009-0000-6426-2200

³ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Van, Türkiye, ORCID: 0000-0002-8601-8791

Ahmad, 2013). Bu durum, hali hazırda birçok noktada küresel ölçekte hissedilmekteyken, su mevcudiyeti bakımından daha fakir bölgelerde bu hissiyatın derecesi daha da artmaktadır. Suyun yeryüzünde adil bir dağılım göstermemiş olması bazı bölgelerde daha yüksek şiddette kuraklığa neden olmaktadır. Örneğin; Brezilya ve Rusya su bakımından zengin ülkeler sınıflandırmasındayken, Ortadoğu ve Hindistan ile özellikle Afrika'nın geniş kesimleri ciddi su sıkıntıları ile mücadele eden bölgeler arasında konumlanmaktadır. Bu durum ülke veya bölgeler arasında suya yönelik arz ve talep dengesinde de düzensizlikleri oluşturmaktadır (Yılmaz, 2015). Bu düzensizleşme doğrudan küresel politikalara ve üretim süreçlerine de yansımaktadır (Biswas ve Tortajada, 2019). Su kıtlığından muzdarip Ortadoğu ve Afrika'nın neredeyse % 85'inin su stresine maruz kaldığı bilinmektedir. Tahminlere göre bu bölgenin 2050 yılında % 100 seviyesine kadar su stresi yaşayacağı ön görülmektedir (Sahin, 2024). Mevcut koşullarda, yetersiz su kaynaklarına sahip bölgelere ilaveten su mevcudiyeti açısından zengin bölgelerde dahi, önümüzdeki yıllarda su kıtlığının yaşanacağı ve artacağı, suya erişimin güçleşeceği, üretimin azalacağı ve bunların etkisiyle temiz su için ülkeler arasında politik gerginliklerin ve su savaşlarının başlayacağı öngörülmektedir (Biswas ve Tortajada, 2019; Gleick ve Shimabuku, 2023).

Günümüz koşullarında su kaynaklarını yönetmek, dünya genelinde artan nüfus, sanayileşme, kentleşme ve iklim değişiklikleri nedeniyle her zamankinden daha karmaşık ve zor bir hale gelmiş ancak önceki yıllara göre önem seviyesi ise daha fazla olmuş ve olmaya da devam etmektedir (Kılıç, 2008; Tuğaç, 2014). Bu nedenle, su kaynaklarının rasyonel kullanımı ve sürdürülebilirliğinin geliştirilebilmesi için küresel düzeyde kapsamlı ve disiplinler arası mekânsal ve sektörel olarak koordine edilmiş planlama ve önlem politikalarının geliştirilmesine önem verilmektedir. Günümüzde, su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir kullanımı, ekonomik-sosyal sürdürülebilirlik ve kalkınma adına ekolojik dengenin sürdürülebilirliği için stratejik bir zorunluluk olarak kabul edilmiştir (Yılmaz, 2015). Bu kapsamda, su yönetimi için geliştirilen iki ana hedeften ilki; mevcut suyun miktarını ve kalitesini korumak, diğeri ise; suyun uzun vadeli, sürdürülebilir ve adil bir şekilde kullanılmasını sağlamak üzerine inşa edilmiştir. Bu iki ana hedef; su kaynaklarının korunması ve yönetimiyle kalmayıp, aynı zamanda ekonomik büyüme, sosyal barış ve uluslararası güvenlik için stratejik bir ihtiyaç olarak

değerlendirmeye alınmış ve uygulanması bir zorunluluk olarak vurgulanmıştır (Aksungur ve Firidin, 2008).

Tüm bunlar değerlendirildiğinde, bütün sektörlerde suyun etkin bir şekilde yönetimi artık bir gereklilik değil zorunluluk olarak kabul görmektedir (Rossi, 2015). Ancak bu sektörler arasında suyu en fazla tüketen ve doğrudan gıda talebine arz zincirinde cevap veren tarım sektöründe, suyun daha etkin bir şekilde yönetimi daha büyük ölçekte önem arz etmektedir. Her ne kadar bölge koşullarına göre değişim gösterse de, küresel ölçekte su kaynaklarının ana tüketicisi olan tarım sektörü, küresel suyun ortalama boyutta yaklaşık % 80'ini tüketmektedir (Pedro-Monzonis vd., 2015; Velasco-Muñoz vd., 2018). Ülkelerin gelişmişlik düzeylerine, iklim faktörlerine ve üretim proseslerine bağlı olarak tarım sektöründe kullanılan suyun potansiyeli % 25'den % 80'e kadar çıkabilmekte ve hatta bazı ülkeler için bu durum % 80'in üzerinde dahi olabilmektedir (Moghaddam vd., 2017). Bu sebeplerle tüm sektörlerde suyun etkin yönetimine-kullanımına önem verilmeli ancak tarım sektörüne öncelik ve ayrıcalık elzem bir şekilde tanımlanmalı ve sağlanmalıdır.

Tarım sektöründe suyun daha etkin kullanımına yönelik; alternatif su kaynakları arayışlarına, iyi nitelikli su kaynakları yerine atık suların, tuzlu suların ve drenaj sularının sulamada kullanımına ve tekrar değerlendirilmesine, yağış sularının doğrudan veya dolaylı yollarla hasat edilmesine, organik artıkların yeniden kullanımına, topraktan buharlaşmanın azaltılmasına yönelik çeşitli yaklaşımlara, modern sulama yöntemleri ve su iletim-dağıtım organlarıyla su randımanının artırılmasına, kısıntılı ve kısmi kök kuruluğu sulama pratiği gibi sulamadan tasarruf sağlayan eylemlere ve yapay zeka destekli akıllı sulama sistemlerine yönelik yapılan çalışmalara sürekli olarak öncelik verilmiş ve bunlar üzerindeki ilgi gün geçtikçe artış göstermiştir. Ancak büyük miktarda suyu polimerlerden oluşan yapısı sayesinde emebilen ve bu sayede sulama suyundan tasarruf sağlayarak tarımsal su kıtlığının önlenmesine bir yaklaşım olma potansiyeliyle ön plana çıkan “hidrojel” ile ilgili çalışmaların mevcut veri tabanlarında sınırlı olduğu görülmüştür. Bu çalışma, hidrojinin ne olduğunu, yapısını ve özelliklerini, sulamada uygulanabilirliğinin nasıl olduğunu ve hangi mekanizma altında nasıl çalıştığını potansiyel araştırma soruları içerisinde değerlendirmiş ve bunlara yönelik çıkarımlarla literatüre bu bilgilerin sağlanmasını ve mevcut literatür veri tabanında hidrojele yönelik bilgi birikiminin artırılmasını amaçlamıştır.

Hidrojel

Hidrojel, yapısal bütünlüğünü üç boyutlu olarak koruma özelliğinde yüksek su tutma kapasitesine sahip polimerik bir malzeme olarak tanımlanabilir. Çapraz bağ yapısındaki hidrojel, doğrusal polimer zincirlerini kovalent bağlar ile birbirine bağlayarak bir ağ yapısı oluşturur (Patel ve Mequanint, 2011). Van der Waals ve Hidrojen Bağları gibi zayıf bağlarla çapraz bağlar kurarak üç boyutlu ağ yapılarına sahip hidrofilik özellik gösteren homopolimer veya kopolimer yapıdaki hidrojel (Peppas ve Mikos, 2019), bu yapıları sayesinde su ile temasında herhangi bir çözünme olayı gerçekleştirmeden suyu bünyesine alarak jel kıvamına geçmektedirler (Gun'ko vd., 2017). Göstermiş olduğu hidrofilik özelliği sayesinde çok yüksek hacimde su veya biyolojik sıvıyı absorbe etme özelliğindeki hidrojel, bu su tutma özelliği sayesinde bir su deposu görevini üstlenmekte ve suyun bünyesinde korunmasını sağlamaktadırlar.

Hidrojeller yapısı gereği birçok farklı polimer türü kullanılarak üretilebilmektedirler. Böylece hidrojellerin hem kimyasal hem fiziksel özellikleri büyük çeşitlilik gösterebilmekte ve hidrojel materyallerinin esneklik ve uyarlanabilirliği polimer yapılarına göre farklılaşabilmektedir. Bu farklılaşıcı özellikler, hidrojin, başta tıp, biyomedikal, kozmetik ve gıda sektörleri olmak üzere birçok sektörde kullanım imkânına olanak sağlamaktadır. Hidrojel, tıp sektöründe sıvı diz protezi olarak kullanılmaktayken, biyomedikal araştırmalarda sıkça tercih edilen hidrojel, özel absorpsiyon kapasitesiyle insan vücudu içerisinde çevresel dokuları zorlanmadan hareket ettirebilen mekanizması sayesinde sıkça tercih edilmekte ve ayrıca hücrelerin onarımında da kullanılmaktadır (Chen vd., 2023). Kozmetik alanda kolajen, jelatin, hialüronik asit, aljinat, kitosan, ksantan, pektin, nişasta ve selüloz gibi birçok bileşenle birlikte kullanılabilen hidrojin, kullanıldığı alanda daha fazla kaldığı ve ana ürünün daha az kullanılmasına avantaj sağladığı bilinmektedir (Mitura vd., 2020). Gıda sektöründe hidrojel, gıdalarının depolanmasında kullanılan bir koruyucu materyaldir. Bu kapsamda kullanılan hidrojeller, su hacmi fazla olan gıdaların açığa çıkardıkları nemi dengede tutabilme yeteneğine sahip olduğundan, gıdaların ambalajlamasında tercih edilmektedir (Batista vd., 2019). Bu özelliği nedeniyle hidrojellerin bu alandaki kullanımı gıdaların nem düzeylerini de kontrol altında tutan bir özellik sergilemekte ve gıdaların raf ömrünü de uzatmaktadır (Yang vd., 2021).

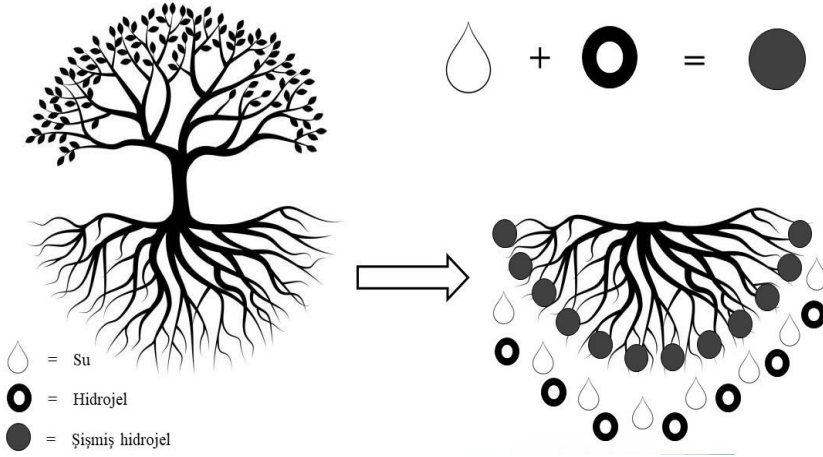
Hidrojel kullanım imkanının son zamanlarda dikkate değer bir şekilde arttığı bir diğer sektör de tarım sektörüdür. Hidrojel tarım sektöründeki ilerlemesi tarım için yeni bir materyal olmasından kaynaklı çok fazla yol kat edememiş olsa da özellikle günümüzde küresel ısınmaya bağlı su kaynaklarının azalması ve kirlenmesi hidrojel önemi daha fazla ön plana çıkarmıştır (Kemeç, 2023; Bai vd., 2025). Yüksek su tutma kapasitesinde, suyu absorbe etme özelliğine sahip hidrojel, toprak için bir su deposu görevi alabilmektedir. Hidrojel, ihtiyaç duyduğu zaman bitkiye su sağlayarak hem su tasarrufu oluşturma hem de bitkinin su stresine girmesini engelleme yetisine sahiptir. Ayrıca hidrojel polimer yapısı, topraktaki nem oranını azaltıp toprak havalanmasında olumlu sonuçlar oluşturan bir yapı özelliği de sergilemektedir (Maksimova vd., 2023). Hidrojel bu özellikleri toprak yapısını iyileştirici ve bitkisel verimi artırıcı özellikler sunan bir yaklaşım sağlamanın yanında sulama suyundan tasarruf sağlayıcı katkısıyla onu daha fazla ön plana çıkarmış ve tarımsal sulamada kullanım potansiyeli üzerine ilginin de artmasına neden olmuştur (Patel ve Mequanint, 2011; Gun'ko vd., 2017; Rezazadeh vd., 2020 ; Tariq vd., 2023; Barros vd., 2025).

Sulamada Kullanımı

Suda çözünmeyen hidrojel, topraktan fazla suyu osmoz yoluyla bünyesine katıp emerek suyun daha yavaş bir şekilde toprak ve köke iletimini sağlamaktadır (Şekil 1). Özellikle toprağın kuruması sürecinde, kademeli olarak toprağa su sağlayan hidrojel, ortamda sürekli bir nem mevcudiyetini oluşturmaktadır (Bauli vd., 2021). Böylece hidrojel toprakta sürekli ve yeterli miktarda suyun bulunmasını teşvik ederek bitkinin turgor halinin devamlılığını böylece bitki gelişimini teşvik etmekte ve daha az sulama suyunun kullanılmasına ve birim sudan verimin artırılmasına imkan sağlamaktadır. Bu durum özellikle çimlenme ve ilk gelişim döneminde oldukça önemli olmakta ve hidrojel uygulaması kök gelişimini de önemli seviyede arttırmaktadır (Qin vd., 2022). Hidrojel, sadece sulama suyu değil yağış sularının da depolanmasına böylece yağış sularından bitkilerin daha fazla yararlanmasına katkı sunmaktadır. Ayrıca drenaj sularının daha etkin kullanılmasının yanında drenaj kaynaklı kayıpların önlenmesinde de hidrojel etkili bir materyal olarak gösterilmektedir (Neethu vd., 2018).

Hidrojel sadece su tutulumunu sağlayarak sulama suyundan tasarruf sağlamakla kalmayıp ayrıca toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirerek kök ve

toprağın havalanmasını geliştirmekte, toprak geçirgenliği ve toprağın infiltrasyonunu da artırmaktadır (Yazdani vd., 2007). Toprak sıkışıklığını iyileştiren hidrojel, erozyon ve yüzey akışın düzenlenmesi üzerinde de olumlu yansılar sunmaktadır (Neethu vd., 2018). Besin mevcudiyeti ve bitki beslenmesinde de etkili olan hidrojel, toprakla etkileşiminde gerek besin gerekse su tutulumunu iyileştirmesiyle çimlenmeyi teşvik etmekte, yapraklardaki su içeriğini ve klorofil düzeylerini artırarak fotosentez üretkenliğini de iyileştirmektedir (Abobatta, 2018).



Şekil 1. Hidrojelin kök bölgesinde su ile etkileşimi

Suyun iyi bir çözücü ve taşıyıcı olması dikkate alındığında, yavaş su salınımı bitkinin besin maddelerini daha etkin kullanmasını ve bitki beslenmesinin artmasını teşvik eder. Bu sebeple hidrojel, bitki gelişimini iyileştirmekte ve bitkilerin daha derin ve güçlü kök sistemine sahip olmasını sağlamaktadır (Agbna ve Zaidi, 2025). Hidrojelin polimerik ağ yapısı içinde fiziksel ve kimyasal yollarla besin elementleri hapsedilmektedir. Suyu beraber salınan besin elementlerinin daha verimli bir şekilde bitki tarafından alınımı hidrojel sayesinde sağlanırken aynı zamanda aşırı gübre kullanımından kaynaklı toprak ve yer altı suyu kirliliğinin önüne de hidrojel katkısıyla geçilebilmektedir. Bu nedenle hidrojel, kaynak verimliliği yüksek, çevre dostu ve uzun vadeli tarımsal sürdürülebilirliği devamlı kılan bir materyal olarak nitelendirilmektedir (Prakash vd., 2021).

Su kullanım maliyetinin azaltılması üzerinde etkisi yüksek olan hidrojel, adeta akıllı bir su deposu görevi görmektedir. Polimerik granülleri

sayesinde suyu bünyesinde tutar ve bitkiler için bir nem kaynağı oluşturur. Bu, sadece suyun etkin yönetimine değil ayıca aşırı sulamanın olumsuz etkilerinin de azaltılmasına yardımcı olur. Aşırı sulamadan kaynaklanan sular, hidrojel tarafından tutularak kuraklığın etkisi anında toprağa salınır. Bu da bitki büyüme ve gelişimini teşvik eder (Patra vd., 2022). Özellikle fidelerin toprağa uyum aşamasında hidrojel oldukça etkilidir. Bu kritik aşamada hidrojel uygulaması kök bölgesindeki nemi sürekli muhafaza ederek fide için gerekli suyu temin eder. Böylece fidenin kök sistemi ortama adapte olmak için zaman kazanırken adaptasyon yüzdesi de daha fazla olur. Bu durum fide kayıplarını azaltmakla birlikte fide verim ve kalitesine de büyük ölçüde olumlu katkılar sağlar (Chirino vd., 2011).

Sonuç ve Öneriler

Mevcut dünya koşulları su kaynaklarının korunmasını ve sürdürülebilirliğinin sağlanmasını zorunlu bir hale getirmiş ancak suyu en fazla tüketen tarımsal sulamada bu zorunluluğun derecesini zirve noktaya taşımıştır. Bu çerçevede, geleneksel su yönetimi yaklaşımlarının ötesine geçen, kaynak verimliliğini maksimize eden ve sürdürülebilirliğin merkezine alan hidrojel, bu zorunluluğun giderilmesinde umut vaat eden bir yaklaşım olarak değerlendirilmiştir. Hidrojin, suyu bünyesinde tutarak akıllı bir su salınımı gerçekleştirmesiyle başta kurak ve yarı kurak alanlar olmak üzere su krizinin yaşandığı tüm alanlarda su kaynaklarının korunması ve sulamada su tasarrufunun sağlanması açısından çok yönlü bir potansiyel olduğu ve hidrojel teknolojisinin her damla suya karşın daha fazla verim anlayışı için etkili bir araç olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda, hidrojin akıllı ve modern sulama sistemleri ile entegrasyonunun desteklenmesi ve buna yönelik çalışmaların yapılması, su kısıntısı koşullarında hidrojel uygulamalarıyla verimin desteklenmesinin sağlanması ve hidrojeli barındıran kapsamlı çalışmalara çeşitli toprak, bitki ve sulama sistemlerinde öncelikli olarak yer verilmesi, bakanlık destekli projelerle ve eğitimlerle hidrojin tanıtılması ve üreticilerin hidrojel kullanımına teşvik edilmesi, çeşitli yatırım maliyeti araştırmaları ve maliyeti azaltıcı alt yapılara ağırlık verilmesi, hidrojin kullanımına yönelik politika, yayım, farkındalık ve disiplinler arası iş birliklerine uyumların sağlanması önerilebilir olarak bulunmuştur. Bu sonuç ve öneriler ışığında, sürdürülebilirlik ve yeşil çevre anlayışına hitap eden hidrojin sulamada yaygınlaşacağı da ayrıca çalışmanın ön görüşleri arasında konumlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Abobatta, W. (2018). Impact of hydrogel polymer in agricultural sector. *Advances in Agriculture and Environmental Science*, 1(2), 59-64.
- Agbna, G. H. ve Zaidi, S. J. (2025). Hydrogel Performance in Boosting Plant Resilience to Water Stress-A Review. *Gels*, 11(4), 276.
- Aksungur, N. ve Firidin, Ş. (2008). Su kaynaklarının kullanımı ve sürdürülebilirlik. *Aquaculture Studies*, 2008(2), 9-11.
- Bai, M., Hou, Y., Li, G., Fang, J., Wu, X., Zhou, Y., Qi, J., Yang, Z. ve Li, H. (2025). Sustainable agricultural water supply: atmospheric water harvesting with degradable and biosafe hydrogel. *Chemical Engineering Journal*, 503, 158156.
- Barros, D., Edvan, R., Pessoa, J. P., Nascimento, R., Camboim, L. F., Silva, S., Filho, H. M. P., Sousa, H., Silva-Filho, E. C., Fonseca, M. ve Bezerra, L. (2025). Cashew gum (Anacardium occidentale) hydrogel for sustainable irrigation of cactus pear: effects on growth, chemical composition, and mineral content. *Sustainability*, 17(2), 501.
- Batista, R. A., Espitia, P. J. P., Quintans, J. D. S. S., Freitas, M. M., Cerqueira, M. Â., Teixeira, J. A. ve Cardoso, J. C. (2019). Hydrogel as an alternative structure for food packaging systems. *Carbohydrate Polymers*, 205, 106-116.
- Bauli, C. R., Lima, G. F., de Souza, A. G., Ferreira, R. R. ve Rosa, D. S. (2021). Eco-friendly carboxymethyl cellulose hydrogels filled with nanocellulose or nanoclays for agriculture applications as soil conditioning and nutrient carrier and their impact on cucumber growing. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 623, 126771.
- Biswas, A. K. ve Tortajada, C. (2019). Water crisis and water wars: myths and realities. *International Journal of Water Resources Development*, 35(5), 727-731.
- Chen, W., Ming, Y., Wang, M., Huang, M., Liu, H., Huang, Y., Huang, Z., Qing, L., Wangi Q. ve Jia, B. (2023). Nanocomposite hydrogels in regenerative medicine: applications and challenges. *Macromolecular Rapid Communications*, 44(15), 2300128.
- Chirino, E., Vilagrosa, A. ve Vallejo, V. R. (2011). Using hydrogel and clay to improve the water status of seedlings for dryland restoration. *Plant and Soil*, 344(1), 99-110.
- Dawadi, S. ve Ahmad, S. (2013). Evaluating the impact of demand-side management on water resources under changing climatic conditions and increasing population. *Journal of Environmental Management*, 114, 261-275.
- Gleick, P. H. ve Shimabuku, M. (2023). Water-related conflicts: definitions, data, and trends from the water conflict chronology. *Environmental Research Letters*, 18(3), 034022.
- Gong, X., Zhang, H., Ren, C., Sun, D. ve Yang, J. (2020). Optimization allocation of irrigation water resources based on crop water requirement under considering effective precipitation and uncertainty. *Agricultural Water Management*, 239, 106264.
- Gun'ko, V. M., Savina, I. N. ve Mikhalovsky, S. V. (2017). Properties of water bound in hydrogels. *Gels*, 3(4), 37.
- Kemeç, S. (2023). Tarımda su kıtlığına yenilikçi çözüm: 'Hidrojeller'. *Iğdır Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 1(1), 1-5.

- Kılıç, S. (2008). Küresel iklim değişikliği sürecinde su yönetimi. *İstanbul Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi*, 39, 161-186.
- Lal, R. (2015). World water resources and achieving water security. *Agronomy Journal*, 107(4), 1526-1532.
- Maksimova, Y. G., Shchetko, V. A. ve Maksimov, A. Y. (2023). Polymer hydrogels in agriculture. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya*, 58(1), 23-42.
- Miftah, M., Ait Brahim, Y., Hssaisoune, M., Ayaou, A., Berrouch, H. ve Bouchaou, L. (2025). Moroccan water resources under pressure: Challenges of groundwater quality and nitrate contamination. *J.l of Hydrology: Regional Studies*, 61, 102724.
- Mitura, S., Sionkowska, A. ve Jaiswal, A. (2020). Biopolymers for hydrogels in cosmetics. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 31(6), 50.
- Moghaddam, V. K., Changani, F., Mohammadi, A., Hadei, M., Ashabi, R., Majd, L. E. ve Mahvi, A. H. (2017). Sustainable development of water resources based on wastewater reuse and upgrading of treatment plants: a review in the Middle East. *Desalination and Water Treatment*, 65, 463-473.
- Neethu, T. M., Dubey, P. K. ve Kaswala, A. R. (2018). Prospects and applications of hydrogel technology in agriculture. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(5), 3155-3162.
- Patel, A. ve Mequanint, K. (2011). Hydrogel biomaterials. R. Fazel-Rezai (Ed.), *Biomedical Engineering-Frontiers and Challenges* içinde. IntechOpen.
- Patra, S. K., Poddar, R., Brestic, M., Acharjee, P. U., Bhattacharya, P., Sengupta, S., Pal, P., Bam, N., Biswas, N., BArek, V., Ondrisik, P., Skalicky, M. ve Hossain, A. (2022). Prospects of hydrogels in agriculture for enhancing crop and water productivity under water deficit condition. *International Journal of Polymer Science*, 2022(1), 4914836.
- Pedro-Monzonís, M., Solera, A., Ferrer, J., Estrela, T. ve Paredes-Arquiola, J. (2015). A review of water scarcity and drought indexes in water resources planning and management. *Journal of Hydrology*, 527, 482-493.
- Peppas, N. A. ve Mikos, A. G. (2019). Preparation methods and structure of hydrogels. N. A. Peppas (Ed.), *Hydrogels in Medicine and Pharmacy* içinde (s. 1-26). CRC Press Revivals.
- Prakash, S., Vasudevan, S., Banerjee, A., Joe, A. C., Geetha, K. N. ve Mani, S. K. (2021). Sustainable Irrigation through Application of Hydrogel: A Review. *Alinteri Journal of Agriculture Sciences*, 36(2), 38-52.
- Qin, C. C., Abdalkarim, S. Y. H., Zhou, Y., Yu, H. Y. ve He, X. (2022). Ultrahigh water-retention cellulose hydrogels as soil amendments for early seed germination under harsh conditions. *Journal of Cleaner Production*, 370, 133602.
- Rezazadeh, B., Sirousazar, M., Abbasi-Chianeh, V. ve Kheiri, F. (2020). Polymer-clay nanocomposite hydrogels for molecular irrigation application. *Journal of Applied Polymer Science*, 137(18), 48631.
- Rossi, G. (2015). Achieving ethical responsibilities in water management: A challenge. *Agricultural Water Management*, 147, 96-102.

- Sahin, U. (2024). Improper water use and biodiversity loss. M E. Aydin, K. Sahin, S. Ercisli (Eds.), *Biodiversity Agriculture and Food* içinde. Turkish Academy of Sciences, TUBA.
- Tariq, Z., Iqbal, D. N., Rizwan, M., Ahmad, M., Faheem, M. ve Ahmed, M. (2023). Significance of biopolymer-based hydrogels and their applications in agriculture: a review in perspective of synthesis and their degree of swelling for water holding. *RSC Advances*, 13(35), 24731-24754.
- Tuğaç, Ç. (2014). İklim güvenliği açısından su kaynaklarının yönetimi. *Çağdaş Yerel Yönetimler Dergisi*, 23(3), 1-30.
- Velasco-Muñoz, J. F., Aznar-Sánchez, J. A., Belmonte-Ureña, L. J. ve Román-Sánchez, I. M. (2018). Sustainable water use in agriculture: A review of worldwide research. *Sustainability*, 10(4), 1084.
- Yang, J., Shen, M., Luo, Y., Wu, T., Chen, X., Wang, Y. ve Xie, J. (2021). Advanced applications of chitosan-based hydrogels: From biosensors to intelligent food packaging system. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 822-832.
- Yazdani, F., Allahdadi, I. ve Akbari, G. A. (2007). Impact of superabsorbent polymer on yield and growth analysis of soybean (*Glycine max L.*) under drought stress condition. *Pakistan Jjournal of Biological Sciences*, 10(23), 4190-4196.
- Yılmaz, A. (2015). Küresel ısınmanın dünya su rezervleri üzerindeki etkileri. *Kent Akademisi*, 8(22), 63-72.