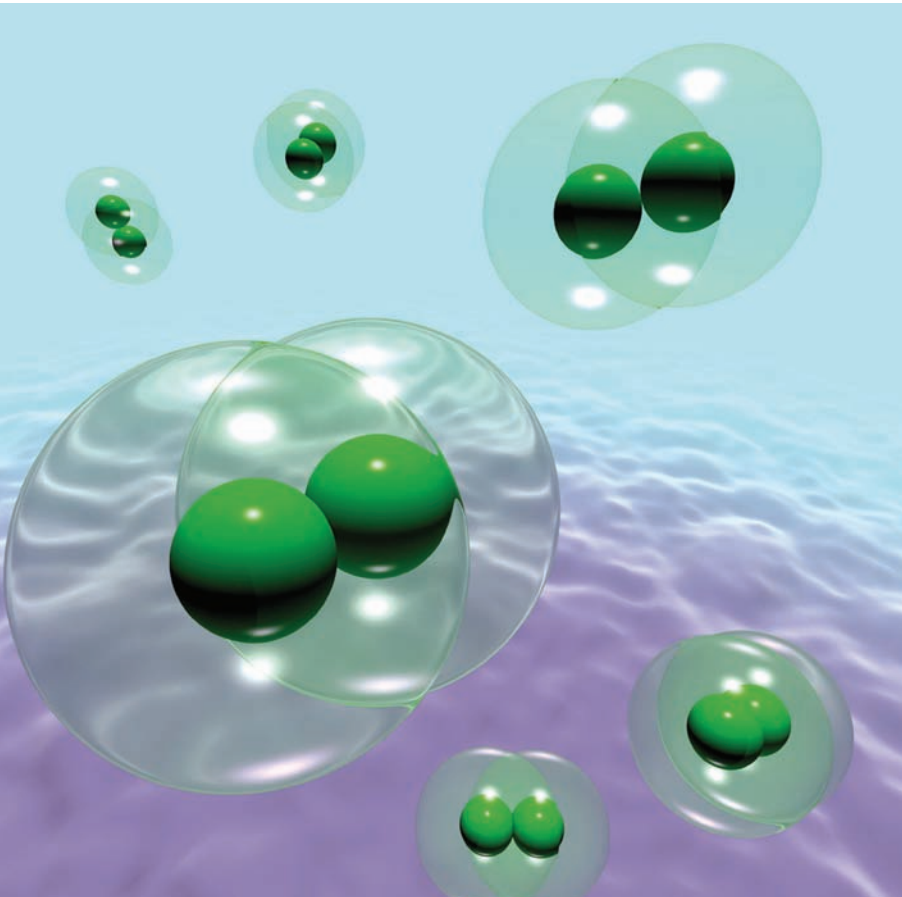


En Bol Element Hidrojen

Şu an sahip olduğumuz enerji kaynaklarının bir gün tükeneceği sık sık dile getiriliyor. Ama acaba durumun ciddiyetinin farkında mıyız? Bizi nasıl bir dünya bekliyor olacak? Araçlarımız nasıl çalışacak ya da evlerimiz nasıl ısınacak ve aydınlanacak? Daha sürdürülebilir bir gelecek için neler yapılıyor, neler yapılmalı? Tüm bu soruların yanıtları aranırken, dünyada gerek çevre kirliliği, iklim değişiklikleri gibi küresel kaygılar, gerekse enerji kaynaklarının giderek azalması ve fiyatlarının artması nedeniyle, enerji teknolojileri alanında hissedilebilir bir değişim ve gelişim süreci yaşanıyor. İnsan refahının ve gelişmişliğin en önemli göstergesi olan enerji tüketimi ve teknolojileri alanında yeni bir dönem bizi bekliyor...



Temsili hidrojen molekülleri

Dünya nüfusundaki ve uygarlık düzeyindeki artışlarla birlikte toplam enerji gereksinimi artıyor ve buna karşın günümüzde kullanılmakta olan enerji kaynakları hızla tükeniyor. İşte tam bu noktada alternatif enerji kaynaklarına duyulan gereksinim kaçınılmaz hale geliyor. Petrol krizinin ve çevre sorunlarının etkisi altında, yakın gelecekte araçlarda kullanılan benzin, mazot gibi petrol kökenli konvansiyonel yakıtların yerini alacak alternatif yakıtların bulunması büyük önem taşıyor.

Bugün yakıt seçiminde, motor yakıtı olma özelliği, çok yönlü kullanım, kullanım verimi, çevresel uygunluk, emniyet ve efektif maliyet ölçütleri göz önüne alınıyor. Bunlara dayalı bir değerlendirme, hidrojenin önemli bir enerji taşıyıcısı olduğunu ortaya çıkarıyor. Fosil yakıtlar yalnızca alevli yanmaya uygunken hidrojen alevli yanmaya, katalitik yanmaya, doğrudan buhar üretimine, kimyasal dönüşüme ve yakıt pili ile elektrik dönüşümüne uygun bir yakıttır.

Peki, nedir hidrojen? Kokusuz, renksiz ve saydam olan, tadı olmayan, evrende en bol bulunan bu element aynı zamanda doğadaki en hafif elementtir. Gözlemlenebilir evrenin kütlege yaklaşık % 75'i hidrojenlerden oluşur. Kalan kısmı ise daha

çok helyumdur. Özellikle genç yıldızlar, yıldızlar arasında bulunan toz ve gaz bulutları büyük miktarlarda hidrojen içerir. Güneşin kütlece yarısından fazlası da hidrojenle oluşur. Hidrojenin birim kütle sinin ısı değeri, petrolünkünden 3,2 kat, doğal gazinkinden ise 2,8 kat fazladır.

Yalnız bir konuyu da hatırlatalım, hidrojen doğada serbest halde bulunmaz. Yalnızca fosil yakıtlar dediğimiz petrol, kömür, doğal gazın ya da suyun içinde yer alır. Uygun teknolojiler kullanılarak bu kaynaklardan hidrojen elde edilir. Endüstriyel hidrojen, hidrokarbon yakıtlar ya da su kullanılarak üretilir. Üretim, kimyasal olarak yapıya bağlı bulunan hidrojenin, çeşitli parçalanma tepkimeleri ile fosil yakıtlardan termokimyasal yolla ya da sudan elektroliz ve benzeri yöntemlerle açığa çıkarılması prensibine dayanır.

Peki elde edilen hidrojen nerelerde kullanılır? Dünyada üretilen hidrojenin yaklaşık olarak % 62'si gübre sanayisinin bir hammadresi olarak kullanılan amonyakın üretiminde, % 24'ü petrol rafinasyonunda ve % 10'u metanol üretiminde kullanılır. Kalan % 4'lük kısım ise metal ve cam sanayisinde, yağ sanayisinde hidrojenasyon tepkimelerini gerçekleştirmek için ve uzay çalışmalarında roket yakıtı olarak kullanılır.

Amonyak üretiminden sonra hidrojenin en fazla kullanıldığı alan, halen petrol rafinasyonu. Rafinasyon işleminde yan ürün olarak açığa çıkan hidrojen ve hidrokarbon yakıtlardan hidrojen üretimi, en önemli iki hidrojen üretim süreci olarak bilinir.

Petrol rafinasyonundan sonra üçüncü en büyük hidrojen tüketimi, metanol üretimi sırasında gerçekleşir. Dünyada üretilen hidrojeninin yaklaşık olarak % 10'u metanol üretiminde kullanılır. Amonyak ve metanol üretimi ile petrol rafinasyonu dışında kalan hidrojen, gaz firmaları tarafından tedarik edilir.

Hidrojen de aslında elektrik gibi bir enerji taşıyıcısı. Halen uzay mekiklerinde kullanılan ve birçok uygulamada enerji üretimi için kullanılmaya başlanan yakıt pilleri, içten yanmalı motorlar, mikro türbinler ve benzeri sistemlerde değerlendirildiğinde, hidrojenden enerji üretilebilir.

Hidrojen alevli yanma özelliği ile içten yanmalı motorlarda, gaz türbinlerinde ve ocaklarda yakıt olarak da kullanılır. Hidrojenin doğrudan buhara dönüşme özelliği, buhar türbinleri uygulamasında kolaylık sağlar. Bu özelliği ile endüstriyel buhar üretimi de kolaylaşır. Hidrojenin katalitik yanma özelliğinden kombilerde, mutfak ocaklarında, su ısıtıcılarında ve sobalarda yararlanılabilir. Hidrojen, yakıt pillerinde elektrokimyasal çevrimle doğrudan elektrik üretiminde de yüksek bir verimle (yakıt pilli tipine bağlı olarak % 40-65) kullanılabilir. Yüksek verimlilikleri ve düşük emisyonları nedeniyle yakıt pillerinin yakın gelecekte ulaşım sektöründe ve elektrik üretiminde geniş bir kullanım alanı bulması bekleniyor.

Türkiye'de ve Dünyada Hidrojen

Peki ülke olarak biz hidrojenden bugüne kadar acaba nasıl yararlandık ve yararlanıyoruz? Ülkemizde de dünyadakine benzer şekilde, hidrojen esas olarak petrol rafinasyonunda, amonyak ve metanol üretiminde kullanılır. Yaklaşık 30 milyon ton petrolü işleyebilmek için gerekli hidrojen, başlıca İzmir, İzmir, Kırıkkale ve Batman rafinerilerinde üretilir. Rafinerilerde kullanılan hidrojen, kısmen ham petrolün işlenmesi için kullanılan dehidrojenasyon ünitelerinde kısmen de doğal gazdan üretilir.

Roketlerde sıvı yakıt olarak hidrojen kullanılır.



Bir hidrojen üretim ve depolama tesisi.

Amonyak üretimi için de önemli miktarda doğal gazdan hidrojen üretimi gerçekleştirilmiş olmasına karşın, artan doğal gaz fiyatları nedeni ile üretime ara verilmiştir. Uluslararası gübre ve amonyak fiyatlarının daha ekonomik olması nedeniyle nihai ürün olarak gübre ve ara girdi olarak amonyak ithal edilir. Birçok sanayi dalında kullanılan metanol sadece ithalat yoluyla temin edilir. Metanol, benzine oktan yükseltici katkı maddesi olarak katılan metil tersiyer bütül eter (MTBE) üretiminde, olefin üretiminde ve formaldehit, asetik asit, organik çözücüler, metil metakrilat, metil amin ve benzeri kimyasalların sentezinde kullanılan önemli bir endüstriyel kimyasaldır. Biodizel üretiminin ana hammaddelerinden biri de primer mono alkollerdir. En fazla kullanılan alkol metanoldür.

Dünyada hidrojen üretimi oldukça geniş ve büyüyen bir endüstri. Günümüzde dünyada her yıl yaklaşık olarak 50 milyon ton hidrojen üretilir. Üretilen hidrojenin petrol cinsinden karşılığı ise yaklaşık olarak 170 milyon ton. Halen üretilen hidrojenin tamamı eğer, gaz türbinleri, gaz motorları, kojenerasyon sistemleri ve benzeri enerji sistemlerinde değerlendirilseydi, dünyanın toplam enerji ihtiyacının yalnızca yaklaşık % 2'si karşılanabilirdi.

Hidrojenin depolanması ve nakledilmesi bugün için oldukça pahalı. Bu nedenle üretimin büyük çoğunluğu bölgesel olarak gerçekleştirilir ve genellikle üretici firma tarafından hemen tüketilir. 2005 yılı itibarıyla, tüm dünyada, bir yıl içerisinde üretilen hidrojenin ekonomik değeri yaklaşık olarak 210 milyar TL'dir.

Gelecekte Hidrojen

Alternatif enerji taşıyıcılarından biri olacağı öngörülen hidrojeni acaba nasıl bir gelecek bekliyor? Önümüzdeki 30-40 yıllık dönemde Çin, Hindistan gibi yükselen ekonomilerin hızla artan talebiyle birlikte, petrolün fiyatının bugünkü varıl başına 50 dolar düzeyinin çok üstüne çıkması bekleniyor. Bu durum karşısında devletler enerji çeşitliliğinin ve güvenliğinin sağlanması için alternatif kaynak arayışına girdiler.

Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin hız kazandığı bu dönemde, geleceğin yakıtı olarak kabul edilen hidrojen, hem devlet bütçelerinde hem de şirketlerin Ar-Ge yatırımlarında önemli bir yer tutmaya başladı. Uluslararası Enerji Ajansı IEA'nın vizyonu, temiz ve sürdürülebilir enerji arzının sağlanmasında, hidrojenin anahtar bir rol üstlenebileceği yönünde.

Peki hidrojen gelecekte nasıl yaygınlaşacak? Hidrojenin yaygınlaşmasını sağlayacak üç unsur, enerji sektörünün ithal petrole bağımlı olması, daha verimli ve düşük maliyetli enerji sağlaması, çevreyi kirlilemeyen temiz kaynak arayışdır. IEA 2013 yılında petrol konusunda arz-talep dengesinin tamamen bozulacağına yönelik tahminlerde bulunuyor. Petrolün bugünkü ve gelecekte öngörülen durumu, ithalat bağımlılığı, fosil yakıtların yarattığı karbondioksit emisyonları ve Kyoto Protokolü'nün emisyonlara getirdiği sınırlamalar doğrultusunda, hidrojen çok önemli bir kaynak olarak nitelendiriliyor. Ancak şu an hidrojenin geleceği, altyapı ve üretim maliyetleri, hükümetlerin destekleyici politikaları ve teşvikler, yeni teknolojilerin toplum ve tüketiciler tarafından kabul görmesi gibi birçok parametreye bağlı. Petrole bağlı enerji sektörünün dönüşümünün sağlanmasında özel sektör kadar, destekleyici hükümet politikalarının da kilit rol oynaması bekleniyor.

Dünyada hidrojen talebine yönelik beklenen gelişmeler şöyle sıralanabilir: ABD'nin Kaliforniya eyaletinde hidrojenli araçları teşvik etmek amacıyla 2010'lu yıllarda hidrojen istasyonlarının yer aldığı bir otoyol ağı kurulması amaçlanıyor, Hibrid araçlarla başlayan dönüşüm sürecinin hidrojen, biyoyakıt veya batarya ile çalışan araçların piyasaya çıkmasıyla tamamlanması öngörülmüyor.

Gelecekte iki yakıtlı araçların (dizel/hidrojen, benzin/hidrojen) otomotiv sektöründe payının artacağı, 2020 sonrası dönemde büyük oranda yakıt pilli araçların sektörde yer alacağı tahmin ediliyor.

Evlerde hidrojen kullanımının 2020 yılından sonra yaygınlaşacağı düşünülüyor. Geleceğe yönelik pazar beklentilerini değerlendiren senaryolara göre 2025 yılında dünya genel enerji tüketiminin yıllık 12-16 milyar ton petrole eşdeğer olması bekleniyor. 2025 ve sonraki dönemde, toplam enerji ihtiyacının % 10-20'sinin hidrojenden karşılanması öngörülmüyor.



Gelecekte hidrojenle çalışan yakıt pillerinin otomobillerde yaygın olarak kullanılması bekleniyor.

Otomotiv sektöründe de hidrojenli araçların pazarda yer alacağı düşünülüyor ve bu konuda yoğun teknoloji geliştirme çalışmaları yapılıyor. Dünyanın önde gelen birçok otomotiv firması hidrojen ile çalışan içten yanmalı motorlu ve yakıt pilli araçlar konusunda çeşitli çalışmalar yürütüyorlar.

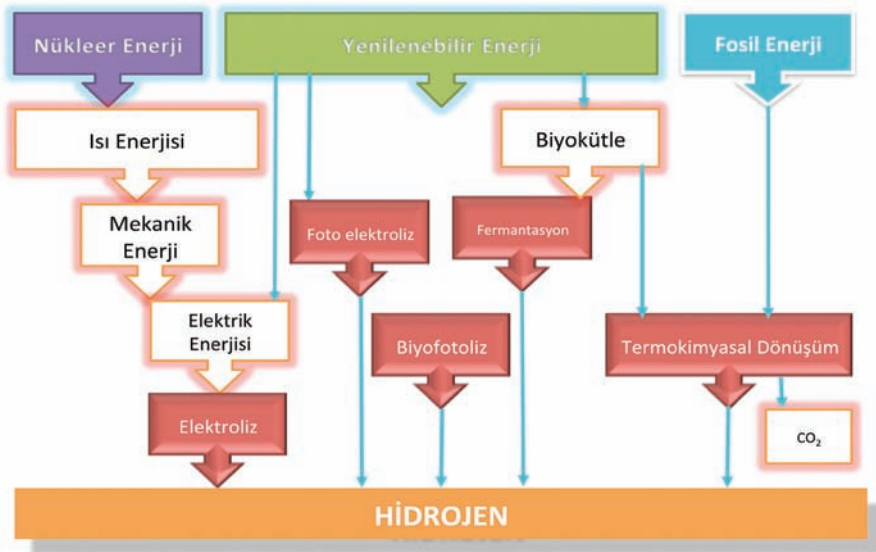
Ticari Hidrojen Üretim Süreçleri

Hidrojenin üretim kaynakları bol ve çeşitlidir. Hidrojen, daha önce de sözünü ettiğimiz gibi fosil yakıtlardan elde edilebildiği gibi, güneş, rüzgâr, hidrolik enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisi kullanılarak, elektroliz yolu ile sudan ve biyokütleden de üretilir. Suyun elektrolizi bilinen bir yöntem olmakla beraber, ekonomik hale getirilmesi konusunda çalışmalar yürütülüyor; benzer şekilde güneş enerjisinden biyoteknolojik yöntemlerle hidrojen üretimi konusunda Ar-Ge çalışmaları devam ediyor.

Bugün ticari olarak üretilen hidrojenin büyük bir bölümü fosil yakıtlardan elde ediliyor. Günümüzde hidrojenin % 48'i doğal gazdan, % 30'u ham petrolden, % 18'i kömürden ve % 4'ü elektroliz yöntemi ile sudan üretiliyor.

Yakıt Pilleri

Yakıt pili teknolojileri, yüksek verimleri ve düşük emisyon değerleri nedeni ile hidrojenin kimyasal enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürüldüğü önemli bir enerji



Hidrojen üretim yöntemleri

Türkiye’de Hidrojen ve Yakıt Pili Araştırmaları

Enerji kaynakları ve teknolojileri alanında büyük ölçüde dışa bağımlı olan ülkemiz, fırsatları iyi değerlendirir ve değişime ayak uydurabilirse büyük bir katma değer sağlanacaktır.

Türkiye’de özellikle üniversitelerde ve TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM) Gebze yerleşkesindeki enstitülerde yapılan araştırmalarla, doğrudan kullanıcıya yönelik ürünlerin geliştirilmesini hedefleyen çok önemli çalışmalar başlatılmıştır.

Bu noktadan hareketle, TÜBİTAK MAM bünyesinde faaliyet gösteren Enerji Enstitüsü, “enerji teknolojileri alanında, Türkiye’nin sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda, çağdaş bilgi ve teknolojik yöntemlerle araştırma ve geliştirme yapmak” misyonunu üstlenmiş ve “enerji teknolojileri alanındaki uygulamalı Ar-Ge çalışmaları ile tanınan öncü ve yetkin bir araştırma merkezi olmayı” hedeflemiştir. Bu kapsamda Enstitü, aşağıdaki alanlarda faaliyetlerini sürdürüyor:

- . Hidrojen teknolojileri
- . Yakıt pili teknolojileri
- . Kömür ve biyokütle yakma ve gazlaştırma teknolojileri
- . Yakıt teknolojileri
- . Güç elektroniği teknolojileri
- . Araç teknolojileri
- . Batarya teknolojileri

TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü bahsedilen bu çalışma alanlarındaki araştırmalarını ulusal ve uluslararası projeler kapsamında ve laboratuvar ortamında uygulamalı olarak gerçekleştiriyor. Projeler ilk örnek ürünlerle sonuçlandırılıyor ve geliştirilen Ar-Ge ürünleri için patent alınıp sonuçları ticari ürüne dönüştürme süreci başlatılıyor. Bunların yanı sıra adı geçen çalışma alanlarının her birini birer mükemmeliyet merkezi haline getirme yolunda altyapı projeleri geliştiriyor.

Enerji Enstitüsü’nde hidrokarbon temelli yakıtlardan (özellikle doğal gaz ve dizel) termokimyasal yöntemlerle ve yenilenebilir enerji kaynaklarından hidrojen üretimi ve hidrojen saflaştırma sistemleri için süreç tasarımı ve ilk örnek imalatı, hidrojen zengin gaz karışımları ve gaz hidrokarbon yakıtların analizleri, kimyasal süreç simülasyonu ve modelleme konularında faaliyetler gerçekleştiriliyor. Bu kapsamda 2010 yılında tamamlanacak olan Türkiye Araştırma Alanı TARAL “5 kW (kilowatt) evsel yakıt pilli mikro kojenerasyon” proje-

si kapsamında, doğal gaz ve benzeri yakıtlar kullanılarak, bütünleşmiş bir ilk örnek geliştirilmesi çalışmaları devam ediyor. Yakın gelecekte, daha yüksek güç üretimi tesisleri için gerekli, hidrojen üretim süreçlerinin kurulumu ve bütünleştirilmesi çalışmalarının gerçekleştirilmesi planlanıyor.



TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü Hidrojen ve Yakıt Pili Laboratuvarları

TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü, Türkiye’nin hem sivil hem askeri alanda ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla, Ar-Ge faaliyetleri yürütme kabiliyetine sahip ilk hidrojen ve yakıt pili laboratuvarlarında çalışmalarını sürdürüyor. Bu kapsamda Enstitü, Türkiye’nin gereksinimleri, müşteri kurum ve kuruluş talepleri doğrultusunda ilk ürün seviyesine kadar çalışıyor. Laboratuvar altyapıları kullanılarak ilgili sektörlerle hizmet veriliyor.

TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü Yakıt Pili Grubu’nda düşük sıcaklık yakıt pillerinden polimer elektrolit membranlı yakıt pili (PEMYP), doğrudan metanol yakıt pili (DMYP), doğrudan sodyum borhidür yakıt pili (DSBHYP), yüksek sıcaklık yakıt pillerinden ise katı oksitli yakıt pili (KOYP) konularında araştırma çalışmaları yapılıyor.

Üniversitelerimizde de hidrojen alanında önemli çalışmalar gerçekleştiriliyor. Özellikle biyolojik yol ile (enzimler ile) hidrojen eldesi, kömürden hidrojen üretimi, hidrojen depolama (sodyum borhidür, metal hidrür, karbon nanotüpler), elektrolizör teknolojisi, katı oksit yakıt pili, polimer elektrolit yakıt pili ve doğrudan metanol yakıt pili alanlarında önemli çalışmalar yapılıyor.

dönüşüm ve üretim teknolojisi olarak bilinir. Geliştirilmekte olan yakıt pilli mikro kojenerasyon sistemlerinin temelde, hidrojen üretim sistemi, yakıcı, enerji koşullandırma sistemi ve elektrik üretiminde kullanılmak üzere yakıt pilinden oluştuğu görülmektedir. Teknoloji odaklı olarak, daha çok yüksek sıcaklıklarda (650-850 °C) çalışan ergimiş karbonatlı ya-

kıt pilleri (EKYP) ve katı oksit yakıt pilleri (KOYP) ve düşük sıcaklıklarda (yaklaşık 80-200 °C) görev yapan PEM tipi yakıt pilleri üzerinde çalışılıyor. Hidrojen bir enerji taşıyıcısı olarak bu teknolojiler sayesinde önemini giderek artırıyor. Ancak gerçek anlamda hidrojen ekonomisine geçiş için stratejik ve teknolojik anlamda halen çözümlenmesi gereken önemli sorunlar var.

Kaynaklar

- Elvers, B., Hawkins, S., Ravenscroft, M., Schulz, G. (ed.), *Ullmann’s Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Cilt A13, VHS, s. 311, 1989.
- Bade, W., Parekh, U. N., Raman, V. S., Seide, A. (ed.), *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, Beşinci baskı, Cilt 13, John Wiley & Sons, Inc., s. 759-808, s. 837-866, 2005.
- Spath, P. L., Mann, M. K., “Life Cycle Assessment of Hydrogen Production via Natural Gas Steam Reforming”, NREL National Renewable Energy Laboratory, 2001 <http://www.nrel.gov/docs/fy01osti/27637.pdf>.