Yeşil Hidrojen

Temiz Enerjinin Geleceği Olabilir mi?

Hayriye Yetiş [*TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*

Dünya genelinde nüfus artışı, endüstri alanında yaşanan gelişmeler ve teknolojik yeniliklerle birlikte enerji kaynaklarına duyulan ihtiyaç gün geçtikçe artıyor. Küresel enerjinin büyük bir bölümü fosil yakıtlardan elde edilirken bu tür yakıtların iklim değişikliğine sebep olması, sürdürülebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesini zorunlu hâle getirdi. Peki hidrojen enerjisi sürdürülebilir ve temiz bir enerjinin geleceği için alternatif bir çözüm olabilir mi?

Tanankorn Pilong / iStock

İklim değişikliğinin nedeni, insan faaliyetleri sonucu atmosfere salınan sera gazlarıdır. Küresel sıcaklıkların artmasına ve dolayısıyla iklim krizinin tetiklenmesine sebep olan sera gazlarının en önemlisi ise karbondioksittir. Karbondioksit, ısınmadan ulaşıma, elektrik üretiminden endüstriyel üretime kadar birçok alanda kullanılan fosil yakıtların yanması sonucu oluşur. Fosil yakıtlar olarak bilinen kömür, petrol ve doğal gazın çevreye verdiği zararlar göz önüne alındığında temiz, sürdürülebilir ve verimli enerji kaynaklarına talep, gün geçtikçe artıyor.

İkincil Bir Enerji Kaynağı Olarak Hidrojen

Periyodik tablonun ilk ve en hafif elementi olan hidrojen, kararsız bir yapıya sahip olduğu için nadiren saf hâlde bulunur. Bu yüzden su ve metan gibi başka elementlerle oluşturduğu bileşiklerden yoğun bir enerji gerektiren süreçlerden geçerek elde edilir. Doğada genellikle serbest hâlde bulunmadığı, diğer enerji kaynaklarından üretildiği ve elde edilen enerjiyi depolayarak taşıdığı için ikincil bir enerji kaynağı ya da enerji taşıyıcısı olarak bilinir. Fosil yakıtlar ve biyokütle gibi kaynaklardan üretilebildiği gibi suyun elektrolizi yöntemiyle de elde edilebilen hidrojen, petrol ve doğal gaz gibi yakılabildiği ancak doğaya herhangi bir karbon salımı yapmadığı için temiz enerji taşıyıcısı olarak değerlendirilir. Hidrojenin yakılması sonucu sadece su, elektrik ve ısı açığa çıkar. Bu sebeple temiz bir yakıt olarak ön plana çıkan hidrojen, dünyanın artan enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için geleceğin yakıtı olma potansiyeline sahip. Ancak bunun için hidrojen elde etme yöntemlerinin çevre dostu olması gerekiyor.

Her Zaman "Temiz" mi?

Hidrojen, oksijen ile yakıldığında sadece su, elektrik ve ısı açığa çıktığı için temiz bir yakıt olarak düşünülebilir. Ancak hidrojen enerjisinin çevre üzerindeki etkisi ve enerji verimliliği, dolayısıyla temiz enerji olarak değerlendirilebilmesi esas olarak nasıl üretildiğine bağlı.

Hidrojenin su, biyokütle ve fosil yakıt gibi kaynaklardan üretilebildiğine değinmiştik. Geleneksel hidrojen üretimi, büyük çoğunlukla fosil yakıtlardan sağlanıyor. Bu durumun ortaya çıkardığı karbondioksit salımı ise hidrojeni çevre dostu olmaktan çıkarıyor. Verilerle ifade etmek gerekirse günümüzde kullanılan hidrojenin neredeyse %95'ini elde ettiğimiz yöntemlerle üretilen her 1 ton hidrojen, 10 ile 12 ton arasında karbondioksit açığa çıkarıyor.

Hidrojen üretmenin en temiz yolu ve geleneksel hidrojen üretim yöntemlerine alternatif olarak ortaya çıkan yeşil hidrojen, son yıllarda hayli dikkat çeken bir teknoloji. Su moleküllerinin hidrojen ve oksijen bileşenlerine ayrılması süreci olarak tanımlanan elektroliz işleminde kullanılan elektrik, rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edildiğinde işlem sonucunda üretilen hidrojen, yeşil hidrojen olarak adlandırılır. Sürecin sonunda 1 kilogram hidrojen için ortaya çıkan karbondioksit miktarı 1 kilogramdan daha azdır. Yeşil hidrojenin neredeyse sıfır sera gazı salımlı bir enerji taşıyıcısı olması, geleneksel fosil yakıtların mümkün olabilecek en zararsız alternatifi olmasında hayli etkili.

Su molekülleri, elektrolizör adı verilen bir cihaz kullanılarak elektrik enerjisi yardımıyla hidrojen ve oksijen bileşenlerine ayrışır. Bu işlemdeki elektrik enerjisi, hidrojen molekülleri içerisinde kimyasal enerji olarak depolanır. Kimyasal enerji, gerektiğinde yakıt hücreleri veya yanma yoluyla elektrik ya da ısı enerjisine dönüştürülür.

Kütle başına enerji yoğunluğunun birçok fosil yakıta göre daha yüksek olması, enerjiyi depolamak, taşımak ve dağıtmak için kullanılabilmesi ve en önemlisi hidrojenden karbon salımı olmadan enerji elde edilebilmesi, hidrojenin sürdürülebilir ve temiz bir enerji taşıyıcısı olmasını sağlar.

Yeşil Hidrojenin Kullanım Alanları

Yeşil hidrojenin çok farklı sektörlerde geniş bir uygulama alanı bulunuyor. Yakıt hücreleri aracılığıyla elektriğe dönüştürülerek elektrik santrallerinde temiz bir yakıt kaynağı olarak kullanılabiliyor. Otomobil, otobüs, tren ve kamyon gibi ulaşım araçlarının yakıt depolarında depolanarak yine yakıt hücreleri aracılığıyla aracın motorunu çalıştırmak için gerekli elektriğe dönüştürülebiliyor. Yeşil hidrojen, gübre, kimyasal madde ve cam üretimi gibi yakıt ya da ham madde olarak hidrojene ihtiyaç duyulan endüstrilerden, pil ve yakıt hücrelerinin birlikte kullanıldığı hibrit uçaklara kadar birçok alanda geniş bir kullanım yelpazesine sahip.

Peki, sahip olduğu potansiyele rağmen yeşil hidrojen enerjisinin bugüne kadar yaygınlaşmamasının sebebi nedir? Bu durum, yeşil hidrojenin depolanma, taşınma ve son kullanım noktasına teslim edilme süreçlerinde yeni bir altyapı geliştirmenin gerekliliğinden kaynaklanıyor. Bilinen en hafif gaz olan hidrojenin kütle başına enerji yoğunluğu, alternatiflerine kıyasla yüksek olsa da hacim başına daha düşük enerji yoğunluğuna sahiptir. Bu nedenle verimliliğini artırmak için belirli bir hacimde depolanabilen hidrojen miktarını arttırmak, dolayısıyla hidrojeni yüksek basınç altında depolamak gerekiyor. Bu durum ise hidrojenin uzun mesafelere taşınması da söz konusu olduğundan hayli maliyetli bir süreç. Hidrojen üretiminde kullanılan suyun analizi ve yenilenebilir enerji altyapı ağlarının kurulması ise maliyet oluşturan başka bir etken. Ayrıca mevcut doğal gaz boru hatlarının hidrojene uygun şekilde yeniden düzenlenmesi, teknik zorluklar ve güvenlik sorunları oluşturabilir. Hidrojen sızıntısının önlenmesini sağlamak için özel donanımlar gerekiyor.

Yeşil Hidrojene Geçişi Hızlandırmak Mümkün mü?

Karbon salımlarının azaltılması ve enerji güvenliği için güçlü bir kaynak niteliğindeki yeşil hidrojen, çevre dostu bir seçenek olarak gittikçe daha fazla önem kazanıyor. Ancak henüz gelişme aşamasındaki bir teknoloji olan yeşil hidrojenin üretimi için gerekli altyapı teknolojilerini hızlandırmak, verimliliğini arttırmak, maliyetlerini düşürmek ve çeşitli sektörlere uygulanabilir yenilikçi çözümler bulmak için bu alanda araştırma ve geliştirmeye sürekli yatırım yapmak gerekiyor. Bu yatırımlar, yeşil hidrojen üretimi, depolanması ve dağıtımı gibi süreçler için gerekli olan altyapının mevcut enerji sistemlerine entegrasyonundan güvenlik önlemlerini arttırmak için yenilikçi teknolojiler geliştirmeye kadar birçok yeniliği kapsıyor. Yeşil hidrojen üretimi için gerekli suyun analizinde verimliliği arttırılmış ve maliyeti düşürülmüş olan yeni teknolojiler, yeşil hidrojeni üretim maliyeti açısından daha rekabetçi hâle getirebilir. Ayrıca yakıt hücresi teknolojisindeki devam eden gelişmeler, verimliliği arttırmayı ve maliyetleri düşürmeyi, böylece yeşil

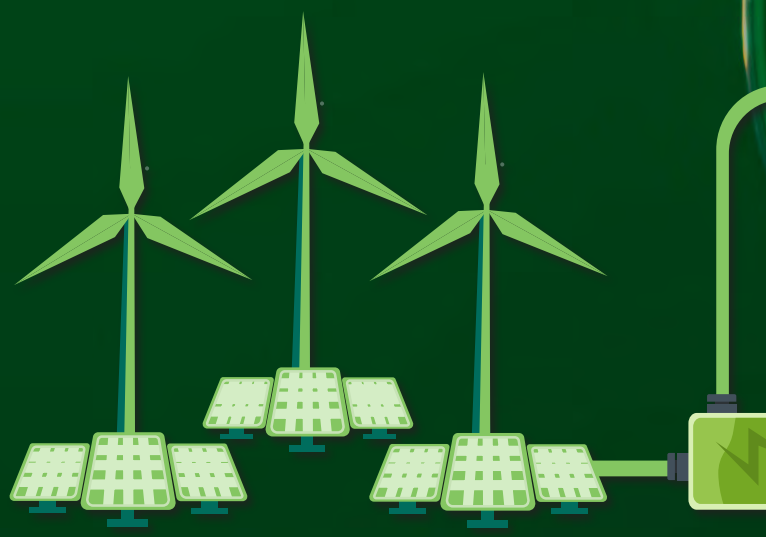
hidrojenin elektrik üretiminde ve araçlarda yakıt olarak kullanılmasında daha etkili bir enerji taşıyıcısı olmasını sağlayabilir.

Elektrik üretiminde yeşil hidrojenin kullanımını optimize etmek için geliştirilen çok sayıda teknoloji mevcut. Hidrojendeki kimyasal enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesiyle elde edilen enerjiyi depolamak için üretilen piller ve ortaya çıkan ısı ile elektrik üreten ve yakıt verimliliğini artırarak sera gazı salımlarını azaltan yakıt hücreleri, bunlardan sadece birkaçı.

Yeşil hidrojen kullanımına ilişkin teknolojilerin geliştirilmesi, elektrik üretiminde verimliliği arttırmak ve maliyetleri azaltmak için son derece önemli. Dünya çapında çok sayıda ülke, yeşil hidrojen teknolojisini test etmek ve ilerletmek için pilot projeler geliştirmeye devam ediyor. Otobüs ve tren gibi ulaşım araçlarında kullanılan yakıt hücreleri ve pil teknolojisi, hâlihazırda uygulanabilirken bu alanda daha fazla gelişmeye ihtiyaç duyan birçok teknoloji bulunuyor.

Peki ya Riskler...

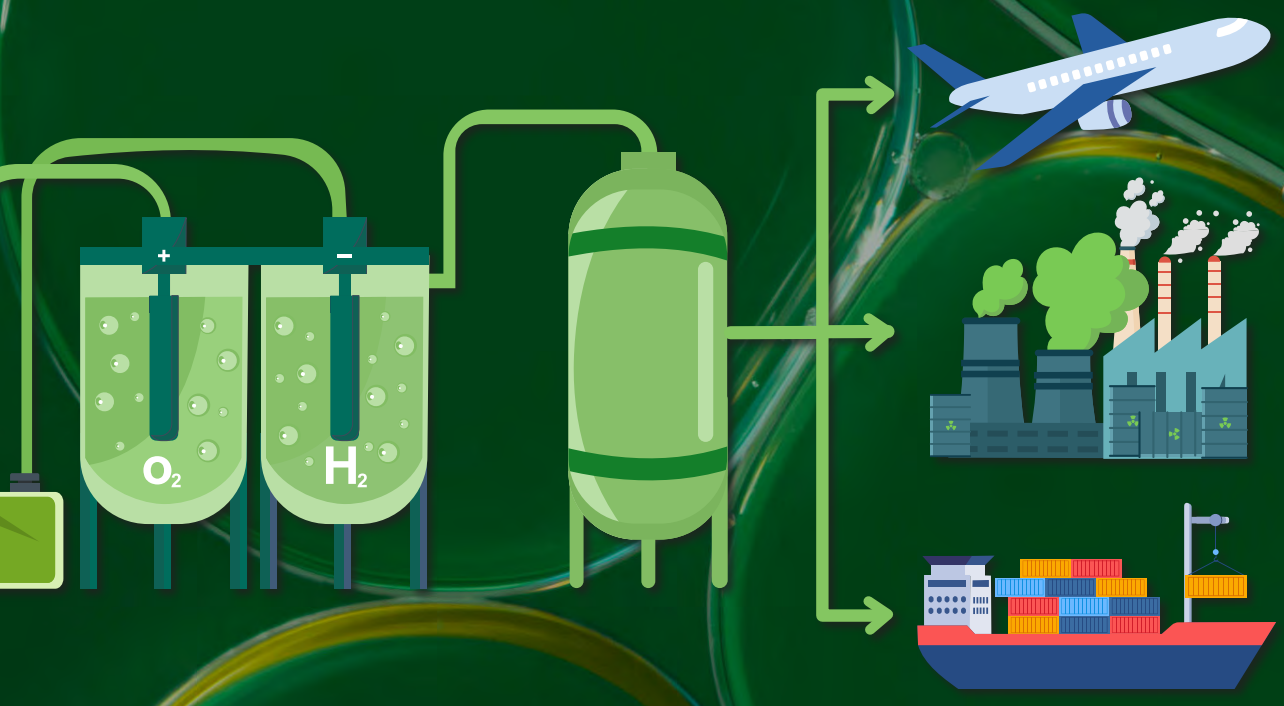
Yeşil hidrojen, vadettiği birçok potansiyel faydalarına rağmen bazı riskler de taşıyor. Üretim süreci ya da taşınması sırasında boru hatlarından hidrojen sızması ihtimali, bazı tehlikeli durumlara yol açabilir. Atmosfere



yayılan hidrojen, metanın parçalanmasında önemli bir rol oynayan hidroksil radikalleriyle reaksiyona girerek bu radikallerin miktarını azaltır ve dolayısıyla karbondioksit gazından çok daha fazla sera gazı etkisine yol açan metan gazının atmosferdeki miktarı artar. Bu sebeple oldukça uçucu ve yanıcı bir gaz olan hidrojen sızıntılarını ve sebep olabileceği patlamaları önlemek, kapsamlı güvenlik önlemleri gerektiriyor.

Su kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde yeşil hidrojen üretme çalışmaları ise başka bir endişe kaynağı. Elektroliz işleminde temiz suya ihtiyaç duyulmasının sınırlı kaynakların tüketimine yol açacağı ve sürdürülebilirliğin önünde engel oluşturabileceğine dair kaygılar mevcut. İşlemin maliyetli olması ise tartışılan konulardan bir diğeri. Ancak gelecekte hidrojenin tamamına yakınının çok az su tüketen ya da hiç tüketmeyen yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak üretilebileceğine dair varsayımlar var. Ayrıca fosil yakıtlardan enerji elde etmek için gereken su miktarı, hidrojen üretimi için gerekenden çok daha fazla. Deniz suyundan yeşil hidrojen üretmek için yürütülen çalışmalar da elektrolizde temiz su kullanma gerekliliğinin önüne geçen alternatif bir yöntem olarak karşımıza çıkıyor.

Sonuç olarak yeşil hidrojenle ilgili tüm süreçleri kapsayan bazı endişeler bulunsa da gerekli teknolojik ve ekonomik altyapıların oluşturulması, yeşil hidrojenin yenilenebilir enerji geleceği üzerinde uzun vadede etkili olmasını sağlayabilir. Dolayısıyla yeşil hidrojenin elektrik üretimi, ulaşım ve diğer endüstriyel sektörler için temiz bir yakıt kaynağı olarak benimsenmesini hızlandırmak, böylece fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltarak sürdürülebilir bir enerji geleceğine çözüm oluşturmak, iklim krizi için mücadelede gün geçtikçe önem kazanmaya devam edecek gibi görünüyor.■



Yeşil hidrojen üretiminde karşılaşılan yüksek maliyetler, depolama ve taşınma sırasında oluşabilecek güvenlik sorunları yanında hidrojenle çalışan araçlara yakıt sağlamak için yeterli yakıt ikmal istasyonu temin etmek de ayrıca bir maliyet demek.

Kaynaklar

https://climate.mit.edu/ask-mit/how-clean-green-hydrogen
https://afdc.energy.gov/fuels/hydrogen-production
https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.08.321
https://www.intechopen.com/chapters/69273
https://doi.org/10.3390/pr11092685
https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsenergylett.1c01375
https://www.science.org/content/article/carbon-free-fuels-could-have-dark-side
https://science.howstuffworks.com/environmental/green-science/pros-and-cons-of-hydrogen-energy.htm