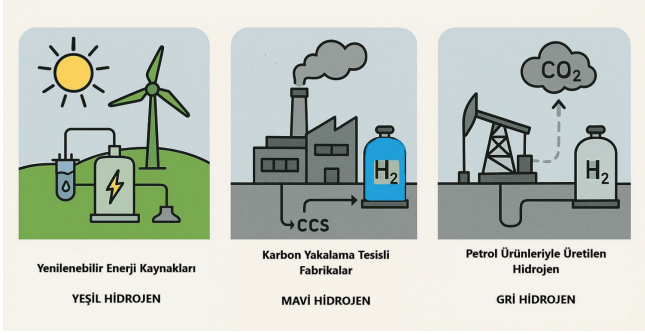


Hidrojen Üretim Teknolojileri: Yeşil, Mavi ve Gri Hidrojenin Geleceği

Cemalettin UĞUZ - *Elektrik-Elektronik Mühendisi*

info@lemamuhendislik.com



Hidrojen, temiz enerji dönüşümünün anahtar unsurlarından biri olarak görülmektedir. Ancak üretim yöntemleri, çevresel etkileri açısından farklılık gösterir. Günümüzde üç ana hidrojen üretim yolu öne çıkmaktadır: yeşil hidrojen, mavi hidrojen ve gri hidrojen.

Yeşil Hidrojen: Yenilenebilir enerji kaynakları (güneş, rüzgar) kullanılarak sudan elektroliz yöntemiyle üretilir. Karbon emisyonu sıfırdır ve sürdürülebilir bir çözüm sunar. Ancak yüksek üretim maliyetleri ve altyapı gereksinimleri yaygınlaşmasını şimdilik sınırlamaktadır.

Mavi Hidrojen: Fosil yakıtlardan üretilir ancak ortaya çıkan karbon emisyonları, karbon yakalama ve depolama (CCS) teknolojileri ile tutulur. Gri hidrojene göre daha çevreci bir seçenek olsa da CCS sistemlerinin verimliliği ve maliyeti hala tartışmalıdır.

Gri Hidrojen: Doğal gazın buhar reformasyonu ile üretilir ve atmosfere büyük miktarda CO₂ salınır. Günümüzde hidrojen üretiminin büyük kısmı gri yöntemle gerçekleştirilmekte olup, iklim değişikliği ile mücadelede sürdürülebilir bir seçenek değildir.

Gelecekte **yeşil hidrojenin maliyetlerinin düşmesi, altyapının gelişmesi ve karbon nötr politikaların yaygınlaşması**, enerji sistemlerimizde hidrojenin rolünü artıracaktır. Enerji depolama, ulaşım ve sanayi sektörlerinde hidrojenin etkin kullanımı, fosil yakıtlara bağımlılığı azaltarak sürdürülebilir bir enerji dönüşümünü mümkün kılacaktır. Yazı dizimizin devamında yakıt hücreleri üstünde durup yeşil hidrojen ile alakalı verimli ve sağlıklı bir sistem üstüne yazılar kaleme alacağız.

Mavi hidrojeninde bahsedilen CCS sisteminden kısaca bahsetmek gerekirse ;

CCS (Carbon Capture and Storage, yani Karbon Yakalama ve Depolama) sistemi, mavi hidrojen üretiminde açığa çıkan karbon dioksiti (CO₂) atmosfere salmadan yakalayıp yer altı rezervuarlarına veya okyanus diplerine depolayan bir teknolojidir. Bu sayede fosil yakıt kaynaklı hidrojen üretiminin çevresel etkisi azaltılmaya çalışılır. Ancak CCS sistemleri yüksek maliyetli olup, tam verimli çalışmadığında yine de belirli oranda karbon salınımı gerçekleşebilir. CCS sisteminin kullanılabilirliği ve geleceği konusunda çalışmalar sürmekle birlikte henüz kayda değer bir çalışma ortaya konulamamıştır.

Yeşil ve mavi hidrojenin geleceğinden kısaca bahsettikten sonra gri hidrojen konusunda şunları söyleyebiliriz; Gri hidrojen, yüksek karbon emisyonları nedeniyle uzun vadede sürdürülebilir bir seçenek değildir. Karbon nötr politikaların yaygınlaşmasıyla yerini yeşil ve mavi hidrojene bırakması beklenmektedir. Ancak kısa vadede düşük maliyeti nedeniyle sanayide kullanılmaya devam edebilir. Kısa vadede kasıt ; (önümüzdeki 10-15 yıl), gri hidrojen maliyet avantajı ve mevcut altyapısı nedeniyle sanayide yaygın kalmaya devam edebilir. Ancak karbon vergileri, yeşil enerji teşvikleri ve CCS gelişimi ile 2040'a doğru hızla azalması öngörülebilir. Karbon vergileri, fosil yakıt kullanımını azaltmak ve yenilenebilir enerjiye geçişi teşvik etmek amacıyla dünya genelinde kademeli olarak artırılmaktadır. Örneğin, İsveç'te 1990'da ton başına 20 dolar olarak başlayan karbon vergisi, 2022 itibarıyla 120-140 dolar seviyesine ulaşmıştır. Hollanda'da ise 1996'da ton başına 20 dolar olan vergi, 2022'de yaklaşık 71,48 dolara yükselmiştir. Kanada, 2024'te karbon vergisini ton başına 65 dolardan 80 dolara çıkarmıştır. Bu örnekler, karbon vergilerinin zamanla arttığını göstermektedir. Gelecekte, iklim değişikliğiyle mücadele hedefleri doğrultusunda, karbon vergilerinin daha da yükselmesi beklenmektedir. Özellikle Avrupa Birliği'nin 2026'da yürürlüğe koyacağı Sınırdan Karbon Düzenleme Mekanizması kapsamında, 2034'e kadar mali yükümlülüklerin kademeli olarak artacağı öngörülmektedir. Ancak, spesifik oranlar ülkelerin politikalarına ve küresel iklim hedeflerine bağlı olarak değişecektir.