

AYLIK POPÜLER BİLİM DERGİSİ

BİLİM ve TEKNİK



TÜBİTAK

YENİ TEKNOLOJİLER

HİDROJENLİ GELECEK

EKİM 2006 SAYISININ ÜCRETSİZ EKİDİR

HAZIRLAYANLAR : Prof. Dr. Salim Çıracı, Yrd. Doç. Dr. Emrah Özensoy, Engin Durgun
Bilkent Üniversitesi

HİDROJEN EKONOMİSİ YENİ GELECEK

Hızla artan enerji talebi karşısında yerkünün fosil yakıtlarına dayalı enerji kaynaklarının bir bölümünün yaklaşık bir insan ömrüne eşdeğer bir süre içinde tükenmesi bekleniyor. Fosil yakıtların tüketiminin neden olduğu zehirli atıklar ve sera etkisi de global ısınmaya neden olmakta, çevreyi tehdit ediyor. Bir gün gelip, bu tehlikeler karşısında çaresiz kalmamak için, fosil yakıtların yerini alabilecek yeni yakıtlar araştırılmakta. Yaklaşık 130 yıl önce, kömür rezervlerinin bir gün tükeneceğinin farkında olan ve hidrojenin elektroliz yoluyla sudan elde edilebileceğini bilen Jules Verne, gelecekte suyun kömürün yerini alacağını söylemişti. Günümüzde de biliminsanları hidrojeni geleceğin temiz ve yenilenebilir yakıt kaynağı olarak tanımlıyorlar.

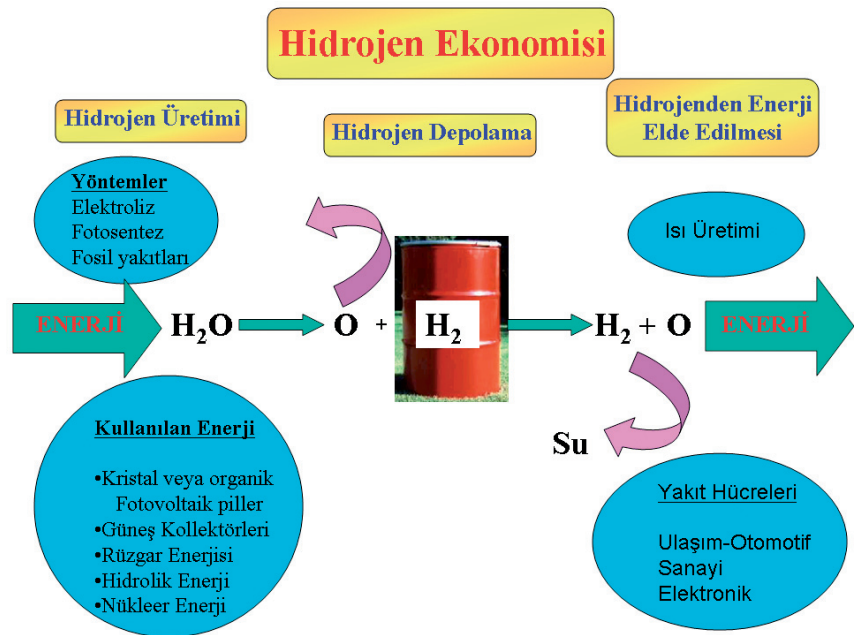
Yerküremizde önce kömür, daha sonra petrol ve doğal gaz yüzyıllar boyu sanayi ve taşıma sektörünün gereksinimi olan enerjiyi sağlayıp, adeta uygarlığın itici gücü oldular. Günümüzde bütün dünyanın yıllık enerji gereksinimi yaklaşık 400-420 Q (1 Q = 2,5 x 10¹⁴ kilokalori) olarak tahmin edilmektedir. Hızla artan talep karşısında, yaklaşık 30 yıl sonra fosil yakıtları tüketiminin ikiye katlanacağı beklenmektedir. Önce petrol rezervlerinin, 40-50 yıl sonra da doğal gaz rezervlerinin tükeneceği, daha bol bulunan kömür rezervlerinin ise bir kaç yüzyıl daha dayanacağı bilinmektedir. Bu süreçte belli ülkelerin elinde veya kontrolünde bulunan petrol ve doğal gaz rezervlerine bir çok ülkenin bağımlı olması, petrolü stratejik bir madde konumuna getirmiştir. Diğer taraftan artan yakıt tüketimi sonucu çıkan atıklar, global ısınmaya ve iklimlerin olumsuz yönde etkilenmesine neden olmaktadır. Günün birinde petrol rezervlerinin sonuna yaklaşıp sanayinin aniden güçsüz kalması, veya iklimlerin hızla değişip sağlığını tehdit eder hale gelmesi düşüncesi, şimdiden enerjide yeni seçenekleri gündeme getirmiştir. Son zamanlarda Çin ve Hindistan gibi ülkelerde petrol tüketiminin hızla artması, petrol fiyatlarını hızla yukarı çekmiş, gelişmiş ekonomileri olumsuz etkilemeye başlamış

tır. Alarm durumuna geçen gelişmiş ülkeler yeni enerji türleri üzerine arayışlarını hızlandırıp, özellikle hidrojen ekonomisi başlığı altında yapılacak araştırmalara milyarlarca dolar kaynak ayırmaya başlamıştır.

Jules Verne'in Önsezisi

Hidrojen, çeşitli yenilenebilir enerji kaynak seçenekleri arasında uzunca

süredir önemli bir konuma sahip bulunmaktaydı. Yaklaşık 130 yıl önce, kömür rezervlerinin bir gün tükeneceğinin farkında olan ve hidrojenin elektroliz yoluyla sudan elde edilebileceğini bilen Jules Verne, suyun geleceğin kömürü olacağını söylemişti. Hidrojenin enerji kaynağı olarak önemi daha sonra da vurgulandı. Bildiğimiz en küçük ve en basit atom olan hidrojen, Büyük Patlama'dan sonra evren soğu-



Hidrojen ekonomisinin şematik olarak tanımlanması

ONOMİSİNDE LIŞMELER

maya başlarken ortaya çıkan ilk element olmuştur. Evrende bulunan atomların yaklaşık %90'ını oluşturan hidrojen, fosil yakıtlarının da kayda değer bir bölümünü oluşturmaktadır. Diğer atomlarla ve özellikle oksijenle elektron alışverişi sonucu kolaylıkla kimyasal bağ yaparak ortama enerji verir. Bu bakımdan hidrojen doğamızda serbest halde bulunabilseydi, eşsiz bir enerji kaynağı olabilirdi. Ama, hidrojeni bileşenlerinden ayırıp serbest hale getirmenin bedeli şimdilik ondan elde edilecek enerjiden daha fazladır. Bu bağlamda hidrojen, bir enerji kaynağı olarak görülmemeli; elektrik gibi bir enerji taşıyıcısı olarak nitelendirilmelidir. Şimdi en önemli soru, yıllar önce yaşayan Jules Verne'nin öngörüsünün ne derecede gerçekleşebileceği.

Hidrojenin kısa süre içinde fosil yakıtların yerini alma olasılığı bulunmaktadır. Çünkü fosil yakıt yerine kullanılacak herhangi bir tür yakıtın, hem maliyet hem de üretim miktarları olarak fosil yakıtla rekabet edebilmesi gerekmektedir. Çok sayıda araştırma çalışması, hidrojenin yakıt olarak kullanılmasının pek kolay olmayacağını, çözülmesi gereken zor bilimsel ve teknolojik problemlerin olduğunu göstermektedir. Bu yazımızda hidrojen ekonomisini oluşturan ana süreçleri ve son yıllarda kaydedilen gelişmeleri ayrıntılı bir şekilde inceleyip, hidrojenin bir enerji taşıyıcısı olarak kullanılmasındaki sorunları tartışacağız. Bu yazının bir diğer amacı da Türkiye'de hidrojen ekonomisi konusunda araştırma politikalarının oluşturulmasına katkıda bulunmaktır.

Hidrojen ekonomisinin birbirini izleyen başlıca üç unsuru vardır. Bunlar: 1) Serbest hidrojenin üretilmesi. 2) Hidrojenin depolanması ve dağıtımı. 3) Hidrojenden enerji elde edilmesi. Şimdi bu süreçleri daha yakından inceleyelim:

Hidrojenin Üretilmesi

Hidrojenin ucuz ve büyük miktarlarda üretilmesi ve üretimin sürdürülebilir olması, hidrojen ekonomisinin başlıca koşuludur. ABD'de yılda 9 megaton (milyon ton) civarında hidrojen üretilmektedir. Buna karşın ABD'nin bütün taşıma filosu hidrojen yakıt hücreleri ile çalışsa; 150 megatonun üzerinde hidrojene gereksinim olacaktı. Çok sayıda araştırmacı bu kadar büyük miktarlarda hidrojenin uygun maliyetlerle nasıl üretileceği sorusuna yanıt aramaktadır.

Hidrojenin üretiminde çeşitli yöntemler bilinmektedir. Aslında doğa, en önemli ve en verimli bir hidrojen üreticisidir. Bitkiler, fotosentez yoluyla CO₂ ve suyu güneş ışığının yardımıyla önce hidrojen ve oksijene dönüştürmekte, hidrojenden karbonhidratları üretirken oksijeni de diğer canlıların solunması için atmosfere salmaktadır. Bu süreç milyonlarca yıldır kesintisiz olarak işlemektedir. Tek hücreli organizmalar ve bakteriler de normal sıcaklıklarda çeşitli moleküler süreçler yardımı ile hidrojen elde etmektedirler. Bitkilerde bulunan bazı geçiş ele-



Metan, buhar yardımıyla CO₂ ve H₂ moleküllerine ayrıştırılabilmektedir.

mentlerinin ve oksitlerinin atom toprakları, suyu hidrojen ve oksijene ayırabilmektedir. Benzer şekilde bakterilerde bulunan bazı enzimler de karmaşık elektronik yapılarıyla proton ve elektrondan hidrojen molekülünün oluşmasına aracılık etmektedirler. Nanometre (milimetrenin milyarda biri) boyutlarında metal-oksit topraklarının suyu ayrıştırabilme veya elektron ve protondan H₂ molekülünü oluşturabilme yetenekleri, araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Canlılardan esinlenerek etkin hidrojen üretimini geliştirmek amacı ile kataliz işlevini görebilecek yeni ve işlevsel nanoyapılar tasarlanmaktadır. Bu tasarımlarda kuantum mekaniğine dayalı reaksiyon hesapları yapılmakta, nanoyapıların atom kompozisyonu ve büyüklük ilişkilerine dayalı yeni özellikleri saptanarak çeşitli fosil ve biyolojik maddelerden hidrojeni ayrıştırabilecek katalizörler ortaya çıkarılmaktadır. Son zamanlarda MoS₂ partiküllerinin hidrojen üretiminde platin yerine ucuz katalizör olarak kullanılabilmesi gösterilmiştir. Katalizör tasarımı fizik ve kimyada güncel bir araştırma konusunu oluşturmaktadır ve bu alanda yapılacak araştırmalar hidrojen üretiminde çığır açıcı sonuçlara götürebilecektir.

Günümüzde hidrojen üretimi en çok doğal gazın işlenmesiyle yapılmaktadır. CH₄ + 2H₂O → CO₂ + 4H₂ kimyasal reaksiyonu uyarınca, sisteme sokulan enerji ve nikel bazlı katalizörler yardımı ile metan ve su parçalanarak dört molekül hidrojen ve karbondioksit dönüşmektedir. Ancak, bu yöntemde fosil yakıt kullanıldığından, üretimin sürdürülebilirliği tehlikeye girilmekte, dışarı atılan CO₂ nedeniyle çevre ve iklimlere verilen zarar devam etmektedir. Kaldı ki, bu en ucuz yöntemle üretilen hidrojenin maliyeti hala benzininkinden dört misli daha pa-



Rüzgar enerjisinden elde edilen elektrik, suyun elektrolizinde kullanılarak hidrojen üretilebilecek.

halıdır. Büyük rezervelere sahip kömürden hidrojen üretiminin de benzer sorunları mevcuttur.

Bu durumda 'sonsuz' güneş enerjisi yardımıyla, her yerde bulunan suyu ayrıştırarak hidrojen elde edilmesi en temiz ve sürdürülebilir yol olarak görülmektedir. İlk akla gelen ve üzerinde durulması gereken yöntem, güneş enerjisinin önce yarı iletken kristallere dayalı güneş hücrelerinden yaklaşık %30 verimle elektrik enerjisine çevrilmesidir. Aslında güneş enerjisi açısından bir sorun bulunmamakla birlikte, bu ilk adım oldukça pahalı güneş panellerinin kullanılmasını gerektirmektedir. Hidrojen üretiminde ikinci adım ise elde edilen elektrik enerjisi kullanılarak elektroliz yoluyla suyun oksijen ve hidrojene ayrıştırılmasıdır. Elektroliz işleminde erişilebilecek en yüksek verim, yaklaşık %80 olarak gerçekleşirken, bu işlemi daha yüksek sıcaklıkta gerçekleştirmek yoluyla elektrik sarfiyatı düşürülebilir. Ancak, bunun için jeotermal enerji gibi kullanıma hazır bir enerjiye gereksinim vardır. Yukarıda değinilen süreçlerde bütün verimler hesaba katıldığında 4-8 bin km² güneş panelinden ülkemizin bütün enerji ihtiyacı karşılanabilecektir. Güneş enerjisinin verimli kullanılması açısından bu süreç, tarım yoluyla elde edilen biyolojik ürünlerin yakıtla dönüştürülmesine kıyasla neredeyse on misli daha verimlidir. Ancak, güneş panellerinin oldukça yüksek maliyeti karşımıza en önemli sorun olarak çıkmaktadır. Bu durumda daha düşük maliyetli organik güneş pillerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda yeni organik yarıiletkenlerin geliştirilmesi güncel bir araştırma konusu olmuştur.

Yukarıda özetlenen iki ardışık sürecin nanoölçekli tek bir süreç içinde bir-

leşerek basitleşmesi ve toplam verimin artması da olası bulunmaktadır. Güneşin fotonları soğurularak önce yerel elektron-deşik (kovuk) çiftleri yaratılmakta; daha sonra elektrokimyasal etkilerle su molekülü, hidrojen ve oksijene ayrıştırılmaktadır. Şimdi bu yöntemle laboratuvarlarda %10 civarında verim elde edilebilmektedir. Nanoyapılarda fotokimya etkileri daha iyi anlaşıldığında bu verim daha artırılabilecektir. Ayrıca, sıvı ortamlara dayanıklı ve band aralığı güneş ışınlarını soğurmayaya elverişli yarı iletkenlerin geliştirilmesi bu yöntemin başarısı için kritik bir önem taşımaktadır.

Güneş enerjisinin hidrojen üretiminde kullanımında termokimyasal yöntem gibi doğrudan yöntemler de kullanılabilir. Güneş kolektörlerinde çok yüksek sıcaklıklara çıkıldığında, su termokimyasal süreçlerde doğrudan doğruya parçalanabilmektedir. Reaksiyon kinetiği, belli sıcaklıkta etkin olabilen katalizörler yardımı ile hızlanabilmekte; su, hidrojen ve oksijen moleküllerine ayrılmaktadır. Hidrojen ve oksijeni karışımdan hızla ayırabilecek ince zarların tasarlanması ve gerçekleştirilmesi bu alanda önemli araştırma konularını oluşturmaktadır. Bazı durumlarda ısı enerjisi olarak güneş kolektörleri yerine nükleer enerji de kullanılabilir. Ancak nükleer enerjinin de sürdürülebilirliği olası değildir.

ABD'de sanayi için belirlenen tarife-den elektrik kullanarak doğrudan elektroliz yoluyla 1 kg hidrojen, 2-4 dolara üretilebilmektedir. Doğrudan elektroliz için gerekli elektrik enerjisi rüzgar veya hidrolik santrallerden sağlanabilir. Sonuç olarak, şu anda hangi yöntemle üretilirse üretilsin gerek maliyet ve gerekse miktar açısından



Hidrojenin gaz halinde veya sıvılaştırılmış şekilde çok yüksek basınca dayanıklı özel depolarda tutulabilmektedir.

dan hidrojen, fosil yakıtlarla henüz rekabet edecek seviyeden uzaktır.

Hidrojenin Depolanması

Bir enerji taşıyıcısı olan hidrojen basınçlı tüplerde gaz halinde veya sıvılaştırılmış olarak depolanabilir. Ancak, bir kg hidrojen aynı ağırlıkta benzine göre yaklaşık üç misli daha fazla enerji taşımaya karşın bu tür depolamalar pratik uygulamalar için uygun değildir.

Bir depo benzinle 400-600 km yol kateden bir binek arabası, yakıt hücresi ile çalışsaydı aynı yol için kat kat büyük hidrojen deposu gerekirdi. Sıvılaştırarak depolamalarda hidrojenden elde edilecek enerjinin %40 kadarı daha sıvılaştırma sırasında harcanmaktadır. Hidrojeni depolayan ekipmanın ağırlığı da hesaba katılınca enerji yoğunluğu açısından sıvılaştırılmış hidrojen, benzine göre bile düşük bir enerji yoğunluğuna sahip bulunmaktadır. Ayrıca hidrojenin basınçlı gaz veya sıvılaştırılmış olarak taşınması esnasında ciddi emniyet sorunları bulunmaktadır. Kısaca, gelecek uygulamalarda hidrojenin verimli ve emniyetli bir şekilde depolanması, hidrojen ekonomisinin önünde çözülmesi gereken önemli bir problemidir.

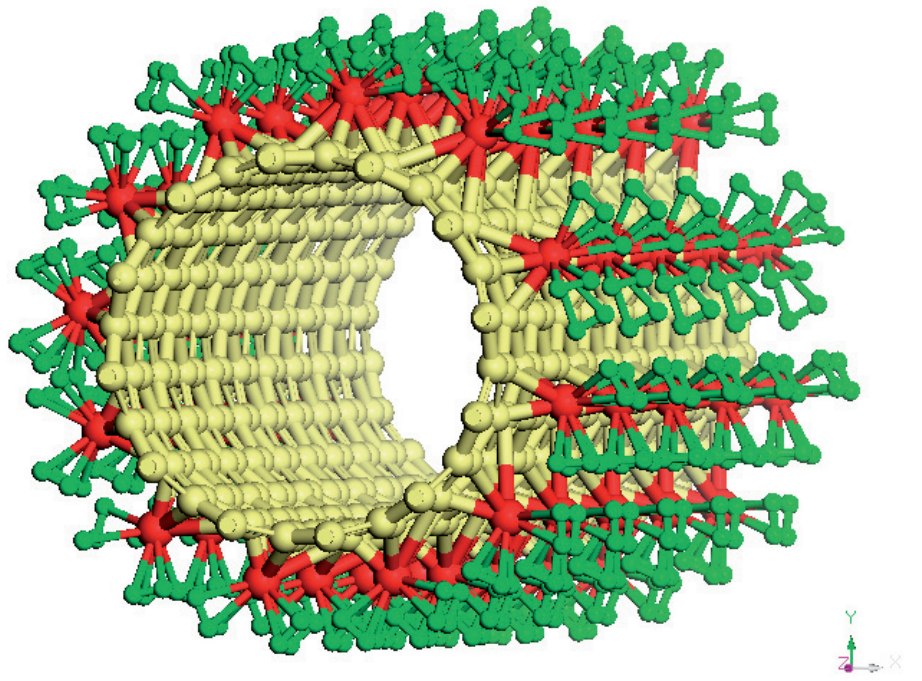
Hidrojenin lityum, karbon ve azot gibi hafif elementlerle birleştirilerek emniyetli bir şekilde depolanıp taşınması, iyi bir seçenek olarak görülmektedir. Örnek olarak, metanol ve oktan gibi yüksek enerji ve hacim yoğunluğuna sahip olan yakıtlar, yerleşik tesislerde hidrojen depolamada kullanılmaktadır. Yüksek depolama kapasitesi, lityum gibi hafif elementlerin hidrojen ile oluşturdukları kuvvetli kimyasal bağlar sayesinde gerçekleşmektedir. Hidrojenle bağ yapan hafif elementlerin LiBH₄ gibi kararlı bileşenleri de mevcuttur. Ancak, bu durumda hidrojenin çevrimi yavaşlamaktadır. Yüksek hacim ve ağırlık (%20) yoğunluklarında hidrojen depolayabilen sodyum bor hidrür (NaBH₄), kullanım için hidrojeni ancak 300°C sıcaklıkta ortama bırakabilmektedir. Ayrıca, hidrojeni alınan bu bileşik aynı amaç için bir daha kullanılamamaktadır. Bor içeren NaAlBH₄ ve LiBH₄ benzer özellikler göstermektedir. Çok geniş bor rezervlerine sahip olan ülkemiz, 'borat' türü hidrojen de-

polayan maddelere dayalı hidrojen ekonomisi için oldukça şanslı bir konumdadır. NaAlH_4 içine %2 titanyum katarak elde edilen maddeyi geri dönüşümlü ve çok çevrimli kullanıma elverişli duruma getirmek için aktif araştırmalar sürdürülmektedir. Benzer şekilde NaAlBH_4 içine titanyumoksit (TiO_2) ekleyerek kuvvetli hidrojen bağları zayıflatılarak reaksiyon kinetiği hızlandırılmaktadır.

Hızlı bir çevrim için hızlı kinetik ve kısa difüzyon mesafeleri gerekmektedir. Bu koşullar, hidrojen molekülünün zayıf bağ yapıları ile yüzeylere soğurulması ile sağlanmaktadır. Bu durumda da yüzeyin hacime oranı yüksek olan yapılar tercih edilmektedir. Karbon nanotüp hatatları, C_{60} , grafit, polimerler, atom topakları ve MOF (metal-organik karkas), bu kapsamda ümit veren ve üzerinde çalışmakta olan yapılardır. Bu nanoyapılar katkı atomları ile işlevsel hale getirilmekte, hidrojen tutma özellikleri artırılmaktadır. Örnek olarak karbon nanotüp üzerine soğurulan her bir vanadyum atomu, 5 H_2 molekülünü tutabilmektedir. V - H_2 bağı zayıf olduğundan hidrojen oda sıcaklığının üzerinde kolaylıkla bırakılıp serbest halde kullanıma sunulmaktadır. Nanobilim sayesinde teknolojinin gereksinimlerine göre yeni yapılar veya katalizörler tasarlama yeteneğimiz, verimli hidrojen depolamada seçeneklerimizi artırmaktadır.

UNAM - Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi'nde Bilimsel Çalışmalar:

Nanobilim ve nanoteknolojinin çeşitli alanlarında ulusal bir mükemmeliyet merkezi yaratmak üzere kurulan UNAM'da hidrojenin depolanması konusunda aktif araştırmalar yapılmaktadır. Bu araştırmalar, boyut ve büyüklük etkileri sonucu olağanüstü özellikler sergileyen nanoyapılarda hidrojen molekülünün oda sıcaklığında yüksek ağırlık ve hacim yoğunluklarında depolanmasını hedeflemektedir. Bunun için yüzey-hacim oranı yüksek olan yapılar kullanılmaktadır. Böyle bir özellik için karbon nanotüpler ve C_{60} molekül ilk akla gelmektedir. UNAM 'da

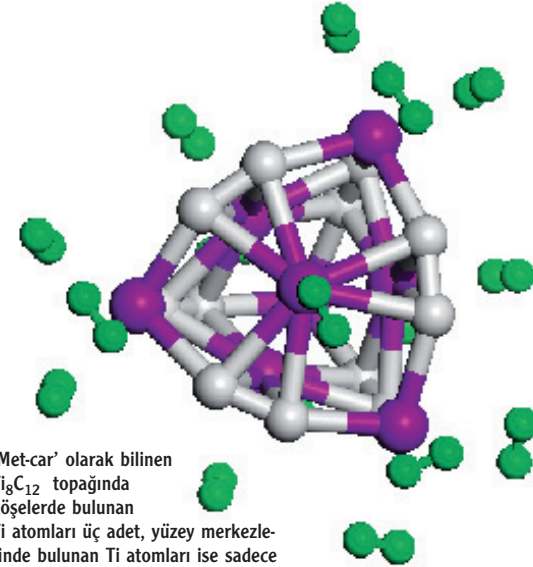


Karbon nanotüpü titanyum (kırmızı) atomu ile düzgün bir şekilde kapladıktan sonra soğurulan her Titanyum atomu dört H_2 molekülünü oda sıcaklığında tutabilmektedir. (Sarı, kırmızı ve yeşil toplar sırası ile karbon, titanyum ve hidrojen atomlarını göstermektedir.)

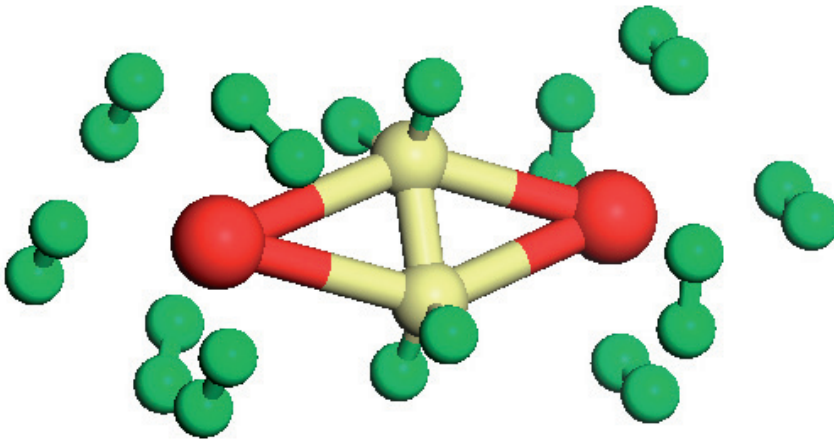
yapılan kuantum mekaniğine dayalı hesaplar, karbon bazlı bu yapılarla hidrojen molekülünün arasında çok zayıf bir kimyasal etkileşme olduğunu ve molekülün yüzeye daha çok zayıf Van der Waals kuvvetleri yardımı ile fiziksel bağ yaptığını göstermiştir. Ancak yüzey geçiş elementleri platin (Pt), paladyum (Pd) ile kaplanıp karbon nanotüp işlevsel hale getirilince, yüzeydeki atomlar hidrojen molekülünü parçalayabilmekte ya da üç molekülü zayıf bağlarla kendine bağlayabilmektedir. Karbon nanotüplerin titanyum gibi atomlarla kaplanıp işlevsel hale getirilmesi daha da ilginç sonuçlara yol açmaktadır: Bilindiği kadarıyla sadece Titanyum atomları karbon nanotüp ile güçlü kimyasal bağ yaparak yüzeyi düzgün bir şekilde kaplayabilmektedir. Yüzeye bağlı her titanyum atomu ise karbon-titanyum bağından hidrojen molekülüne az miktarda elektron aktararak etrafına 4 H_2 molekülünü bağlayabilmektedirler. Bu şekilde tüp üzerine depolanan hidrojenin toplam ağırlığa oranı %8 değerine ulaştığından, etkin depolama için saptanan %6 oranının üzerine çıkmıştır. Ayrıca, tüpün iç çeperlerine de soğurulan Ti benzer kapasitede H_2 molekülü tutabileceğinden ağırlık yoğunluğu daha da artmaktadır. Bu yapının diğer önemli özelliği ise yarım elektron volt civarındaki bağlanma enerjileri ile bağlanan moleküllerin oda sıcaklığında kararlı bir yapı oluştururken sıcaklık yükselince tüpten birer birer kopmaları. Yüzeyde difüzyon uzunlukları pek fazla olmadığından reaksiyon hızlarının da oldukça

elverişli olması beklenmektedir. Kuantum mekaniğine dayalı olarak yapılan hesaplardan elde edilen sonuçlar, titanyum atomunun olağanüstü özelliklerini ortaya çıkarmış, etkin hidrojen depolamada yeni nanomalzemelerin tasarlanmasına yol açmıştır. Nitekim, C_{60} molekülüne ve grafit yüzeyine bağlanan titanyum atomu karbon nanotüplere benzer özellikler sergilemektedir. Kore'de araştırma grupları titanyum ile işlevsel hale getirilen bazı karbon bazlı polimerlerin hidrojen depolamada kullanılabileceğini göstermiştir.

UNAM'da TÜBİTAK desteği ile sürdürülen proje çalışmalarında Ti_8C_{12} topaklarının hidrojen tutma kabiliyeti incelenmiş ve oldukça iyimser sonuçlar



'Met-car' olarak bilinen Ti_8C_{12} topağında köşelerde bulunan Ti atomları üç adet, yüzey merkezlerinde bulunan Ti atomları ise sadece bir adet hidrojen molekülü tutmaktadır. (Gri, mor ve yeşil toplar sırası ile karbon, titanyum ve hidrojen atomlarını göstermektedir.)



Ti atomları ile işlevsel hale getirilen C_2H_4 10 adet H_2 tutabilmektedir. (Sarı, kırmızı ve yeşil toplar sırası ile karbon, titanyum ve hidrojen atomlarını göstermektedir.)

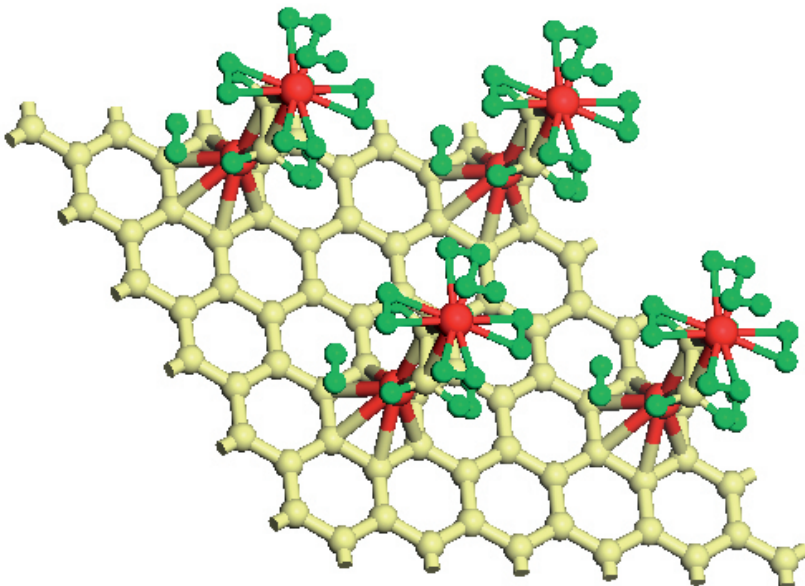
elde edilmiştir. En önemlisi, etilen molekülüne soğurulan 2 adet titanyum atomunun, toplam 10 adet H_2 molekülü tuttuğu ve bunun sonucu, hidrojen depolamada ağırlık yoğunluğunun yaklaşık %15 değerine çıkabileceği gösterilmiştir. Böylece, hidrojen depolamada küçük moleküllerin de çok önemli bir seçenek oluşturduğu görülmüştür.

Kuramsal yollardan elde edilen ve uluslararası çevrelerde büyük ilgi çeken bu araştırmaların ışığı altında, UNAM'da hidrojen üretimi ve depolanması konusunda yoğun deneysel ve kuramsal araştırmalar yapmak üzere yeni projeler üretilmektedir. Bu projelerin devreye girmesi ile ülkemizde hidrojen ekonomisi konusunda çalışmaların ve kurumlararası işbirliğinin artması beklenmektedir. Ayrıca, günümüzün bu önemli araştırma konusunda uzmanların yetişmesi ve sanayi sektöründen ba-

zı şirketlerin yatırımlarının da konuya çekilmesi sağlanacaktır.

Serbest Hidrojeni Nasıl Kullanabiliriz?

Hidrojen depolamada son yıllarda kaydedilen bazı gelişmeler, hidrojen ekonomisi için beklentileri kuvvetlendirmiştir. Serbest halde bulunan hidrojen, doğrudan yakılarak ısı enerjisi elde edilir. Isı enerjisi, termik santrallerde olduğu gibi yerleşik santrallerde elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Bir başka yol, içten yanmalı benzin ve dizel motorlarında, hatta jet motorlarında yakıt olarak kullanılmasıdır. Ancak, benzinli motora göre üç kat, dizel motora göre 1,5 kat daha verimli olan yakıt hücreleri varken, hidrojenin yakılması pek ekonomik olmamaktadır. Dolayısıyla bugün için motorlara göre



Kuantum mekaniği kullanılarak yapılan hesaplar grafit atom tabakası üzerine düzgün olarak bağlanan titanyum ile işlevselleştirilmiş etilenin yüksek ağırlık yoğunluğunda hidrojen molekülü depolayabileceğini gösteriyor. (Sarı toplardan oluşan bal peteği grafitin tek atom tabakasını, kırmızı toplar titanyum ve yeşil toplar hidrojen atomlarını gösteriyor.)

çok pahalı olan yakıt hücrelerinin geliştirilmesi, daha mantıklı bir yol olarak görünüyor. Böylece taşıtlarda hidrojenin kullanılması sağlanarak şehirler zararlı egzoz gazlarından bir an önce kurtarılabilir. Çeşitli tip yakıt hücrelerinin maliyetlerinin düşürülmesi için temel araştırmaların, yeni katalizörlere ve malzeme tasarımlarına yoğunlaşması gerekmektedir. Bu arada bir çok mühendislik problemi de çözümlenmektedir.

Sonuç

Hidrojen ekonomisinin üç önemli unsurunu sorunları ile tartıştık. Hidrojenin fosil yakıtlarının yerini alabilmesi için önemli engellerin aşılması gerekmektedir. Ancak son zamanlarda elde edilen bilimsel sonuçlar, bundan 2-3 yıl öncesine göre daha ümitli olmamızı sağlamıştır. Hidrojen ekonomisinde gelişmeler çok sayıda mühendislik probleminin çözümü kadar, temel araştırmalara, özellikle nanoteknoloji kullanılarak çığır açacak yeni buluşlara bağlı olmaktadır. Bir enerji taşıyıcısı olan hidrojenin, ucuz enerji kullanarak suyun elektrolizinden elde edilmesi için güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirecek organik yarıiletken güneş panellerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

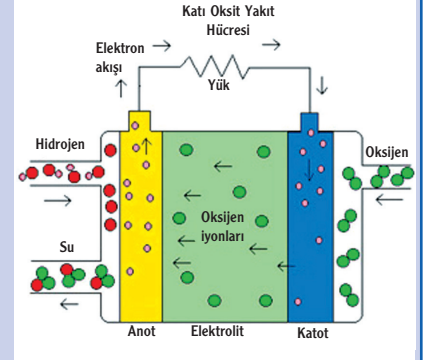
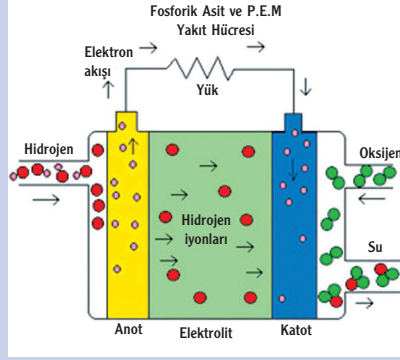
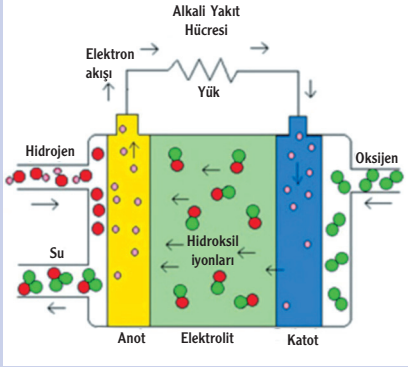
Ülkemiz şimdilik enerji açısından dışa bağımlıdır. Hidrojen ekonomisinde başarımız, bizleri bu bağımlılıktan kurtarabilecek bir fırsat olarak değerlendirilmelidir. Bu bağlamda hidrojen ekonomisinde ileri araştırma olanaklarına sahip ulusal laboratuvarlar kurulmalı ve yine ulusal bir ağ ile araştırmacılar birbirleri ile ve yurtdışı bilim çevreleri ile sürekli iletişim içinde bulunmalıdırlar. Üniversitelerimizde alternatif enerji kaynakları konusunda disiplinlerarası lisansüstü programlar yapılmalı, bilimsel ve teknolojik araştırmalar Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, DPT ve TÜBİTAK işbirliğinde oluşturulacak program ve kaynaklardan desteklenmelidir.

Prof. Dr. Salim Çıracı
Bilkent Üniversitesi, Fizik Bölümü

Kaynaklar:

1. G. W. Crabtree, M.S. Dreselhaus, ve M. V. Buchanan, *Physics Today*, 39, December 2004.
2. R. Coontz and B. Hanson, *Science* 305, 957 (2004).
3. J.K. Nørskov and C. Christensen, *Science* 312, 1322 (2006).
4. J.A. Turner, *Science* 305, 972 (2004).
5. T. Yildırım and S. Çıracı, *Phys. Rev. Lett.* 94, 175501 (2005).

CEVİZ KABUĞUNDA ENERJİ



Yakıt hücrelerinin birçok çeşidi var. Hepsinin kullanım alanına göre taşıdığı avantaj ve dezavantajları bulunuyor. Katı oksit yakıt hücreleri, pahalı elektrotlar taşımadığı ve elektrolitin katı olması nedeniyle tercih ediliyor.

Bir yakıt hücresi, bir kimyasal tepkime ($2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O + 2e^-$) sonucu elektrik üreten bir araç. Her yakıt hücresinin biri pozitif (katot) ve biri de negatif (anot) olmak üzere iki elektrodu bulunur. Elektrik üreten tepkimeler, elektrotlarda meydana gelir. Her yakıt hücresinde ayrıca, elektrik yüklü parçaları bir elektrottan diğerine taşıyan bir elektrolit ve elektrotlarda tepkimeleri hızlandıran bir de katalizör bulunur. Hidrojen esas yakıttır; ancak yakıt hücrelerine oksijen de gerekir. Yakıt hücrelerinin çekiciliği, çok az kirlenici çıkararak elektrik üretmelerinde yatıyor. Elektrik üretiminde kullanılan hidrojen ve oksijen sonunda birleşerek tamamen zararsız bir yan ürün ortaya çıkartıyor: Su.

Tek bir yakıt hücresi çok küçük bir miktar doğru akımlı elektrik (DC) üretir. Dolayısıyla yakıt hücreleri demetler halinde bir araya getirilerek kullanılır.

Yakıt hücrelerinin amacı, bir elektrik motorunu çalıştırmak, bir elektrik ampülünü ya da bir kenti ay-

dınlamak gibisinden iş yapmak üzere hücre dışına yönlendirilecek bir elektrik akımı üretmektir. Akım daha sonra hücreye geri dönüş bir elektrik devresini tamamlar.

Farklı yakıt hücreleri, farklı biçimlerde çalışır; ama genelde hidrojen atomları hücreye anottan girer ve burada bir kimyasal tepkime elektronları atomlardan koparır. Hidrojen atomları şimdi iyonlaşmışlardır ve + elektrik yükü taşırlar. - elektrik yüklü elektronlar teller aracılığıyla işi yapacak olan akımı sağlarlar. Eğer değişken akım (AC) gerekirse, yakıt hücresinin DC çıktısı inverter (tersindirici) adlı bir aygıtta geçirilir.

Oksijen hücreye katotdan girer ve bazı hücre tiplerinde (yukarıda gösterilen gibi) orada elektrik devresinden dönen elektronlarla ve elektrolit içinden geçerek anottan gelen hidrojen iyonlarıyla birleşir. Başka hücre tiplerindeyse oksijen elektronları toplayıp elektrolitten geçerek anota gider ve hidrojen iyonlarıyla orada birleşir.

Elektrolit önemli bir rol oynar. Anot ile katot arasında yalnızca uygun iyonların geçmesine izin vermek zorundadır. Çünkü serbest elektronlar ya da başka maddeler elektrolitten geçebilseydi, kimyasal tepkimeyi bozarlardı.

İster anotta ister katotta olsun, hidrojen ve oksijen birleştiklerinde su oluşturur ve su da hücreden dışarı süzülür.

Bir yakıt hücresi, kendisine hidrojen ve oksijen verildiği sürece elektrik üretir. Verimi de yüksek olur. Yakıt hücreleri elektrigi yanma yerine kimyasal olarak ürettiklerinden sıradan bir güç santralini sınırlayan termodinamik yasalarına tabii değildir, dolayısıyla yakıt hücreleri yakıttan daha verimli bir biçimde enerji elde ederler. Bazı hücrelerden çıkan atık ısı da yeniden kullanılıp sistemin verimini daha da yükseltir.

Günümüzde çeşitli yakıt hücresi tipleri yapılmakta: Bunlar, alkali, erimiş karbonat, fosforik asit, proton değişim zarı (P.E.M) ve katı oksit tipleri olarak tanınıyor. Hepsinin farklı özellikleri, farklı avantaj ve dezavantajları var. Henüz hiçbirisi ucuz değil. Farklı tipler, farklı sıcaklıklarda çalışıyor ve verimleri de tiplerine göre %40-%80 arasında değişiyor.

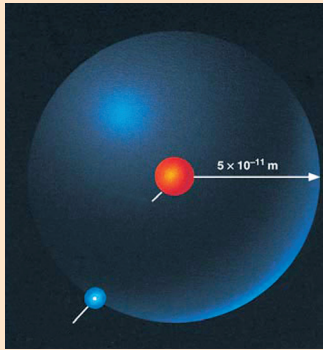
Kısaltarak Çeviren: Raşit Gürdilek
<http://www.iit.edu/~smart/garear/fuelcells.htm>

Not: Bu çerçeve daha önce Bilim ve Teknik Dergisi Eylül 2004 sayısında yayınlamıştır.

Hidrojen

Periyodik tablonun başında yer alan hidrojen en hafif element. Yalnızca bir proton ve bir elektrondan oluşuyor. Elektronun protona bağlanma enerjisi 13.6 eV kadar. Hidrojen buna karşın güçlü bir elektropozitif karaktere sahip, yani elektronundan kurtulma eğilimindedir. Örneğin oksijen gibi elektron almaya meraklı, elektronegatif bir elementle bir araya geldiğinde tepkimeye giriyor ve atomu başına, yaklaşık 1,3 eV enerji açığa çıkarıyor. Hidrojen bu nedenle, kütleli enerji yoğunluğu (142kJ/g) yüksek bir madde ve gramı başına sıvı hidrokarbonlardan (47kJ/g) bile daha fazla enerji içeriyor. Uzay uçuşlarında üst kademe roketlerin yakıtı olarak tercih edilmesi bu yüzden. Yanma ürünü olarak su buharı çıkarttığından, atmosfere kirlenici veya sera gazları salmıyor.

Öte yandan, doğada en bol bulunan element. Evrendeki görünür maddenin %90'dan fazlasını oluşturuyor. Tüm diğer elementler de zaten, hid-



rojen çekirdeklerinin füzyonuyla oluşmuş. Yeryüzünde ise, üçüncü en bol bulunan element. Suda ve organik maddenin tümünde var. Renksiz, kokusuz, tatsız ve zehirli olmayan bir madde. Saf haliyle, olağan koşullar altında iki atomlu bir gaz oluşturuyor. Bu gaz, havanın 14'te biri yoğunluğa sahip olduğundan, havada hızla yükselip dağılıyor. Yani gazın kendisi kolayca yanıcı ve hatta yüksek enerji yoğunluğu nedeniyle patlayıcı olmakla beraber, sızıntı sonucu bir yerde birikip kaza riskine yol açması mümkün değil. Buraya kadar iyi güzel: Hidrojen ideal bir yakıt gibi duruyor.

Ancak kullanımının her aşaması; eldesi, depolanması, taşınması ve yakılması ile ilgili aşılması gereken sorunları var...

Yakılması: Hidrojenin nasıl yakılacağı konusunda da kritik tercihler söz konusu. İçten patlarlı motorlarda yakılması ve oksijenin hızlı verilmesi halinde,

atık ürün olarak su buharının yanında, nitrik oksitler gibi karsinogen sera gazları da çıkıyor. Sadece su buharı çıkması isteniyorsa eğer, yanma odasına oksijenin yavaş verilmesi, yani havanın dikkatli pompalanması gerekiyor. Ama bu durumda da, olaydan enerji çekme hızı, yani güç azalıyor. Dolayısıyla, hem de %50-60'lara varan yüksek verim avantajından yararlanabilmek için, hidrojeni yakıt hücrelerinde yakmak en mantıklısı. Ama bu, ilgili teknolojinin ekonomik hale gelmesini beklemeyi gerektiriyor.

Halbuki şimdiden, içten patlarlı motorları ufak bir bedel karşılığında hidrojen yakar hale getirip, bu yakıtın kullanımını başlatmak mümkün. Fakat halen, otomobil üreticileri yakıtı henüz ortada olmayan bir arabayı üretmek, enerji firmaları da kullanıcıyı olmayan bir yakıtta yatırım yapmak istemiyor. Bu kilitlemişliği kırmak için de hidrojenin, hiç değilse fotovoltailer ekonomik hale gelinceye kadar fosil yakıtlardan üretilip, hiç değilse yakıt hücreleri ekonomik hale gelinceye kadar içten patlarlı motorlarda kullanılmak üzere, otomobil yakıtı olarak şimdiden piyasaya sürülmeye başlanmasını savunanlar var.

Prof. Dr. Vural Altın

YAKIT HÜCRELERİ

Gelişen teknolojinin getirdiği enerji gereksinimleri ve bu enerji kaynaklarının kullanımıyla ortaya çıkan sorunlar, yeni yakıt ve tekniklere olan ihtiyacı daha da artırdı. Geniş bir kullanım alanına sahip olması beklenen yakıt hücrelerinin, vaadettikleriyle enerji probleminin çözümünde önemli bir rol oynaması umulmakta.

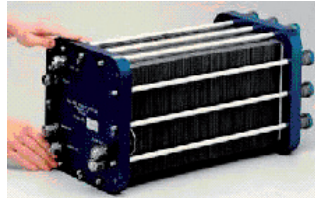
Yakıt Hücresi Nedir?

Basitçe tanımlamak gerekirse yakıt hücreleri (Resim 1) kimyasal reaksiyon yoluyla elektrik üreten (elektrokimyasal) cihazlardır. Her yakıt pili biri pozitif (katot) biri de negatif (anot) olmak üzere iki elektrottan oluşur ve elektrik üretme reaksiyonları buralarda gerçekleşir. Her yakıt pilinde ayrıca yüklü parçacıkları bir elektrottan diğerine taşıyan elektrolit ve reaksiyonları hızlandırmaya yarayan katalizörler bulunur. Kimyasallar olarak da hidrojen (temel yakıt) ve oksijen kullanılır. Hidrojen sisteme saf olarak ya da bileşik halinde girebilir. Yakıt hücrelerinde saf hidrojen kullanılması durumunda elektrik ya da diğer bir deyişle enerji üretilmesi sırasında, atık olarak ortaya sadece su (H_2O) çıkacaktır.

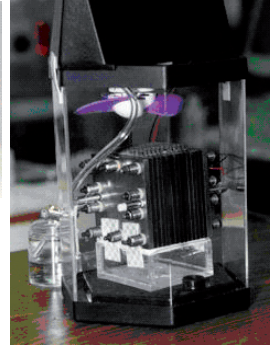
Nasıl Çalışır?

Yakıt pillerinin amacı değişik işlerde kullanılmak üzere elektrik akımı üretmektir. Bu kullanım alanları otomobil, otobüs gibi araçlarda elektrik motoruna güç vermek, dizüstü bilgisayarlara enerji sağlamak ya da bir evi hatta şehri aydınlatmak olabilir.

Yakıt pilleri kullandıkları elektrolite ve hidrojen kaynağına göre çeşitlilik gösterir ve hepsinin çalışma prensibi birbirinden biraz farklıdır (Resim 2). Temel olarak anot kanadından sisteme giren hidrojen burada katalizörler yardımıyla proton (iyonize hidrojen, H^+) ve elektron (e^-) olarak ayrışır. Protonlar elektrolit yardımıyla katoda doğru yönlendirilir. Negatif yüklü elektronlarsa dış devrede harekete zorlanır ve teller üzerinden negatif yüklü anottan pozitif yüklü katoda çekilen elektron-



Resim 1: Yakıt hücresi ve elektrik motorunu çalıştıran güçteki yakıt hücresi yığını



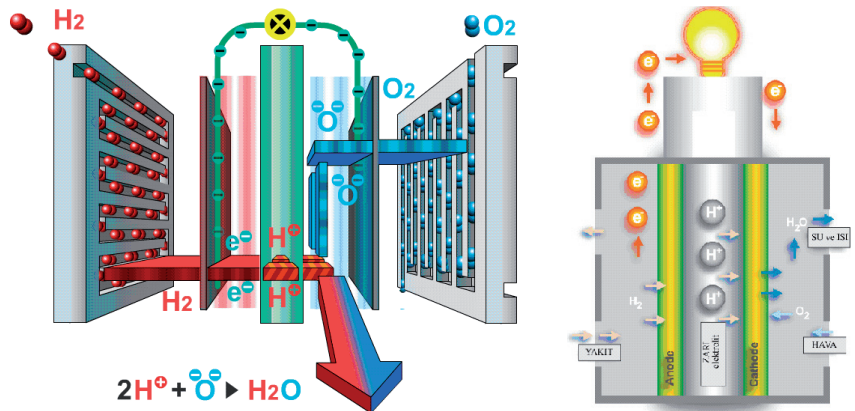
lar elektrik akımını oluşturur. Oksijen ise sisteme katot kanadından girer ve burada devrini tamamlayan elektronlar ve anottan çıkıp elektrolit üzerinden geçerek gelen iyonize hidrojen atomlarıyla birleşir. Dolayısıyla oluşan son ürün, diğer bir deyişle atık, H_2O yani sudur. Saf hidrojen yerine dizel, metanol ve kimyasal hidritler kullanan yakıt hücreleri de vardır, fakat bunlar atık olarak suyun yanı sıra karbondioksit gibi başka atıklar da oluştururlar. Bu işleyişte özellikle elektrolit kilit bir rol oynar. Elektrolit sadece protonların geçişine izin vermeli ve serbest elektron ya da diğer maddelerin geçişine engel olmalıdır. Aksi halde kimyasal işleyiş bozulabilir. En ümit vaadeden ve en çok kullanılan elektrolit proton değişim zarı (PDZ) adı verilen tipidir. İlk bakışta sıradan bir plastiği andıran bu özel malzeme pozitif yüklü iyonları iletirken, yalıtkan olduğu için elektronları dış devrede harekete zorlar. Reaksiyonları kolaylaştıran ve hızlandıran katalizörse genellikle platinyum tozudur (demir ya da paladyum da kullanılabilir). Yakıt pilleri doğru

akım (DC) üretir ama eğer gerekliyse bir dönüştürücü yardımıyla bu akım kolaylıkla alternatif (AC) dönüştürülebilir. Bu şekilde tasarlanmış tek bir yakıt pili yaklaşık 0,7-0,8 V üretir. Pratik uygulamalarda yeterli voltajı üretebilmek için yakıt hücreleri seri ve paralel bağlanarak "yığın" (stack) adı verilen sistemleri oluştururlar. Bu sistemler çok sayıda hücreden oluşur ve kullanım amacına göre farklı şekillerde tasarlanırlar.

Yakıt hücresinin verimliliği devreden geçen akıma bağlıdır. Genel bir kuraldan bahsetmek gerekirse akım arttıkça verimlilik düşer. Elektriğe dönüştürülemeyen enerji ısı olarak kaybedilir. Verimliliği hesaplamak üretimde, taşımada ve depolamadaki kayıpları da göz önünde bulundurulmalıdır. Örnek olarak yüksek basınçta depolanmış hidrojen kullanan hücrelerde verimlilik %22'lere, sıvı hidrojen kullanan hücrelerde %17'lere düşebilmektedir.

Çeşitleri

Kullandığı elektrolit ya da yakıtı göre yakıt pilleri farklılık gösterir. Belli başlı çeşitleri alkali, metal hidrit, elektrogalvanik, fosforik asit, proton değişim zarı, katı oksit, metanol ve eritilmiş karbonat yakıt hücreleri olarak sıralanabilir. 500 kW'ye kadar güç üre-



Resim 2: Genel ve proton değişim yakıt hücresinin çalışma prensibi

tebilen 70-200 °C aralığında çalışan ve verimliliği % 50-70'lere varan proton değişim hücresi en çok kullanılan hücrelerden biridir. Ayrıca 600-650 °C gibi yüksek sıcaklıklarda çalışabilen ve 1000MW'ye kadar güç üretebilen eritilmiş karbonat yakıt hücresi de önem arz etmektedir.

Avantajlar

Her ne kadar çalışma prensipleri ilk bakışta benzer olsa da yakıt hücreleri normal pillere göre daha üstün güç kaynaklarıdır. Normal pillerin depoladıkları enerji kısıtlıdır ve kimyasal reaksiyon tamamlandıktan sonra piller ya atılır ya da yeniden şarj edilmeleri gerekir. Yakıt hücreleri ise sürekli yenilenme için tasarlanmışlardır ve dışarıdan yakıt ve oksijen sağlandığı sürece çalışmaya devam eder. Ayrıca pillere göre daha uzun ömürlüdür. Fazla hareketli parça içermemeleri (hareketli parçalar sürtünme dolayısıyla hem aşınmaya hem de verimlilik kaybına yol açmaktadır) ve ayrıca içlerinde yanma olayının gerçekleşmemesi ömürlarini ve verimliliklerini artırmakta ve içten yanmalı motorlara da üstünlük sağlamaktadır..

Yakıt pillerinin en önemli faydasıya saf hidrojen kaynağı kullanıldığı takdirde enerji üretirken hiçbir zehirli atığı ortaya çıkarmamalarıdır. Hava ve çevre kirliliğinin tehlikeli boyutlarda olması ve üretilen karbon dioksit gazının kontrol altına alınmasının gerekliliği, bu tarz güç kaynaklarının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağı olan hidrojenin yakıt pillerinde verimli bir şekilde kullanılabilir olması yakıt pillerine olan ilgiyi artırmaktadır.

Yakıt hücrelerinin kullanımı hava kirliliğinde ve petrol tüketiminde önemli azalma meydana getirecektir. Rakamlarla konuşmak gerekirse ABD Enerji Bakanlığı'nın yaptığı bir çalışmaya göre ABD'deki otomobillerin sadece %10'unun yakıt hücreleriyle çalışması bir günde 800 bin varil petrol tüketilmemesi ve bunun sonucunda bir yıl içinde bir milyon ton zehirli madde nin ve 60 milyon ton karbon dioksitin açığa çıkmaması anlamına gelecektir. Dünya çapında sadece 10 bin araç petrolsüz çalışabilse yılda 25-30 milyon litre daha az benzin harcanacaktır.

Tarihçesi ve Günümüzdeki Durumu

Yakıt hücrelerinin çalışma prensibi 1839 yılında Christian Friedrich Schönbein tarafından ortaya atılmış ve bu fikirden yola çıkarak 1843 yılında Sir William Robert Grove ilk yakıt hücresini tasarlamıştır. Daha sonra yakıt hücresi olarak isimlendirilecek bu icat her ne kadar hidrojen ve oksijen kullanarak elektrik üretebilse de, ortaya çıkan enerji pratik uygulamalar için henüz yeterli değildi.

Bu tür sistemler için yakıt hücresi terimi ilk defa 1890'lı yıllarda kullanılmaya başlanmış ve hücrelerin verimliliğini artırmak için değişik çalışmalar yapılmıştır.

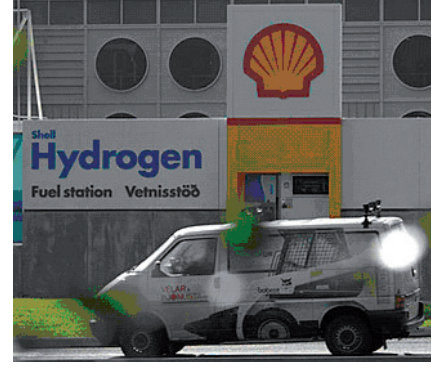
Francis T. Bacon'un (ünlü Francis Bacon'un soyundan gelmektedir) 1932 yılında başladığı çalışmalar 1959 yılında meyvesini vermiş ve bir motoru çalıştırabilecek güçte olan 5 kW'lık yakıt hücresi üretilmiştir. Aynı yılın ekim ayında Harry Karl Ihrig, Allis-Chalmers Şirketi için 20 beygir gücünde bir traktör üretmiştir ve bu traktör aynı



Resim 4: Hidrojen araçlarının motor ve genel şeması

zamanda yakıt hücresi kullanarak çalışan ilk araçtır.

1960 yılında Bacon'un tasarladığı ve "Bacon hücresi" adı verilen sistem patentlenmiş ve ABD'nin uzay araştırmalarında elektrik ve su üretmek için lisanslanmıştır. Yine 60'lı yıllarda General Electric, Bacon hücresini temel alarak, NASA'nın Gemini ve Apollo uzay kapsülleri için yakıt-hücresi tabanlı elektrik güç sistemlerini üretmiştir. Günümüzde uzay mekiklerinin elektrigi ve mürettebatın su ihtiyacı yakıt hücreleri tarafından karşılanmaktadır.

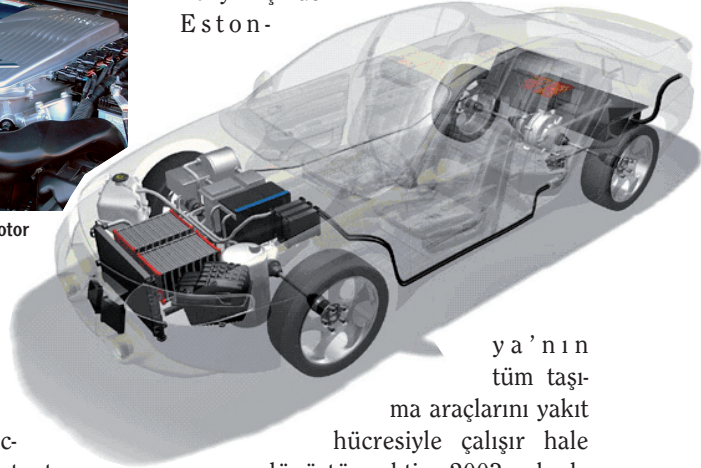


Resim 3: Reykjavik'teki (Estonya) hidrojen istasyonu. Geotermal enerji kullanarak sudan hidrojen üreten bu istasyonun doldurulması gerekmiyor. Şimdilik yalnız birkaç otobüse yakıt sağlanabiliyor.

(NASA nükleer reaktörler, büyük piller ya da güneş enerjisi sistemlerinin yerine uzay araçları için yakıt hücresi teknolojilerinin gelişmesi için büyük fonlar ayırmaktadır).

1993 yılında yakıt hücresi ile çalışan ilk otobüs üretilmiştir. Daimler Benz ve Toyota 1997 yılında yakıt pilli prototip arabaları üretmiştir. Diğer büyük otomobil şirketlerinin de bu konuda yoğun çalışmaları devam etmektedir.

1998 yılında Estonya hükümeti, Daimler Chrysler, Shell ve Ballard Güç Sistemleri (Kanada şirketi) büyük bir hidrojen ekonomi işbirliğine girmişlerdir. Bu işbirliğinin amacı 10 yıl içinde Eston-



ya'nın tüm taşıma araçlarını yakıt hücresiyle çalışır hale dönüştürmektir. 2003 yılında ilk hidrojen istasyonu Reykjavik'da (Estonya) açılmıştır (Resim 3). Bu istasyon geotermal enerji kullanarak kendi hidrojenini üretebilmektedir ve doldurulmaya ihtiyacı yoktur.

2000'li yıllardan itibaren taşınabilir cihazlar için (dizüstü bilgisayar, cep telefonu) tasarlanmış prototip yakıt hücresi üretimine başlanmıştır.

Günümüzde halen kısa vadeli he-

defleri olan yüksek bütçeli projelerde binlerce uzman, yakıt hücrelerini günlük hayatta kullanılır düzeye getirmek için çalışmalar yapmaktadır.

Yakıt Hücrelerinin Uygulama Alanları ve Sorunları

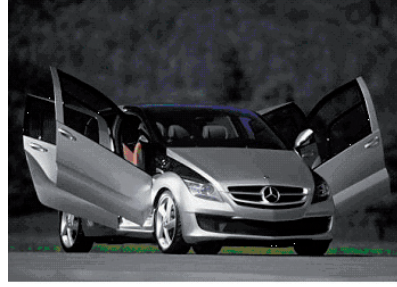
Yakıt hücrelerinin uygulama alanları genel olarak ulaşım (otomobil, otobüs, hatta uçaklar...), kişisel kullanım (dizüstü bilgisayarlar, cep telefonları, cd/dvd oynatıcılar...) ve sanayi olarak sınıflandırılabilir.

Ulaşımında kullanılacak hidrojen araçları (Resim 4) basitçe temel yakıt olarak hidrojen kullanan otomobillerdir. Hidrojen ya günümüz araçlarında olduğu şekilde benzin veya motorin gibi yakılarak, ya da yakıt hücrelerinde elektrik üretmek (elektrik motorları) için kullanılır.

Günümüz hidrojen üretme teknolojisi petrol, güneş, su, rüzgar ya da nükleer güç kaynakları kullanılarak hidrokarbonlardan hidrojen üretmeye dayanmaktadır. Hidrokarbonlar bile motorin ya da benzine göre daha az kirli atık üretmektedir. Asıl büyük başarı ise saf hidrojenin yakıt olarak kullanıldığı ve egzozlardan zehirli gazlar yerine su buharının çıktığı araçlarla sağlanacaktır.

Şu anda az sayıda da olsa hidrojen arabaları mevcuttur ve bunların teknolojilerini geliştirmek için yoğun araştırmalar devam etmektedir. Bu araştırmalar içten yanmalı motorlarda hidrojen kullanımından çok, hidrojenin yakıt pillerinde, dolayısıyla elektrik motorlarında kullanılmasına yöneliktir. Hidrojen bu şekilde hem daha verimli kullanılacak hem de bu tür araçların motorları daha uzun ömürlü olacaktır. Yakıt hücreleri çok fazla hareketli parça içermediğinden bu bölgelerde sürtünmeden kaynaklanan enerji kayıpları ve aşınma aza indirgenecektir.

Günümüzde hız için tasarlanmış arabalarda, denizaltılarda ve uzay mekiklerinde kısaca yüksek maliyetten kaçınılmayan uygulamalarda hidrojen zaten yakıt olarak kullanılmaktadır ama günlük kullanıma geçmesi için biraz daha zamana ihtiyaç olduğu görülmektedir.



Resim 5: Honda, Mercedes ve BMW yakıt hücreli araçlar üretmek için yoğun çalışmalar yapmakta.

Hidrojen yakıt hücrelerinin en büyük problemi hidrojenin efektif ve güvenilir bir şekilde depolanmasından kaynaklanmaktadır. Çok hafif bir gaz olan hidrojen yüksek basınçta ya da sıvı olarak depolansa bile, aynı hacimdeki benzine göre üretebileceği enerji çok düşük kalmaktadır. Hidrojeni doğrudan depolamak yerine değişik yöntemler ve teknikler üzerinde çalışılmaktadır. (Bkz. hidrojen depolama).

İkinci sorun hidrojenin üretimiyle ilgilidir. Eğer hidrojen üretmek için yine fosil yakıtları kullanmak gerekirse temiz yakıt kavramından uzaklaşmış olacaktır. Elektroliz yoluyla suyu ayırtmak da çözüm değildir çünkü elektrik enerjisi üretmek için de büyük ölçüde kömür ya da nükleer enerji kullanılmaktadır. Ucuz ve temiz hidrojen üretimi de pratik uygulamalar için aşılması gereken önemli bir sorun olarak beklemektedir. Bu konuda yoğun çalışmalar devam etmektedir.

Diğer önemli bir problem yakıt hücrelerinin üretiminin çok pahalı olmasıdır. 2002 yılında tipik bir yakıt hücresinin maliyeti her kilovat güç için 1000



dolar (\$/kW) olarak hesaplanmıştır. Maliyeti düşürme çalışmaları devam etmekte ve bu maliyetin 2007'den sonra 30 \$/kW kadar düşmesi umulmaktadır.

Günümüzde birçok büyük otomobil şirketi hidrojen arabaları üzerine çalışmalarını milyar dolarlık bütçelerle sürdürmektedir. General Motors'un başkan yardımcısı Harry J. Pierce hidrojen yakıt pillerinin geleceğin güç kaynakları olduğunu söylemiştir. Honda'nın başkan yardımcısı ise yakıt hücreli araçların yakın gelecekte piyasada olacaklarını tahmin ettiğini açıklamıştır. Diğer taraftan Tony Blair ve George Bush bu konuyla ilgili olarak katıldıkları toplantılarda yapılan çalışmalardan çok ümitli olduklarını ve desteklerini devam ettireceklerini açıklamışlardır.

Üretim aşamasındaki yakıt hücreli arabalara örnek olarak (Resim 5):

BMW 750hL ve BMW H2R (Bu modeller sıvı hidrojen kullanarak çalışmakta ve H2R modeli hız rekorunu elinde bulundurmaktadır) BMW ürettiği otomobillere "Temiz Enerji" etiketi yapıştıra-



Resim 6 : Hidrojen ile çalışan otobüsler

bilmek için yoğun çalışma içinde olduğunu bildirmiştir.

Mercedes F600 Hygenius (Sıfır atık üreten yakıt pilli model. Bu araç 115 beygir gücünde 100 km'de sadece 2,9 litre yakıt tüketmekte ve bir depo ile yaklaşık 400 km yol yapabilmektedir).

Her ne kadar bu araçların maliyetleri şu an için çok pahalı olsada yakın gelecekte piyasaya sürülmeleri hedeflenmektedir. Mazda çift yakıtlı RX-8'i 2006'da Japonya'da satışa sunarak bu konuda bir ilk olmuştur. BMW'de medyaya, 2008 yılında hidrojen aracını piyasaya sürmeyi planladığını duyurmuştur. 2004 yılından itibaren İngiltere'nin pilot bölgelerinde hidrojenle çalışan otobüs seferlerine başlamıştır (Resim 6). Maliyetleri 750 bin sterlini bulan ve tamamen çevre dostu olan bu otobüsler bir depo ile yaklaşık 125 mil yol yapabilmektedir. Kullanılan sistemdeki depo büyüklüğü binek otobilleri için henüz yeterli değildir. Ayrıca ABD Enerji Bakanlığı ve Otomotiv Araştırma Konseyinin büyük otomotiv şirketleriyle beraber yürüttüğü FreedomCAR adı verilen ve ucuz, çevre dostu ve benzin kullanmayan otomobil üretimiyle ilgili proje de devam etmektedir. 2002 yılında başlanan bu projenin, ilk ürünlerini 2010 yılında vermesi planlanmaktadır.

Dizüstü bilgisayar ve cep telefonları gibi taşınabilir cihazlar için enerji üretmede de yakıt hücrelerinden yararlanılabilir. Büyük elektronik şirketleri, daha uzun çalışma süresi sağlayan, aynı zamanda daha ucuz ve daha hafif yakıt



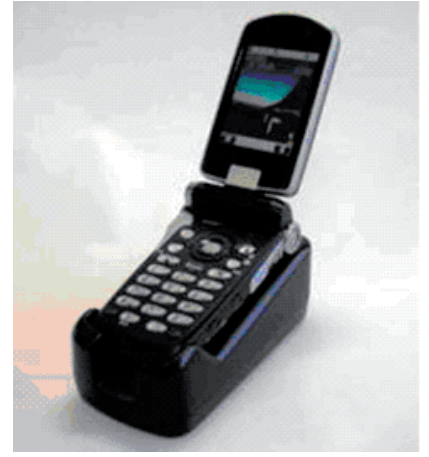
Resim 7: Taşınabilir cihazlar için tasarlanmış yakıt hücresi

hücreli piller (Resim 7) üzerinde yoğun olarak çalışmaktadır. Günümüzde yakıt olarak sıvı metanol kullanan yakıt hücreli prototip dizüstü bilgisayarlar üretilmiştir. Yaklaşık olarak 10 saat çalışma süresi sağlayan yakıt hücreleri normal pillerden daha uzun ömürlüdür. Sıvı yakıt kullandıkları için yeniden doldurabilir kartuşları bulunan bu yakıt hücreleri, metanol eklenerek çalışmaya devam etmekte ve elektrige bağlanıp şarj edilmesi gerekmemektedir.

2005'de Fujitsu ve Toshiba her tür taşınabilir cihaz için yakıt hücreli piller üzerinde çalıştıklarını duyurmuşlardır. Panasonic 2006'da katıldığı bir fuarda yakıt hücresi ile çalışan prototip dizüstü bilgisayarını (Resim 8) tanıtmıştır. Hidrojen üretmek için sıvı metanol kullanan bu sistemin 20 saat çalışma süresi vardır. Bir kartuşla bilgisayarların 40 saat çalışması, yakın hedefler arasındadır. Yakıt hücreli dizüstü bilgisayarların en büyük problemi ağırlık, büyüklük ve maliyet yüksekliği olarak sıralanabilir. 2004'teki modellere göre alınan yol, büyük firmaların 2010 yılında tüm bu sorunları aşacaklarını duyurmalarına yol açmıştır. Dizüstü bilgisayarların yanı sıra cep telefonları için de araştırmalar devam etmektedir. Toshiba 2005 yılında yine metanol kullanan yakıt hücreli cep telefonlarını tanıtmıştır (Resim 9). Ayrıca Toshiba, KDDI ve Hitachi firmaları güçlerini daha iyi yakıt hücreleri üretmek için birleştirmişlerdir. Şu anda ürettikleri yakıt hücreleri normal nikel-kadmiyum pillere göre 2,5 kat uzun konuşma süresi sağlamaktadır. Nippon firması ise polimer elektrolit yakıt hücresi kullanarak hid-



Resim 9: Toshiba'nın yakıt hücresi kullanan cep telefonu ve Nippon firmasının polimer elektrolit yakıt hücresi kullanarak hidrojen gazı ile çalışan ilk prototip cep telefonu.



rojen gazı ile çalışan ilk prototip cep telefonunu üretmiştir (Resim 9). Nokia, Motorola ve Samsung gibi şirketler de bu alanda yüksek bütçeli fonlarla araştırmalarına devam etmektedirler.

Sonuç

Basit çalışma prensibine dayanan ve yakıt olarak yenilenebilir hidrojen kullanan yakıt pillerinin, hem azalan fosil yakıt rezervlerine hem de çevre kirliliğine bir çözüm olacakları ümit edilmektedir. Ancak özellikle hidrojenin ucuz ve temiz üretilmesi, ardından da etkili ve güvenli bir şekilde depolanması sorunlarının çözülmesi gerekmektedir. Nanobilim ve nanoteknolojinin bu alana da yönelik katkılarıyla yakın gelecekte insanlığın rüyası olan suyla çalışan araçlar ve piller, belki de gerçek olacaktır.



KDDI toshiba hitachi



Engin Durgun
Bilkent Üniversitesi, Fizik Bölümü



Resim 8: Sıvı metanol yakıt hücresi ile çalışan prototip dizüstü bilgisayar

HİDROJEN TEKNOLOJİSİNİN YAYGINLAŞMASINA YÖNELİK ÖNEMLİ ANAHTAR

ALTIN NANOPARÇACAK HİDROJENİN SA



Şekil 1. Opel (sol) ve GM (sağ) firmalarının piyasaya sürmeyi planladıkları hidrojen yakıtlı otomobiller.

Bilindiği gibi boyutları her geçen yıl katlanarak artan küresel enerji sorunu için, uzmanların üzerinde anlaşıldığı en umut verici çözüm seçeneği hidrojen enerjisidir. Fosil yakıtlı araçlara bağımlı günümüz ekonomisinin, önümüzdeki ilk 10 yıl içinde, önce elektrik-benzin karışımı sistemler kullanan “hibrid” araçlara yönelmesi beklenmekte; bundan sonraki aşamada ise, fosil yakıt kullanımından tamamen arıtılmış, hidrojen teknolojisi kullanan araçlara geçileceği öngörülmektedir.

Bu süre zarfında, hidrojen teknolojinin ticari bir gerçek olarak ortaya çıkabilmesi ve fosil yakıtlar yerine “hidrojen ekonomisi”ne dayanan küresel bir makro ekonomik düzenin oluşması için çok önemli bazı teknolojik sorunların acilen çözülmesi gerekmektedir. Bu sorunların çözümü için, nanoteknoloji ve yüzey bilimi araştırmalarının ciddi bir şekilde odaklandığı üç önemli temel problem şunlardır:

- **Üretim:** Yüksek kaliteli hidrojen yakıtı üretimi için yeni, verimli ve sürdürülebilir katalitik üretim yöntemlerinin geliştirilmesi.
- **Taşıma:** Hidrojen depolanması ve yakıt hücresine kontrollü salınımı için yeni nano-malzemelerin geliştirilmesi.
- **Tüketim:** Hidrojen yakıt hücrele-

rinin verimliliklerinin artırılması ve mevcut yakıt pili tasarımlarından yaklaşık 100 kat daha ucuz hücrelerin üretimi için yeni malzeme ve işlem tasarımlarının gerçekleştirilmesi.

Yukarıda sayılan problemlerin neredeyse tamamı katı-gaz ve/veya katı-sıvı arayüzleri ve bu yüzeylerin atomik düzeyde kontrollü olarak tasarlanması ve çalıştırılmasıyla yakından ilişkili olduğundan, doğrudan nanoteknoloji ve yüzey biliminin çalışma alanlarına girer.

Bu nedenle Bilkent Üniversitesi bünyesinde yeni kurulan Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi (UNAM) içinde hidrojen üretimi ve depolanmasına yönelik nanoteknoloji çalışmaları projesi bir süre önce başlatıldı.

Bu çalışmaların birinci bölümü yüksek saflıkta hidrojen üretimine yönelik yeni nanoyapıların katalitik süreçler içinde kullanılmasını amaçlamaktadır. Günümüzde, kimya sanayiinde yüksek tonajlı hidrojen üretimi için kullanılan işlemlerin en büyük olumsuzluklarından biri, üretim işlemi sonunda hidrojen gazına ek olarak; az miktarda da olsa, karbon monoksit (CO) gazının da üretilmesidir. İstenmeyen bir yan ürün olarak ortaya çıkan CO gazı, eser miktarda (< 50 ppm) olmasına rağmen,

hidrojen yakıt hücresinde kullanılan proton takas zarı (proton exchange membrane, PEM) yapısının içinde yer alan platin metaline hidrojene oranla çok daha kuvvetli bağlanmasından ötürü, katalitik zehirlenme dediğimiz, bir çeşit verimlilik azalmasına neden olmaktadır.

Yüksek saflıkta hidrojen yakıtı elde etmek için iki temel strateji takip edilebilir. Bunlardan birincisi daha temiz hidrojen üreten yeni kimyasal katalitik süreçler geliştirmek, bir diğeri ise mevcut üretim sistemleri kullanılarak elde edilen hidrojeni temizlemek veya saflaştırmaktır. Şu anda endüstriyel olarak yüksek tonajda üretilen hidrojen gazının neredeyse tamamı, katalitik tepkimeler sayesinde metan gazının kimyasal olarak CO ve H₂'ye dönüştürülmesi yöntemiyle üretilmektedir (CH₄ + H₂O → 3H₂ + CO). UNAM araştırma grubumuz bu tepkimelerde kullanılan katalizörlerin geliştirilmesi için yeni yaklaşımlar önermiş ve 5ppm'den düşük CO içeren hidrojen üretimine yönelik yeni katalizörlerin bulunması için model katalizör çalışmalarına kısa bir süre içinde başlanması için gerekli adımları atmaya başlamıştır.

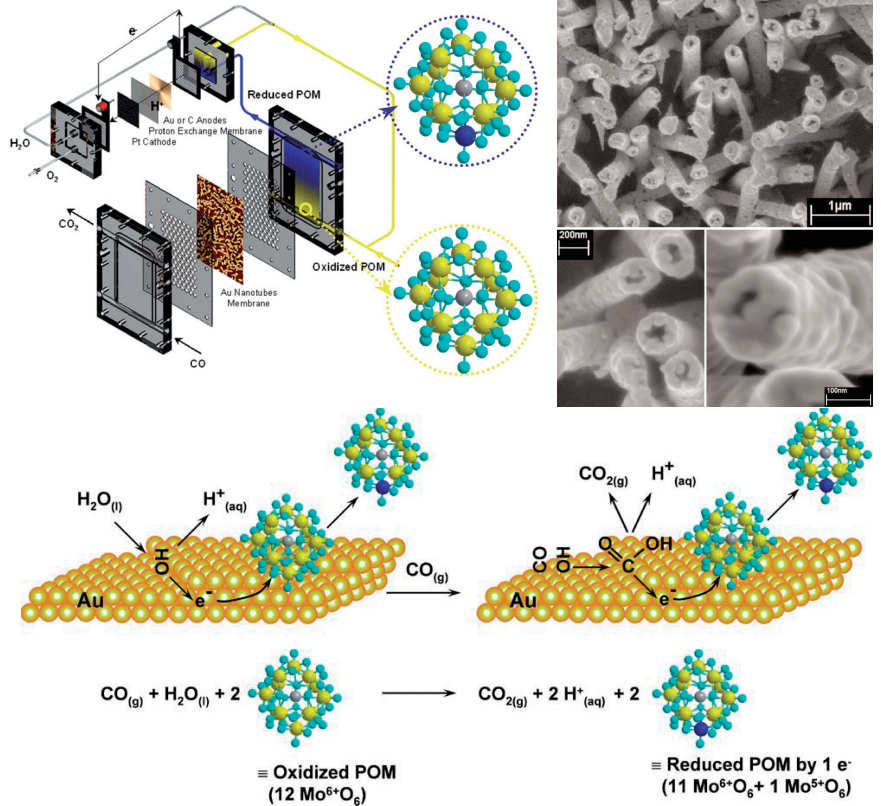
Yukarıda bahsedildiği gibi hidrojen üretimi için şu an ticari olarak henüz

SORUNLARIN ÇÖZÜMÜ İÇİN YÜZEY BİLİMİ VE NANOTEKNOLOJİ ÇALIŞMALARI

CIKILARI KULLANILAN ARAÇLARIN SAFLAŞTIRILMASI

kullanılmayan yeni teknikler de mevcuttur. Bu teknolojilerin verimleştirilip yaygınlaştırılması, hidrojen ekonomisinin geleceği için zorunludur. Bu teknolojilerin bir çoğunun temelinde suyu ayrıştırarak hidrojen ve oksijene çevirmek ve elde edilen hidrojeni yakıt hücresinde kullanmak yatar. Bu işi yapmak için: fotosentetik mikropların kullanıldığı biyolojik sistemler, güneş enerjisinden yararlanan fotovoltaiik güneş pilleri, fotokatalizörler ve doğal/yenilenebilir enerji kaynakları kullanan özel sistemler (örn. rüzgar enerjisi, jeotermal enerji veya hidroelektrik enerji kullanan sistemler) önerilmiştir. Bu konular hakkındaki çalışmalar hızlı bir şekilde devam etmektedir.

Mevcut kimyasal yöntemlerle yüksek miktarlarda üretilen hidrojenin saflaştırılması için de nanoteknoloji çalışmaları önem kazanmaktadır. Bunun için altın nanoparçacıkları önümüze beklenmedik bir şekilde ilginç seçenekler koymaktadır. Yüksek sayıda altın atomundan oluşan katı haldeki altın, bilindiği gibi soy bir metal olup, neredeyse hiçbir kimyasal tepkimeye girmeden oda koşullarında yüzyıllar boyu bozulmadan kalabilmektedir. Ancak altın metali nanoparçacık şeklinde, yani az sayıda altın atomunun bir ara-

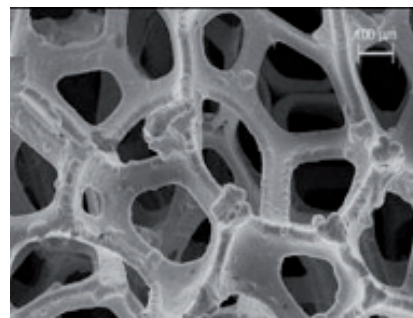


Şekil 3. Hidrojen yakıt hücrelerinde hidrojen saflaştırılması için kullanılan altın nanofiblerinden oluşan katalizör. (a) Yakıt pili şeması ve altın katalizörün konumu, (b) Altın üzerinde oluşan CO yükseltgenme tepkimesi, (c) Altın katalizörünü oluşturan, altın nanofiblerinin SEM (İkincil Elektron Mikroskopi) ile gösterilen nano-yapısı.

ya getirilmesiyle oluşan özel yüzeyler şeklinde kullanıldığında, ansızın çok yüksek katalitik etkinlik göstermeye başlamaktadır. Böylece birçok önemli kimyasal tepkimeyi, daha önce hiçbir

katalizörün başaramadığı şekilde hızlandırıp, verimli hale getirmeyi başaramaktadır.

Bu amaçla altın nanoparçacıkları hidrojen yakıtındaki CO kirliliğinin CO(g) + 1/2 O₂(g) → CO₂(g) tepkimesi yoluyla zararsız CO₂ gazına dönüştürülmesi için idealdir. Araştırmalar göstermiştir ki, geleneksel katalizör malzemesi olan Pt, Pd, Rh gibi geçiş elementleri kullanıldığında bu tepkimenin verimli bir şekilde ilerlemesi için 200-300 °C gibi yüksek sıcaklıklar gerekmesine rağmen; altın nanoparçacıkları çok yüksek aktiviteleri sayesinde bu tepkimeyi sıvı azot sıcaklığında bile (-196 °C) başarıyla yürütebilmektedir.



Şekil 2. Hidrojen üretiminde kullanılan katalitik tepkimelerin gerçekleştirildiği endüstriyel üretim birimi (sol) ve bu kimyasal süreçte kullanılan mikro gözenekli, yüksek yüzey alanlı Ni katalizörü (sağ)

Yrd. Doç. Dr. Emrah Özensoy
UNAM ve Bilkent Üniversitesi Kimya Bölümü

TÜBİTAK MAM ENERJİ ENSTİTUSU YAKIT ÇALIŞMALAR VE YÜRÜTÜLMÜŞ PROJELERİN TÜBİTAK'TA



TÜBİTAK MAM Yerleşkesi

Hızla artan dünya nüfusu ile birlikte artan enerji talebi, fosil yakıt kaynaklarının azalması ve buna bağlı olarak petrol fiyatlarının hızla yükselmesi, fosil yakıt kaynaklarının çevreye verdiği zarar alternatif enerji kaynağı arayışlarını beraberinde getirmiştir. Bu alternatiflerden en önemlilerinden biri hidrojenidir. Yakıt pilleri, yakıt olarak hidrojeni kullanan ve son yıllarda üzerinde yoğun olarak çalışılan alternatif teknolojilerden birisidir. Türkiye, nüfus artışına ve büyüme sürecine bağlı olarak artan birincil enerji ve elektrik enerjisi talebini çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri bulunan fosil yakıtların ağırlıkta olduğu ve ithal edildiği bir programla karşılamaktadır. Türkiye'ye ileri enerji teknolojilerinden biri olan yakıt pili teknolojisinin kazandırılması ve bu kapsamda özgün ürünlerin üretilmesi için TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Enstitüsü'nde bir grup ve laboratuvar kurularak çeşitli projeler başlatılmıştır. Bu kapsamda düşük sıcaklık ve yüksek sıcaklık yakıt pilleri ile ilgili çalışmalar yürütülmüştür.

“Yakıt Pili Grubu” tarafından yürütülmekte olan projelerin kısa bilgileri aşağıda verilmiştir.

Ergimiş Karbonatlı Yakıt Pili MCFC Naval Generator (Destekleyen Kuru-



TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü tarafından üretilen gerçekleştirilen prototip PEM tipi yakıt pili modülü ve test sistemi

TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü Düşük Sıcaklık Yakıt Pili Çalışma Grubu, Enstitü Müdürü Doç.Dr. Mustafa Tırs (soldan 5.) ile birlikte



luş: Nato, 2002-2006) İtalyan Ansaldo Fuel Cells s.p.a şirketi ile birlikte yürütülmekte olan proje kapsamında TÜBİTAK MAM yerleşkesinde MCFC (Ergimiş Karbonatlı Yakıt Pili) teknolojisine dayanan ve 500 kW gücünde prototip bir elektrik üretim tesisi kurmak.

MOCAMI (AB 5. Çerçeve Projesi, 2003-2006). MCFC teknolojisi ve bir mikro türbin (MTG) ile birleştirilmiş, küçük ölçekli hibrid sistemin geliştirilmesi ve demonstrasyonu.

IRMATECH (AB 5. Çerçeve Projesi, 2003-2006). Malzemeler, temiz ve verimli enerji teknolojileri ve MCFC'yi sürdürülebilir bir gelişme içinde iyileştiren prosesler üzerinde entegre araştırmalar gerçekleştirmek.

Temiz Enerji Üretimine Yönelik Yakıt Pili Teknolojilerinin Geliştirilmesi: (Destekleyen kuruluşlar: Ford Otosan,

YAKIT PİLİ ÇALIŞMA GRUBUNUN YAPTIĞI RÜTTÜĞÜ PROJELER

HİDROJEN

Tofaş, Arçelik, 2003-2004). Bu proje sonucunda, Sanayi ve Araştırma Merkezi birlikteliğini sağlayacak ortak çalışma grubu oluşumu, yakıt pili teknolojisinin uygulanabilir nitelikte öğrenilmesi ve projede çalışan uzmanların yakıt pili teknolojileri konusunda yeteneklerinin artırılması sağlanmış ve rekabet öncesi işbirliği disiplininin geliştirilmesine katkıda bulunulmuştur.

Polimer Elektrolit Membranlı Yakıt Pili Modül Bileşenlerinin Geliştirilmesi ve Üretilmesi: (Destekleyen kuruluşlar: Ford Otosan, Tofaş, Arçelik, Demirdöküm, Aygaz, 2004-2006.)

II. aşama projenin amacı özgün bir yakıt pilinin yerli imkanlarla üretilmesine yönelik olarak polimer elektrolit membranlı yakıt pili bileşenlerinin geliştirilmesi ve prototip üretimlerinin gerçekleştirilmesidir. Yakıt pili bileşenlerinden üretilmesi amaçlanan bipolar plaka, membran elektrot ünitesi ve elektrokatalizör üretimi ve karakterizasyonu ile ilgili çalışmalar büyük ölçüde tamamlanmıştır.

PEM Yakıt Pili Güç Üretim Kaynağının Geliştirilerek Evsel Uygulamalarda Kullanımı: (Destekleyen kuruluş: DPT, 2005-2008). Bu projede bir konutun enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılmak üzere yerli kaynakların da yoğun olarak kullanıldığı 500 W'lık polimer elektrolit membranlı yakıt pili için elektrokatalizör, membran elektrot ünitesi, bipolar ve son plaka geliştirilecek ve sistem entegrasyonu yapılacaktır.

Doğrudan Sodyum Bor Hidrürü Yakıt Pili Üretimi ve Entegrasyonu: (Destekleyen kuruluş: Bor Teknolojileri Araştırma Enstitüsü, BOREN, 2004-2007). Projenin başlıca amacı doğrudan sodyum borhidrürü yakıt pilinin geliştirilmesi ve son kullanıcı entegrasyonunun yapılmasıdır.

Bu projeler kapsamında yakıt pille-

NETBIOCOF Avrupa Biyokütle- Kömür Birlikte Yakma ve Gazlaştırma Bütünleştirilmiş Bilgi Ağı

Avrupa'nın enerji ihtiyacı sürekli olarak artmakta ve bu ihtiyacın mevcut halde %50 seviyesinden 2030 yılında %70 seviyesine geleceği öngörülmektedir. Avrupa ülkeleri enerji ihtiyacını büyük oranda ithal edilen petrol, kömür ve doğal gaz ile karşılamaktadır. Enerji bakımından artan dışa bağımlılık ve CO2 yayımlarındaki artış AB'de olduğu gibi ülkemizde de yenilenebilir enerji kaynakları konularındaki çalışmalara ivme kazandırmıştır.

Birçok atığı ve enerji ekinlerini içeren biyokütle, yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde önemli bir paya sahiptir. Biyokütle ve kömürün birlikte yakılmasını veya gazlaştırılmasını içeren teknolojiler, diğer yenilenebilir enerji teknolojilerine göre teknolojik olarak daha uygulanabilir bir alternatif sunmaktadır. Biyokütlenin kömür ile yakılmasının sağladığı en önemli avantajlar;

- Mevcut yakma sistemlerinde yüksek miktarlarda biyokütle kullanılmasına olanak sağlaması,
- Mevcut yakma sistemlerinin kullanılabilmesine olanak sağlayarak düşük yatırım maliyetleri gerektirmesi,

- Yalnızca biyokütle yakan sistemlere göre daha yüksek verimlerin elde edilmesidir.

Avrupa Birliği'nin giderek genişlemesi ile, kömür yakma teknolojilerine dayalı mevcut altyapının sayısı ve kapasitesi ile biyokütle üretim potansiyeli artmıştır. Bu artışlar, Avrupa Birliği ülkelerinde fosil yakıtlara olan bağımlılığı belli oranda azaltabilmektedir. Dolayısı ile biyokütle ve kömürün birlikte yakılması ve gazlaştırılmasına yönelik teknolojiler üzerindeki araştırma ve uygulama çalışmaları çok daha çekici hale getirmiştir.

Bu amaçla;

- Avrupa Birliği ve aday ülkeler arasında biyokütle ve kömürün birlikte kullanımına yönelik teknolojiler konusunda bilgi ağı oluşturmak,
- Bu teknolojilerin bugünkü durumunu ve araştırma alanlarını belirlemek,
- Geliştirilmesi sırasında karşılaşılabilecek engelleri ortaya çıkarmak

üzere Ağustos 2005'te iki yıl sürecek 25 ortaklı, açık adıyla "Integrated European Network for Biomass Co-firing" NETBIOCOF projesi başlatılmıştır.

Bu proje kapsamında TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü;

- Türkiye'de biyokütle ve kömürün birlikte kullanımına yönelik teknolojilerin durumunu araştırmakta,
- Yasal mevzuatlardaki ilgili düzenlemeleri incelemekte,
- Projenin önemli çıktılarında birini oluşturacak olan teknolojinin araştırma alanlarını belirlemektedir.

Bu projenin amacı olan bilgi paylaşımının sağlanabilmesi için 2007 yılı içerisinde biyokütle ve kömürün birlikte kullanımına yönelik teknolojiler ile ilgili olarak bir seminer düzenlenecektir. Proje ile ilgili ayrıntılı bilgilere www.netbiocof.net internet adresinden ulaşabilirsiniz.

Dr. Tansel Şener
TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi,
Enerji Enstitüsü

Kaynaklar

1-) www.netbiocof.net

2-) <http://www.energetik-leipzig.de/Referenzen/Bio-CHP-best-practice-guide.pdf#search=%22Ileksa%20biomass%20chp%20plant%22>

3) <http://www.enprima.com/references/ileksa.htm>

rinde yapılan maliyet analizine göre yaklaşık % 65, ağırlık ve hacim analizine göre yaklaşık % 85'lik kısma karşılık gelen yakıt pili modül bileşenlerinden bipolar plaka, membran elektrot ünitesi ve elektrokatalizör üretimi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Geline nokta itibariyle ilgili ürünler için verilen kriterleri sağlayan, dünyada ticari olarak satılan ürünlerden daha iyi teknik özelliklere sahip ürünler üretilmiştir. Ayrıca üretilen bileşenlerin geliştirilen üretim tekniğine göre maliyet

analizleri yapılmış ve yöntemin oldukça ekonomik olduğu görülmüştür. Bu veriler doğrultusunda ürünün ticari üretimi için üretim hattı kurma çalışmaları başlatılmıştır. Yakıt pili bileşenlerinden biri olan bipolar plaka ilk ürünü ise Sayın Başbakan Recep Tayyip ERDOĞAN'ın TÜBİTAK MAM Ziyareti'nde sunulmuştur (18 Kasım 2005).

Dr. Tansel Şener
TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi,
Enerji Enstitüsü

Yenilendi!

Bilim Postası



Haberleşmeyi kağıdın dokusu mürekkebin kokusu ile yapmak isteyenler için

[Tıklayın...](#)

Matematik Bir Oyundur



Matematiğin büyüdü dünyasında bir gezintiye ne dersiniz?

[Tıklayın...](#)

Kendimiz Yapalım Elektronik bilginizi ürüne dönüştürmek ister misiniz?

[Tıklayın...](#)

Sonsuz Takvim



Doğduğunuz günün haftanın hangi gününe denk geldiğini merak ediyor musunuz?

[Tıklayın...](#)

HAYDI ÇEVİRİ



Kaç pound ağırlığında olduğunuzu merak ettiniz mi?

[Tıklayın...](#)

Sınırsız Sayılar

On, yüz, bin, milyon, milyar, ve sonra??? Okunmasını merak ettiğiniz sayıyı yazın, sizin için okuyalım.

[Tıklayın...](#)

Orada Saat Kaç?



Dünyanın farklı yerlerinde saatin kaç olduğunu öğrenmek için

[Tıklayın...](#)

Psikoloji

Kendinizi tanımak mı istiyorsunuz? Fobiler, kompleksler Psikolojik boyutları Psikolojiye ilgili herşey...

Sanal Sergi

BİLİM ve TEKNİK sizin için ürettiği fotoğrafların sergilenmesi için [sanal](#)

ŞİDDET

Her yıl bir milyondan fazla kişi, şiddet eylemleri nedeniyle yaşamını yitiriyor. Her 40 saniyede bir kişi intihar ediyor. Şiddetin yol açtığı maddi zararları hesaplamak kolay değilse de, yol açtığı sağlık harcamalarının milyarlarca dolar açığından kuşku yok.

Uranyumlu Mermiler

Geçtiğimiz haftalarda İsrail'in Lübnan'da diğer silahları yanı sıra uranyumlu mermileri de kullandığı basın ve İnternet sayfalarında yer aldı. Uranyumlu mermiler ilk kez, yine İsrail'ce 1978'de Filistin'de kullanılmıştı.



Tüm poster ve kitapçıklar için [tıklayın.](#)

Anadolu'da Keltler

Ankara'yı ilk kez başkent yapan ve adını veren kavmin Keltler, Anadoludaki adıyla Galatlar olduğunu biliyor muydunuz?



FOTOĞRAFLAR VE SONUÇLAR İÇİN TIKLAYIN...

Merak Ettikleriniz

Derin dondurucuda saklanan yemek veya sebzelerin besin değerlerinin tamamen kaybolup kaybolmadığını merak ediyorum. (Nuriye Özbayram) [Tıklayın...](#)

Metallerin (çelikler, alüminyum vb.), bir birinin ne kadar ağırlık çekeceğine dair bir tablo var mı? (Volkan Çolak) [Tıklayın...](#)

Sizce dünyada kaç tane insan vardır? (Şive Özdemir) [Tıklayın...](#)

Bilim ve Teknoloji Haberleri

Mamut Sanşını!

43.000 yıllık DNA ile yapılan analizlere bakılırsa, çeşitli betimlemelerinde koyu renkli gömmeye ağırlığımız mamutların arasında, oasişlika tek tük sanşınlar da yok değımiş! ... [Tıklayın...](#)

EN ÇOK MERAK EDİLENLER (Cevaplar için, üzerlerine tıklayınız)

<p>Boyum daha Uzar mı?</p>	<p>Beynimin % kaçını kullanıyorum?</p>	<p>KENeden ne kadar korkmalıyız?</p>	<p>Kuş gribi NEDİR?</p>
<p>Genel görecelik</p>	<p>Özel görecelik</p>	<p>Sürtünme kuvveti NEDİR?</p>	<p>Devr-i daim makineleri neden çalışmaz?</p>
<p>Einstein'ın kütleçekim kuramı</p>	<p>Einstein'a göre ışık zaman</p>		

Bilgi Paketleri	Dijital Elektronik	Evrön	Duyular
Dünyamız	Üreme	Hücreye Yolculuk	Genler ve DNA
Klonlama	Canlılar Dünyası	Periyodik Tablo	Temel Kimya
Ekosistem	Jeolojik Devirler	Robotik	Maddenin Yapısı

TUBİTAK BİLİM VE TEKNİK DERGİSİ 39 YILLIK BİLGİ HAZİNESİ DVD'Sİ KULLANIM KILAVUZU

TIKLAYINIZ !!

Yeni Ufuklara Cilt-2 KİTAPÇILARDA!!

BİLİM TEKNİK

Kullanıcı Adı
bilek123

Sifre

Arşivi Gez
Abone Ol

Etkinlikler & Şenlikler

Formula TUBİTAK '07

Başvurular başladı!

Gökyüzü Gözlem Şenliği

TUBİTAK BİLİM KAMPİ

Başvurular devam ediyor!

Biyoloji-Genetik-Tıp-Veterinerlik Projeleri

Buluş Şenliği

Nerede Ne Var?
Üniversitelerin, kamu kurum ve kuruluşlarının, destek, vakit ve meslek odalarının düzenlediği etkinliğini kuruyoruz.