

# Karbonsuz Yeni Enerji Kaynağı ,Hidrojen‘ Yakın Gelecekte Kurtarıcımız Mı?

Hidrojen enerjisinin temelleri, Dünya'daki ve Türkiye'deki durumu?

Yüksel Atakan, Dr.Fizik Y.Müh. Almanya, [ybatakan3@gmail.com](mailto:ybatakan3@gmail.com)

Tüm dünyada, bir yandan iklimi daha fazla bozmamak amacıyla CO<sub>2</sub> salan kömür, petrol ve doğalgaz yakıtlarından uzaklaşmak, diğer yandan da Rusya'ya bağımlılığı azaltmak için Yenilenebilir Enerjilere (YE) ağırlık verildiği biliniyor. Bunun yanı sıra, Hidrojen gazının (H<sub>2</sub>) karbonsuz yeni enerji kaynağı olarak, gitgide önem kazandığı, son aylarda, medyadaki güncel yayınlardan görülüyor /1,2/.



**Şekil 1:** Hidrojen, Dünya'da tek başına değil, en çok oksijen ile bileşik olarak su halinde bulunuyor

## Hidrojen gazının temel özellikleri ve üretimi

Hidrojen'in, Evren'de en çok bulunan ortak bir element ve tüm gazların en hafifi olduğunu, Dünya'da ise en çok, oksijen ile bileşik (H<sub>2</sub>O) su halinde bulunduğunu da biliyoruz. Bunun dışında, bir çok maddenin içinde, fosil yakıtlarda da hidrojen bileşik halde bulunuyor. Örneğin **doğalgazı oluşturan metan (CH<sub>4</sub>) gibi hidrokarbonlar ve ham petrol önemli hidrojen bileşikleridir.** Yandığında ya da yakıt hücresinde oksijenle birleştiğinde, oluşturduğu su iklimi bozmuyor. Hidrojenin bu zararsız emisyon özelliği, CO<sub>2</sub> salmaması onu, **yakın geleceğin önemli bir enerji kaynağı yapıyor.** Hidrojen gazı pratikte ya su ya da doğalgaz gibi çeşitli kimyasal maddelerden ya da biyokütle'den üretilebiliyor ve üretmek için de enerji gerekiyor. Hidrojen, kömür, petrol ve doğal gaz gibi doğada hazır yakıt olarak bulunmuyor. Hidrojen, Dünya'da tek başına bulunmadığından, hidrojenin saklı kimyasal enerjisinden yararlanabilmek için önce onu diğer bileşiklerinden, enerji harcayarak, ayırmak gerekiyor. **Hidrojeni oksijenden ayırmak için kimyasal, elektrik, termal (ısı), güneş ve rüzgâr (YE) enerjileri kullanılıyor.**

**Elektroliz, suyun bileşenleri olan hidrojen ve oksijeni birbirinden ayırıyor. Eğer elektrolizde kullanılan elektrik enerjisi yenilenebilir enerjilerden (YE) sağlanıyorsa buna ,yeşil hidrojen' deniyor. Böylelikle özellikle güneş enerjisinden yaz aylarında ve öğlenleri ya da çok rüzgârlı günlerde üretilen aşırı elektrik, elektroliz yoluyla hidrojende depolanmış olurken, çevreye sadece su buharı salınıyor.**

Bugün hidrojen daha çok fosil yakıtlardan kimyasal yollarla elde ediliyor. Örneğin doğalgaz buharla 700 C dereceden daha yüksek sıcaklığa ısıtıldığında, hidrojen gazı oluşuyor ki buna 'buharlı metan reformu' deniyor (Doğalgazın % 90'dan fazlası metan). Ancak bu ve benzer yöntemlerde CO<sub>2</sub> salındığından, iklimi bozmayan su'dan elektroliz' yoluyla hidrojen üretmek, gitgide önem kazanıyor.

Not: Atmosferdeki su buharının da CO<sub>2</sub> gibi yeryüzünden yansıyan güneş ışınlarını perdelediği, temelde sera gazından farkı olmadığı biliniyor ama, iklimi bozmuyor. Bunun nedeni, atmosfer belirli bir sıcaklıkta su buharıyla doyduğunda, su buharını taşıyamıyor ve yağış olarak yeryüzüne iniyor. Doyma noktasına gelene kadar atmosferdeki su buharı, yeryüzünden gelen ışınları perdelese de (sera gazı oluşsa da) daha da artmadığından, sanayi dönemi öncesinde sağlanan denge bugün de bozulmuyor. Eğer su buharı da yağış olarak inmeseydi, sanayi dönemi sonrasındaki CO<sub>2</sub> gibi sürekli artsaydı su buharı da iklimi bozardı..Özetle, hidrojen gazının oksijenle birleşmesiyle oluşan su buharı iklimi bozmuyor.

Bugün üretilen hidrojenin sadece % 1-2 kadarı, suyun elektroliziyle elde ediliyor. Başka yollarla hidrojen üretmek amacıyla bugün çeşitli bilimsel araştırmalar da yapılıyor: Araştırmacılar, bazı yosun ve bakterilerin belirli koşullarda güneş ışınları altında hidrojen gazı saldıklarını ortaya çıkardılar.

Avustralya'da yapılan bir araştırmada tarlalardaki bitki artıklarından üretilen bir cins şeker, bakterilere verildiğinde bunların hidrojen gazı saldıklarını gösterdi /2/. Bu teknoloji geliştirildiğinde çiftçilerin 2025 yılından başlayarak geceleri bile, YE'lerin elektriğine gerek kalmadan, hidrojen gazı üretebilecekleri açıklanıyor. Bugün Canberra'da 20 resmi araçlı bir filo hidrojenle çalışıyor ve bir hidrojen doldurma istasyonu da var /2/. Hidrojen gazı yandığında kimyasal olarak sakladığı enerjiyi, ısı enerjisi olarak verirken, binaları ısıtmaya, araçları hareket ettirmeye, elektrik santrallerinde ve yakıt hücrelerinde elektrik üretecek enerjilere dönüştürülüyor. Hidrojen, NASA'da roketlerde ana yakıt (sıvı) olarak kullanılmakta.

### **Hidrojen gazının kg başına enerji yoğunluğu, fosil yakıtların üç katı!**

Hidrojen gazı, çok düşük molekül ağırlığı nedeniyle hacimsel olarak düşük (3 kWh/m<sup>3</sup>) enerji yoğunluğunda olmasına karşın, ağırlık başına olan enerji yoğunluğu ise 33 kWh/kg olup, fosil yakıtların 10-14 kWh/kg değerinin 2-3 katı üstünde (Bkz.Çizelge 1 ve 2). Bu nedenle depolanması, tankerlerle taşınması ya da boru hatlarıyla iletilmesi büyük üstünlük sağlıyor. Ancak boru hatlarında hidrojen gazının yüksek basınç altında taşınması gereği, güvenlik sorunları da getirebiliyor.

Hidrojen gazı, suyun elektroliziyle üretilirken gereken elektrik tümüyle fosil yakıtlarla elde ediliyorsa çok CO<sub>2</sub> salındığı için buna ,gri hidrojen', daha az CO<sub>2</sub> salınan yakıtlardan elde ediliyorsa buna ,Mavi hidrojen' deniyor.

### **Hidrojenin diğer önemli özellikleri**

Hidrojen radyoaktif olmayan, zehirsiz, kokusuz, renksiz, kanser yapmayan, yandığında (oksijen ile birleştiğinde) CO<sub>2</sub> salmayan, su buharı oluşturan bir gaz. Hidrojen gazı sıkıştırılarak ya da iyice soğutulularak, sıvılaştırılıp kolayca taşınabiliyor ya da depolanabiliyor. **Hidrojen -252°C'de sıvılaşır.**

Hidrojen havadan daha hafif olduğundan havaya karıştığında çabucak yükseliyor, yüksek giriciliğiyle (Difüzyonu doğalgaz'dan 4 kat daha çok) havada çabucak seyreliyor. Hidrojenin patlama sınır aralığı (havada (%4-%74) olup, bu sınır aralığına ulaşılmadığı sürece, tutuştuğunda, yanıyor ama patlamıyor. Hidrojen görülemeyen bir alevle yanıyor. Alevi çok az ısı enerjisi yayıyor.

**Çizelge 1** : Enerji kaynaklarının 'Enerji yoğunlukları' kg başına kWh olarak en sağ sütunda). Orta sütun, hacim başına değerleri gösteriyor. Görüldüğü gibi hidrojenin enerji yoğunluğu kg başına 33 kWh iken, diğerleri bunun üçte bir kadar. Soldaki sütun yukarıdan aşağıya: Hidrojen, Ham petrol, Dizel, Benzin, Metanol, Metan, Doğalgaz (% 82-93 Metan CH4), Propan ve Bütan

Daten zu Energieträgern / fuel data (lower heating value)		
Wasserstoff / hydrogen.....	3.00 kWh/Nm <sup>3</sup>	33.33 kWh/kg
Rohöl / crude oil.....	≈ 1 toe/t	≈ 11.6 kWh/kg
Diesel / diesel.....	≈ 10 kWh/l	≈ 11.9 kWh/kg
Benzin / gasoline.....	≈ 8.8 kWh/l	≈ 12.0 kWh/kg
Methanol / methanol.....	4.44 kWh/l	5.47 kWh/kg
Methan / methane.....	9.97 kWh/Nm <sup>3</sup>	13.9 kWh/kg
Erdgas / natural Gas (82 - 93 % CH4).....	8.8 - 10.4 kWh/Nm <sup>3</sup>	10.6 - 13.1 kWh/kg
Propan / propane.....	25.89 kWh/Nm <sup>3</sup>	12.88 kWh/kg
Butan / butane.....	34.39 kWh/Nm <sup>3</sup>	12.7 kWh/kg
-	-	7.57 kWh/kg

### Hidrojenin enerji kaynağı olarak kullanımı

Hidrojen gazı üretildikten sonra ısı enerjisine, hareket enerjisine, elektrik enerjisine dönüştürülerek kullanılabilir. Hidrojen gazının enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmek 'Yakıt Hücreleri' (Fuel Cell) ile sağlanıyor.

### Yakıt Hücresi (Fuel Cell)

Bir yakıt hücresi bir anot, katot ve elektrolit membrandan oluşuyor (Şekil 2). Yakıt hücresine, elektrokimyasal enerji aygıtı olarak da bakılabilir. Bir yakıt hücresi, hidrojen ve havadaki oksijeni birleştirip suya dönüştürürken doğrudan elektrik ve ısı enerjisi üretiyor. Yakıt hücresi, bildiğimiz batarya ya da pil'den çok farklı. Bir batarya, bilindiği gibi, ancak içindeki kimyasal maddeler bitene kadar çalışabiliyor, sonunda ya şarj ediliyor ya da kullanılamıyor ve atık deposuna gidiyor. Buna karşın, yakıt hücrelerine, dışarıdan sürekli hidrojen ve oksijen verilerek (akıtılarak) elektrik üretiliyor. Yakıt hücrelerinin şarjına gerek olmadığı gibi bunlar çok daha uzun ömürlü.

Taşıt araçlarında ortaya çıkan egsoz gazı ve taneciklerinin azaltılmasının, çevreyi ve iklimi korumaya büyük katkısı olacağı biliniyor. Hidrojenli araçların verimleri, akaryakıtlı ve elektrikli araçlara göre, çok daha yüksektir. Bir yakıt hücresi, hidrojenin enerjisinin % 80'ini elektriğe çevirebiliyor. Araçta enerji, mekanik enerjiye çevrilirken kayıplar nedeniyle hidrojenden % 60 verimle enerji elde edilebiliyor. Elektrikli araçların aküsü uzun sürede doldurularabilirken, hidrojen yakıtlı bir aracın deposu,

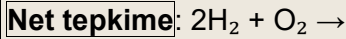
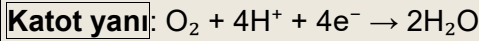
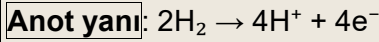
benzinli araç gibi 1-2 dakikada doldurulabiliyor ve enerji yoğunluğu nedeniyle elektrikli araçlarla karşılaştırıldığında, daha uzun yol gidebiliyor. Yakıt hücresinde hidrojenin oksijenle kimyasal tepkimesiyle voltaj oluşuyor ve su açığa çıkıyor. Katalizatör olarak, membrana çoğunlukla, platin katılıyor (Şekil 2)

### Yakıt hücresini kim buldu?

Yakıt hücresini 1839 yılında Sir William Grove buluyor. Grove:- Mademki elektrolizde, suya elektrik akımı verdiğimizde su, hidrojen ve oksijene ayrılıyor, bunun tersini yaparak, hidrojen ve oksijeni birleştirebilirsek elektrik ve suyun ortaya çıkması gerekir diye bir hipotez ortaya atıyor. Daha sonra yaptığı ilk basit yakıt hücresi düzeneğiyle bunun olacağını bir dizi deneyle kanıtıyor. Bu ilk düzeneğe Gaz Voltaik Bataryası adını veriyor. 50 yıl sonra araştırmacılar Ludwig Mond ve Charles Langer 'Yakıt Hücresi' adını verdikleri pratik bir model ile elektrik üretmeye başlıyorlar.

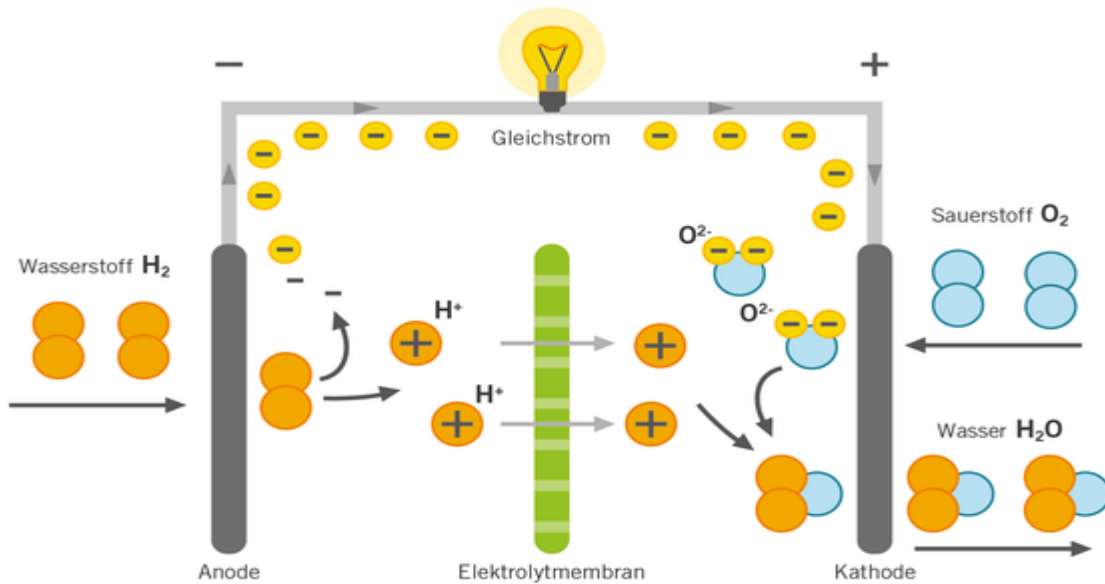
### Yakıt hücresi nasıl çalışıyor? (Şekil 2):

Hidrojen gazı anot yanına veriliyor. Pozitif hidrojen iyonları membranda ayrılarak katoda doğru ilerliyorlar. Membran, hidrojenin negatif elektronlarının geçmesini engelliyor. Negatif elektronlar anottan (telden katoda doğru) bir voltaj oluşturarak elektrik akımına neden oluyorlar. Katot yanından verilen havanın içindeki oksijen, pozitif hidrojen iyonları ve elektronlarla birleşiyor, sonunda su açığa çıkıyor.



**Şekil 2:** Yakıt hücresinde, hidrojen gazının, havanın oksijeniyle tepkimesi sonucu doğrudan elektrik üretilirken, su açığa çıkıyor (Yukarıdan aşağıya soldan sağa: Doğru akım (elektrik yükleri), Hidrojen  $\text{H}_2$  girişi, Anot katalist, Elektrolit Membran, Katot, Oksijen  $\text{O}_2$  (hava içinde) girişi, Katot

### Funktionsprinzip einer PEFC-Brennstoffzelle



### Yeşil hidrojen gazı üretimi için gereken elektrik çok mu fazla?

Yeşil hidrojen, yukarıda belirttiğimiz gibi, suyun elektrolizinde YE'lerden üretilen elektriğin kullanılmasıyla elde ediliyor. Her kg hidrojen üretebilmek için elektrolizde 39-50 kWh elektrik harcamak gerekiyor. Bu kadar elektrik harcanarak üretilen hidrojen ise diğer yakıtlara göre 3 kat daha fazla enerji yoğunluğunda olmasına rağmen, hidrojenin her kg için sadece 33 kWh enerji elde ediliyor. Aklımıza şu soru gelebilir? Hidrojeni üretmek için önce elektrolizde daha fazla enerji harcamak, sonra da hidrojenen kg başına daha az enerji almak zararına çalışmak değil midir? Burada iki önemli noktayı açıklamak gerekir: İlki, yukarıda açıkladığımız gibi elektrolizde kullanılacak elektrik, zaten kullanılmayan YE'lerden yaz aylarında ve öğle saatlerinde üretilen aşırı elektrikle yapıldığında işe yarıyor ve üretim fiyatı da azalıyor. İkinci önemli nokta ise üretilen hidrojen gazı depolanıp sonradan çok çeşitli yerlerde kullanılabilir (Şekil 3'ün sağ yanından görüldüğü gibi endüstride, binaları ısıtmada, elektrik üretmede, mobil tüm araçlarda). YE'den üretilen elektrik ise istenildiği kadar depolanamıyor ve sonradan kullanılmıyor.

**Şekil 3:** Rüzgâr ya da güneş enerjisinden üretilen elektrikle beslenen elektroliz aygıtında (sol altta) su, hidrojen ve oksijen bileşenlerinden ayrıştırılıyor. H<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> gazları, depolanıyor. Hidrojen gazı, şekilde görüldüğü gibi, en sağdaki kullanım yerlerine iletiliyor.

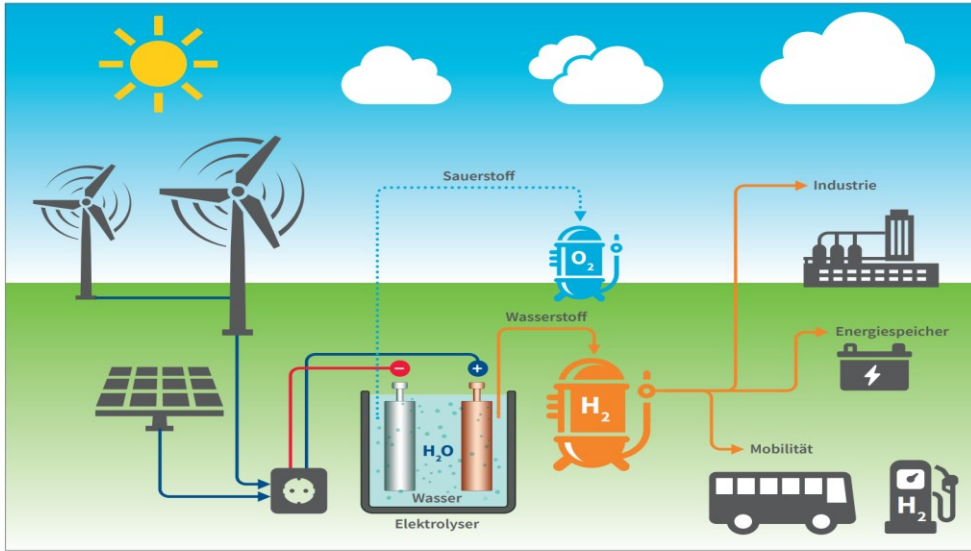


Abb. 10: Von erneuerbarem Strom zur Wasserstoffanwendung

### Almanya'da hidrojen gazı enerjisinin ülke çapında üretimi ve yayılması hazırlıkları

Almanya gaz şirketleri hidrojen gazı iletimi için şimdiden hidrojen gazı boru hatları döşenmesinin Almanya genelinde planlamasını yapmaya başladılar. Çelik ve kimya sanayiinin yanı sıra, 250 kadar orta büyüklükte şirket hidrojen gazı kullanmak istediklerini şimdiden bildiriyorlar /3,4/. Bunu karşılayabilmek amacıyla 2032 yılına kadar 8500 km boru hatlarının döşenmesi gerekiyor. Bunun büyük bölümü bugün bulunan gaz boru hatlarıyla gerçekleşecekse de yine de 5 milyar Euro kadar yatırım, boru hatları için, gerekiyor (Almanya'da bugün gaz boru hatlarının toplam uzunluğu 40 000 km). Gaz ağlarının (şebekelerinin) yöneticileri, Ukrayna savaşı nedeniyle artık doğalgaz'da Rusya'ya bağımlılıktan kurtularak, Güneş ya da Rüzgâr enerjileriyle üretilen Yeşil Hidrojen gazına yönelmenin zamanı gelmiştir diyorlar. Bu projeleri geliştirmek için ilgili şirketler şimdiden mühendisler aramaya başladılar /3/.

Almanya'da ilgili şirketler 3-4 yıl sonra Hidrojen kullanımına başlama hazırlıklarında. Örnek: Almanya'nın büyük çelik üreticisi Salzgitter şirketinin yönetim kurulu, CO2 salan enerji kaynaklarına ve dış bağımlılığa artık son verilerek hidrojen enerjisi kullanımını sağlamak amacıyla yürütülen Salcos projesini 723 milyon Euro ile destekleme kararı aldı (Temmuz 2022). Bu projeyi AB'nin de desteklemesi bekleniyor. Salzgitter'in planına göre 2026 yılında bir Yüksek Fırın'ın sökülerek hidrojenle çalışan Salcos 1 ile yılda 1 milyon ton'dan fazla çelik üretileceği hedefleniyor. Çelik üretimi yapan diğer büyük şirket Thyssenkrupp ve başkalarının da yakında hidrojen enerjisi kullanım hazırlıklarına başlayacakları bekleniyor/5,6/.

**Şekil 4 :** Almanya Hidrojen gazı (Wasserstoff) boru hatları planı



### Hidrojen gazının fiyatı

Ukrayna savaşı öncesi hidrojenin fiyatı kg başına 8 usd iken daha sonra 12-15 usd'ye yükseldiği açıklandı. İberya yarım adasında (İspanya/Portekiz) yeşil hidrojenin 4 usd/kg üretilbileceği de açıklanıyor. Dünya'da hidrojen fiyatının 2030 sonrası 1,5 usd/kg düzeyine kadar inebileceği kestiriliyor. AB'nin 2030 yılında 3 milyon ton yeşil hidrojen enerjisi üretebileceği hesapları da yapılıyor /7/. Öte yandan elektroliz tesislerinin maliyetleri de epey yüksek. 1 kW'lık bir elektroliz tesisinin 2030 yılında maliyeti 400 ile 500 Euro arasında.

### Bugünün ve yakın geleceğin enerjisi hidrojenin Dünya'daki durumu

Bugün bir dizi ülke ya hidrojen gazı üretiyor ya da üretim için hazırlık yapıyor. Bunların başında bugün yılda yaklaşık 20-25 milyon ton üretim ile Çin geliyor. Dünya toplam hidrojen üretimi 2020 yılında 115 milyon ton düzeyinde olup, üretimin 2030 yılında 200 milyon tonu ve 2050 yılında da 530 milyon tonu aşacağı hesaplanıyor. Bugün üretilen hidrojenin %70 kadarı doğal gazdan, %20'den fazlası kömürden % 1-2 kadarı da elektroliz yoluyla su'dan üretiliyor./8/. Öte yandan DNV Norveç, Dünya enerjileri içinde hidrojenin payının 2030 yılında sadece % 0,5 ve 2050 yılında ise % 5 olabileceğini, halbuki Paris iklim sözleşmesine göre Dünya sıcaklık artımının 1,5 derecenin altında kalabilmesi için hidrojenin payın % 15 kadar olması gerektiğini hesaplıyor /9/. Tüm bunların ışığında, hidrojen gazı kullanımının tüm dünyada önümüzdeki yıllarda gitgide artması bekleniyor. Böylelikle daha az kullanılacak fosil yakıtlarla iklimin daha fazla bozulmamasına da, katkıda bulunulacağı açık.

## **Hidrojen gazı üretimi su kıtlığı mı yaratacak?**

Hidrojen gazı su'dan üretildiğinde 1 kg hidrojen gazı üretebilmek için yaklaşık olarak 10 kg su gerekiyor. 2050 yılında beklenen 500 milyon ton hidrojen gazı için kaba bir hesaplamayla 5 milyar ton su gerekecek. Zaten suyu kıt olan bir çok ülkede hidrojen üretimi sorun yaratacak seviyeye buna karşı olan çevrecilerin harekete geçtikleri duyulmaya başlandı. Deniz suyundan hidrojen üretmek ise, kWh fiyatını 2 cent artıracak.

## **Hidrojen enerjisiyle ilgili Türkiye'de durum**

,Türkiye'nin 7. Beş Yıllık Kalkınma Planı Genel Enerji Özel İhtisas Komisyonu Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Raporu'nda, hidrojen teknolojisine değinilmekte birlikte, resmileşen kalkınma planında hidrojen enerjisinin adı geçmemektedir. Hidrojen konusu üniversitelerimiz ve araştırma kuruluşlarımızda çok sınırlı biçimde ele alınmaktadır/10/.

Türkiye'nin hidrojen enerjisi konusunda bugünlerde ayrıntılı bir yol haritası açıklayacağını Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanı geçenlerde (Haziran 2022) belirtti . Ancak, Uluslararası raporlarda, küçük ülkelerin bile bulunduğu, hidrojeni stratejik enerji olarak gören ülkeler listesinde, Türkiye yer almıyor.

## **Sonuç**

Hidrojen gazı her çeşit endüstride (Başta çelik, kimya, ilaç, tekstil, makine endüstrisi olmak üzere) ayrıca binaları ısıtmada, tüm taşıt araçlarında da kullanılabilir. Suyun elektrolizinde kullanılan elektriğin güneş ve rüzgâr enerjilerinden elde edilmesi durumunda üretilen yeşil hidrojen hazırlıklarının tüm dünyada artımı planlanıyor. Bu ise herşeyden önce Güneş ve rüzgâr enerjilerinin artırılmasına ve bunlardan elde edilecek kullanılmayan fazla elektriğin suyun elektrolizinde kullanılmasına bağlı olacak. Elektroliz tesislerinin de artarak güneş ve rüzgâr enerji santrallerinin yanlarına kurulmasıyla hidrojen gazı enerjisi, gitgide yaygınlaşarak daha ekonomik duruma gelecek.

Örneğin Konya Karapınar 1000 MWe güneş santralının yanına böyle bir elektroliz tesisi kurulabilir, yaz aylarında, öğlenleri kullanılmayan elektrikten hidrojen gazı üretilir, depolanır ve kullanım yerlerine tanker ya da boru hatlarıyla iletilerek, Karapınar'da zaman zaman üretilen aşırı elektrik enerjisinin boşa gitmesi önlenir.

Öte yandan hidrojen gazı üretiminde fazla su kullanımı, suyu zaten kıt olan bazı ülkelerde sorun yaratabileceği ileri sürülüyor. Deniz suyundan üretim ise fiyatı artırıyor. Buradan her şeyin bir bedeli olduğu, hidrojen enerjisinin de olumsuz bir karşılığı olabileceği düşünülmalıdır.

Daha önceki yazılarımızda da vurguladığımız gibi bir yandan doğa ve iklim için kuşkusuz daha uygun enerjileri kullanma çabaları sürerken, YE de aşırı artımıyla, ileride milyarlarca hurda panelin, milyonlarca rüzgâr kulesinin yanı sıra, elektroliz tesislerinin, araç bataryalarından, yakıt hücrelerine kadar daha bir dizi çevreyi bozacak hurdalarla gelecek kuşakların uğraşacaklarını da hesaplamalı ve şimdiden bunlara karşı bilimsel yol ve yöntemlerle çözümler aranmalı. Gitgide daha fazla enerji kullanılmasına neden olan, aşırı nüfus artışı, nüfus planlamalarıyla önlenmeli, konfor ve savurganlık azaltılmalı. Ancak bunlar daha çok kişinin yaşam tarzıyla ilgili olduğundan nüfusu 8 milyar kişiyi bulan dünyamızda bunların yapılabilmesi ise, olanaklı gözüküyor.

Sonuç olarak, hidrojen gazı enerjisinin gitgide artarak kullanılması doğa ve iklim için önemli bir katkı sağlayacak ise de gelecekte, enerji kaynağı olarak, ne yazık ki, kurtarıcımız olamayacak.

## **Ek: Birimlerin dönüşümleri**

**Çizelge 2:** Farklı enerji birimleri dönüşüm katsayıları (Soldaki sütundaki birimden ortadakine geçmek için sağdakiyle çarpmak gerekiyor). Altta basınç birimleri bulunuyor

Umrechnungsfaktoren / conversion factors		
Energie / energy		
von / from.....	in / into.....	multiplizieren mit / multiply by:
MJ.....	kWh.....	0.2778
toe.....	kWh.....	11.630
BTU.....	kWh.....	$0.2931 \times 10^{-3}$
kWh.....	MJ.....	3.6
toe.....	MJ.....	41.868
BTU.....	MJ.....	0.001055
kWh.....	BTU.....	3.412
MJ.....	BTU.....	947.9
toe.....	BTU.....	$39.7 \times 10^6$
kWh.....	toe.....	$86.0 \times 10^{-6}$
MJ.....	toe.....	$23.88 \times 10^{-6}$
BTU.....	toe.....	$25.19 \times 10^{-9}$
Druck / pressure		
bar.....	MPa.....	0.1
psi.....	MPa.....	0.006895
MPa.....	psi.....	145
bar.....	psi.....	14.5
MPa.....	bar.....	10
psi.....	bar.....	0.06895

### İlgili kaynaklar

- /1/ <https://www.nrel.gov/research/eds-hydrogen.html#:~:text=Hydrogen%20is%20a%20secondary%20source,%2C%20water%2C%20and%20biomass>
  - /2/ <https://auto.howstuffworks.com/fuel-efficiency/alternative-fuels/fuel-cell.html>
  - /3/ <https://lighthouse.mq.edu.au/article/please-explain/november-2021/please-explain-how-does-hydrogen-power-work>
  - /4/ Almanya'da uzak bölgelere gaz taşınımı yapan FNB Gas Birliği açıklaması
  - /5/ <https://salcos.salzgitter-ag.com/en/index.html>
  - /6/ Almanya ISE Fraunhofer enstitüsü açıklaması
  - /7/ <https://www.rystadenergy.com/landings/energy-transition/energy-transition-solution/hydrogen/>
  - /8/ IEA, 2021 raporu <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>
  - /9/ <https://www.dnv.com/focus-areas/hydrogen/index.html>
  - /10/ Ayrıntılar için TESPAM.org sitesindeki ilgili yazıya bkz.
- Not: Bu yazımız, Herkese Bilim Teknoloji dergisinin portalında 30.07.2022 günü yayımlandı.