

Tabii aynı zamanda orada çalışacak personel için gidip gelişi sağlayacak uzay gemilerine ihtiyaç olacaktır, bu personel enerji istasyonunu geostasyonel yörüngesinde tutacak, işletecek ve bakacaktır.

Teknik bakımından, ki uzmanlar böyle düşünüyorlar, bu projeyi her zaman yeniden ele almak mümkündür, zira artık basitçe Apollo teknolojisi üzerinde yapılacak her şey iyice öğrenilmiş ve denenmiştir. Işın kritik tarafı maliyetindedir. Buna rağmen Boeing teknisyenlerinin söylediklerine göre, maliyet hesapları da oldukça iktisadidir. 30 yıl ömrü olabilecek 10.000 MW gücünde bir uzay enerji istasyonunda, bu uzmanların çok esaslı hesaplarına göre bir kilowatt - saat elektriğin fiatı, 7,5 Pfennige mal olacaktır. Bu bugün USA'da hüküm süren normal akım fiatına eşittir. Öte yandan yine yapılan hesaplara göre böyle bir enerji istasyonu sahibine bu süre içinde 200 milyar Mark kâr sağlayacaktır. Bu da böyle bir girişimin faiz ve amortizasyonu ile oldukça iyi bir kazancı finanse etmeye yeterli gelecektir. Bununla beraber aynı zamanda bütün bu rakamların "tamamiyle saf aritmetik bir model" oluşturdukları düşünülmekte ve bu gibi

kouulların ne zaman gerçeğe tam olarak uyup uymayacaklarına kuşku ile bakılmaktadır.

ERDA 2000 yılından sonra işletilebilecek bir güneş enerji istasyonunun gelişim giderlerini yaklaşık 150 milyar mark olarak tahmin etmektedir. Bu ise bütün Apollo - Ay programı için harcanan paranın 2,5 katı demektir. Bütün öteki başka kuvvet istasyonları buna oranla çok daha ucuz olacaktır. Önümüzdeki üç yıl için NASA çok daha mütevazî olan 85 milyon marklık bir miktar ile hesap etmektedir. Bu rakamlar ve ölçüleri göz önünde tutar ve bir taraftan da bugünkü uzay uygulamalarını bunlarla kıyaslırsak, bütün bu düşünceler utopik olmaktan ileri gidemez. Şehirlerin büyüklüğünde ve savaş gemilerinin ağırlığındaki uydular insana olanaksız görünmektedir.

Yüzlerce uzay işçisinin kuvvet istasyonlarının teker teker parçalarını montaj etmesi bugün insana bir hayal gibi gelmektedir. Buna rağmen incelemeler ve araştırmalar, uzay enerji istasyon etütlerinin çok yakın bir zamanda gerçekleştirileceğini göstermektedir. Eğer uzmanlar hesaplarında büyük bir yanlış yapmamışsalar, 25 yıl bile geçmeden uzayda birçok yeni şeyler olacaktır.

HOBBY'den

## GÜNEŞ IŞIĞIYLA SUYUN AYRIŞMASI

Arthur FISCHER

*Elimizdeki en bereketli kaynağı gün ışığı ile ayrıştırarak hidrojen yakıtı ve belki de elektrik üretmek işten bile değil.*



Geçen yaz California Teknik Üniversitesi Kampüsünde, Kimya bölümünden bir asistan laboratuvardan çıkıp mavi renkli bir sıvıyla dolu kabi taşıyarak caddeyi geçti ve Pasadena güneşinde yürümeye girişti.

Daha yarı yola gelmeden, mavi sıvının rengi attı ve usuldan usula fokurdamaya başladı. Öteki laboratuvarın bulunduğu binaya vardığında elindeki kaptaki sıvının mavi rengi sarıya dönüşmüştü.

Arşimet gibi 'Eureka' diye bağırıp bağırmadığını bilmiyoruz ama bağırırsaydı yerinde olurdu doğrusu. Kabın içindeki sıvı Profesör Harry B. Gray'in yönettiği bir kimyalar ekibince hazırla-

nan metal Rhodiumla kompleks bir organik bileşikti. Bu yeni bileşimin becerdiği iş ise güneş ışığının enerjisini toplayarak sudan serbest hidrojen gazı oluşturmak olmuştur.

Şöyle böyle 2600 mil öteelerde, hemen hemen 1 yıl önce Cambridge Massachussets Teknik Üniversitesinde de buna benzer şaşırtıcı bir deney yapılmıştı. Profesör Mark S. Wrighton'un yönetiminde bir araştırmacılar grubu içinde su ve kostik sodadan oluşan yeni bir fotokimyasal pilin elektrodunu mor ötesi ışınlarla ışınlamışlar ve ansızın bir elektrodan serbest oksijen ötekenden de hidrojen gazının çıkmaya başladığını gözlemişlerdi.





### Ekonomik Açıdan Hidrojenin Getirdikleri

Neden suyu ayırıştırırız? Hidrojen elde etmek için. Çünkü hidrojen ideal bir yakıttır ve uzun süredir 'hidrojen ekonomisi'nden söz eden uzmanların rüyalarını oluşturmaktadır. Yakıldığında bıraktığı artık hiç bir zararı olmayan masum sudur. Gayet yüksek bir enerji yoğunluğuna sahiptir —birim ağırlık başına enerji—; enerji yoğunluğu örneğin metan gazının iki katıdır. Depolanabilir, taşınabilir. Ve evrenin yapıtaşı olan hidrojen oksijenden sonra yeryüzünde en çok bulunan elementtir. Çok nadir olarak iki hidrojen atomundan oluşan serbest gaz şeklinde bulunur.

Buna karşın organik ve anorganik diğer bileşiklerin yapısında her zaman bulunan bir elementtir. Örneğin yakıt olarak kullandığımız ve gitgide azalan hidrokarbonlar en kuşkusuz en bereketli kaynak olan suda bulunur. Gelecek yıllarda enerji gereksinmemizi karşılayacak olan hidrojen denizlerde bol bol bulunmaktadır.

Ancak su molekülü bozuşmaya en az yatkın bir moleküldür (aksi halde dünyamızda bu denli bol bulunmazdı).  $H_2O$ 'nun hidrojen ve oksijene ayrışması için enerji gerekir. İşte hidrojen ekonomisi'nin püf noktası da fazla çaba sarfetmeden su molekülünden serbest hidrojeni açığa çıkarmakta yatmaktadır.

Bugün, Japonya'da Yokohama Ulusal Üniversitesinden, Avustralya'daki Flinders Üniversitesine kadar dünyanın dört bucağındaki bilim adamları bir kimyasal soruna meydan okuyacak yöntemleri bulmanın peşindedir; suyu en ekono-

**Güneş enerjisi ile suyu ayırıştırmanın iki yaklaşımı bu sayfadaki fotoğraflarda görülmektedir.**

**Caltech'den Prof. Harry B. Gray yukarıdaki küçük fotoğrafta elinde, içinde, çekirdeğinde metal rhodium atomları bulunan insan yapısı bir organik bileşikten meydana gelen bir karmaşımı içeren iki şişeyi tutmaktadır. Normal olarak oriyiktaki bileşik mavidir. Fakat güneş ışığında bırakıldığı takdirde suyla beraber hidrojen gazını serbest bırakacak şekilde bir etki yapar ve derhal soldaki şişede görüldüğü gibi rengi sarıya döner.**

**Soldaki fotoğrafta ise MIT'ten Profesör Mark S. Wrighton ve arkadaşları tarafından geliştirilmiş olan foto kimyasal bir hücrenin bir elektrotuna kuvvetli mavi ışık verilmiştir. Bu "aydınlık" elektrotun n-tipi bir yarı iletken, strontium titanat'tan yapılmıştır.**

**Fotoğrafta oksijen habbeciklerinin yukarı çıktığı görülmektedir. Hidrojen habbecikleri ise platinden yapılmış "karanlık" elektrotta oluşmaktadır. Elektrolit sodyum hidroksit'in sudaki bir eriyiğidir.**

mik ve en az enerji kullanımını gerektiren bir yöntemle ayırştırmak. Bu konuda pek çok yaklaşım var; örneğin elektrik enerjisi, ısı, kimyasal maddeler, ışık, ya da bunların birkaçını kullanarak suyu ayırştırma olasılığı var; bütün çok yaklaşmalı yöntemlerden biri örneğin bir fotokimyasal ile iki elektrokimyasal aşamadan oluşmakta.

Ben bu yaklaşımlardan ışığı kullanan yöntemi benimsedim, nedeni ise en yakın, en cici ve en verimli olması —yani eğer tutarsa Nasreddin Hoca'nın göle maya çalması gibi—. Bir kez, gün ışığı en bol ve kısıtsız kullanacağımız bir kaynak. Buna karşın elektrik enerjisi için aynı şeyleri söyleyemeyiz. Elektrik enerjisinin pahalı olması yanısıra, elektroliz de pek etkin bir süreç değil. Isıyla suyu ayırştırabiliriz, ancak pirolizi yapabilmek için 4 C°'ye varan bir ısı uygulanması gerekiyor ki bu da peşisıra sorunlar getirmekte.

Işıklı suyu ayırştırma yöntemi üzerinde çalışan birçok laboratuvarın ben Caltech ve MIT'dekileri ziyaret ettim. Bunların yöntemleri şu iki ana çizgide oluşmakta. MIT'nin uyguladığı yöntem elektrik enerjisi üretmek için bir ışık doğuran elektrod kullanmakta ve bu yöntemle suyun iyonları serbest hidrojen ve oksijen üretmektedir.



Caltex'in uyguladığı ikinci yöntemde ise sudan doğrudan doğruya hidrojeni açığa çıkaran bir ışık soğuran kimyasal madde kullanılıyor.

Caltex'deki laboratuvarları ziyaret etmem sırasında Harry Gray "Araştırmacıların % 99'u suyu ayırtmada katı elektrodları kullanıyor. Bir bölümü de suda çözülmüş moleküllerle bunu yapma çabasında; biz işte bu kategoriden araştırmacılarız" dedi.

Dr. Gray'in ekibinin geliştirdiği kimyasal madde bir Rhodium kompleksi. Molekül yapısı tıpkı bir rüzgâr değirmenini anımsatıyor, göbekte iki metal Rhodium atomu adeta vana düzecinde karbon, hidrojen ve azot atomlarıyla sımsıkı kenetlenmiş.

Gray, "bu bileşiği suya koyduğumuzda rengi mavi, gün ışığına tutulunca, ya da laboratuvarda geliştirilen sentetik gün ışığı kaynağına tutulunca rengi sarıya dönüyor ve hidrojen açığa çıkıyor. Yani biz suyu ayırıştırarak enerji elde etme yönteminde tersine bir yöntem uyguluyoruz. Yani kimyasal enerjinin depolanması ve bunu da güneş spektrumunun görünen ışık bölümünü kullanarak başarmaktayız" diyor.

### Çift Elektron Etkimesi

İşte bakın temel süreç nasıl çıkıyor; güneşten kaynaklanan ışık enerjisinin bir fotonu bu yeni bileşiğin molekülüne çarptığında, ortadaki iki Rhodium atomları birer elektron yakalar. Bu iki elektron da bir çift hidrojen iyonu ile birleşerek hidrojen gazının açığa çıkmasını sağlar (hidrojen iyonu tek elektronunu yitirmiş bir hidrojen atomu olarak tanımlanmaktadır).

İşte diğer fotokimyasal bileşiklere üstünlüğü de budur bu yeni kimyasal maddenin. Öteki fotokimyasal bileşikler bir ışık fotonu soğurduktan sadece bir elektron açığa çıkarmaktadır. Buna 'tek-elektron-sorunu' diyor güneş enerjisini dönüştürmede uzman kişiler. Bütün sorun ilk ağızda iki elektronu hidrojen iyonu ile birleşip serbest hidrojen molekülü oluşturmasındadır. İşte çift elektron etkimesi bunu sağlıyor.

Gray sözüne devamla şöyle diyor: "Bizim burada yaptığımız hidrojen iyonlarını serbest hidrojene indirgemek ve Rhodiumu bileşiğini sarı renkli Rhodium'a yükseltmektir. Böylece suyu ayırıştırma sürecinin ilk yarı aşamasını başarıyla gerçekleştirmiş oluyoruz. Şimdi başarmaya çalıştığımız molekülün ilk biçimine dönebilmek. Aslında suda kalan hidroksil iyonlarını oksitleyerek oksijen elde etmek ve hidrojen iyonlarını geri kazanmak olanağı var".

Gray şöyle sürdürüyor konuşmasını; "Çözelti içindeki moleküllere dayalı bir sistemi gözümün önüne getiriyorum; Kimyasal madde ışığı soğurur —tıpkı bir boya gibi—. Bu maddeyi tutup bir su tankına koyarsanız ve bu masmavi çözeltiyi gün ışığına bırakırsınız, bir bakarsınız sapsarı olmuş, çıkan hidrojeni toplarsınız. Reaksiyon bittiğinde bütün sistemi belki de bir termal devreden geçi-  
rerek serbest oksijen oluşturur ve sisteme tekrar eski mavi görünümünü kazandırabilirsiniz. Yeniden hidrojen elde etmek üzere bütün sıvı kitlesini yeniden güneş sistemine pompalamak mümkün. Eğer kullandığımız moleküller yapısal olarak stabil ise yıllarca bu devri daimi yinelemek olasılığı var. Her Rhodium atomuna ya da bir başka metal atomuna karşın binlerce hidrojen molekülü üretebilirsiniz. Ama eğer başlangıçta kullandığınız bileşimi geri kazanmanız olasılığı yoksa, Rhodium'u sadece hidrojen elde etmede kullanır olursanız ki bu da yakıt elde etmede çok pahalı bir süreçtir".

Gray içinde sarı çözeltilerin bulunduğu kabı göstererek "İşte şu anda sorunumuz bu sarı çözeltiyi maviyeye dönüştüremememizde.." dedi. Aslında 100 °C'ye ısıtırsak —ki bunu güneş enerjisi kullanarak rahatça sağlayabiliriz— yine ilk baştaki mavi çözeltiyi elde edebiliriz. Ama bu süreç pek etkin değil, ancak 2 ya da üç kez yineleyebiliriz, sonunda Rhodium kompleksi bozuşuyor.

Hidrojen türeten sistemin randımanı da düşük; 4 molekül hidrojenin açığa çıkması için sisteme 100 fotonluk bir ışık verilmesi gerek. Eğer 100 foton başına 30 molekül hidrojen kazanabilirsek bu çok başarılı bir verim olur.

Gray'e sorarsanız bütün bunlar kolayca üstesinden gelinbilir sorunlar, örneğin Rhodium yerine başka metallerin ikamesi ve molekülün yapısıyla oynamakla çözümlenebilecektir.

Rhodium rastlansal olarak doğru yörgüngelerinde istenen sayıda elektronları olan bir metal olduğu için bu süreci başaran bir metal. Aynı mutlu molekül yapısına sahip öteki metal atomları demir, kobalt, palladium ve platin. Ancak şimdikiye dek yalnız Rhodium bu sınavı başarıyla veren metal..

Gray, "30 - 40 yıl içinde suyu ayırştırmak kompleks bir sorun olmaktan çıkacak ve adeta bir oyuncak gibi oynayarak çeşitli uygulama alanları bulacağız" diyor.

Bu uygulamaların pek çoğu MIT'den kaynaklanacak kuşkusuz, Profesör Mark S. Wrighton ve ekibinden umutluyuz. Benim gözlediğim ve resimlerini çektiğim deneyde, yarı loş laboratu-



varda fotoelektrokimya sürecinin uygulanması ile suyun nasıl ayrıştırıldığına tanık olduk.

Bu laboratuvarıda etrafına monitörler dizilmiş bir behere araştırmacılar bir devreye bağlı iki elektrod doldurmuşlardı. Beherde içinde kostik soda ya da sodyum hidroksit bulunan bir çözelti vardı; sodyum hidroksit, suyun iletkenliğini sağlıyordu; yani bir elektroliz olayına tanık olma-  
taydık.

Buraya kadar olay basit bir elektroliz olgusundan yani suyun elektrik ile ayrışmasından başka bir şey değilmiş gibi görünüyor, hani hepinizin lisede kimya derslerinden bildiğimiz elektroliz olayı. Ancak bildiğimiz elektrolizde devrede ya bir batarya ya da bir elektrik akımı üreten aygıt bulunur ve reaksiyonun devam edebilmesi yani elektrodlardan hidrojen ve oksijen gazlarının çıkabilmesi için bir akım kaynağının elektrodlar arasındaki geriliminin en az 1.23 volt olması gerekmektedir.

Wrighton'un laboratuvarında ise sisteme bağlı ne bir batarya ne de başka bir elektrik üretici bulunmamakta. Onun yerine asistanlardan biri elektrodlara bir cıva arkından yoğun bir mor ötesi ışın demeti yöneltilmekte. Işını alan elektrod, n-tipi yarı iletken olarak bilinen ve katı hal materyal grubunu oluşturan Stronsyum titanatdan oluşmaktadır.

Deneyi gözlerken behere içinde ufacık habbelerin oluştuğunu gördüm, bunlar platin elektrod-  
dan çıkan hidrojen ve öteki elektrod-  
dan çıkan oksijen gazının oluşturduğu habbelerdi. Foto anod üzerine yöneltilen ışık demeti suyu ayrıştıracak gerilimi sağlayacak güçte bir elektrik akımı meydana getirmekteydi.

Daha sonra kahvelerimizi yudumlarken Wrighton bana, bilim adamlarının daha yıllar öncesinden elektrod-  
lara yöneltilen ışıkla bir akım oluşturulabildiğini bildiklerini anlattı. Kendi laboratuvarı da dahil birçok araştırma laboratuvarında fotoanod olarak çeşitli materyelleri denemektedirler. Ama şimdideki fotoanod olarak kullanılan maddelerin hiçbirisi suyu ayrıştıracak gerilimi sağlayacak güçte akım oluşturamamış.

## Yeni Bir Elektrod

Derken 1976'da aralarında Wrighton'un ekibinin de bulunduğu 3 araştırma grubu tarafından Stronsyum titanat piyasaya sürüldü. Deney sonuçları kimya dünyasında heyecan uyandıracak düzeyde ve yeni araştırmalara hız verecek nitelikteydi. Wrighton, "Stronsyum titanat pilinin

toplanan hidrojendeki bütün enerjisi kullanabildiğimizi varsayarsak bile etkinliği güneş ışığında % 1 mertebesindedir. Bunun nedeni Stronsyum titanatın güneş spektrumu sadece mor ötesi kısmına duyarlı olmasıdır. Oysa ki sistemin pratikle uygulanabilir olması en az % 10 etkinliği gerektiriyor." diye sözlerini sürdürdü. Stronsyum titanatdan çok daha etkin başka maddeler bulundu ama bunlar da dayanıklı değillerdi, elektrod olarak kullanmaya kalkıldıkta çabucak bozuyorlardı.

Geçenlerde yaptığımız ikinci bir görüşme sırasında Wrighton bana % 30 kadar etkin olan diğer elektrod malzemelerinin stabilizasyonu üzerinde çalışmalarını sürdürdüklerini anlattı. MIT'de yapılan buna benzer bir çalışmada çok ilginç sonuçlar alınmış. Wrighton ekibi, cadmium ve benzeri bileşiklerden oluşan bir dizi fotoelektrodu stabilize etmeyi başarmışlar. Piller suyu ayrıştırmıyormuş ama devamlı bir elektrik akımı elde edilmekteymiş, "Bell laboratuvarı da dahil biz ve diğer çalışma grupları bu sistemleri kullanarak güneş ışığını % 9 oranda elektrığe dönüştürmeyi başardık" diyor. Wrighton "Bu direkt sistemle şimdideki geliştirilenlerin en yükseği olmasa bile pek de düşük bir elde sayılmaz".

Wrighton'un şimdi üzerinde çalıştığı konu, elektrodu korozyondan korumak ve çözeltiden oksijen elde edebilmek için yarı iletken elektrodun yüzeyini özel bir madde ile kaplamak...

Acaba moleküler sistem mi yoksa fotoelektrokimyasal sistem mi en başarılı sonucu verecek, ne düşünüyorsunuz? diye sorduğumda "Her iki yaklaşım içinde araştırmaları sürdürmekteyiz; ben her ikisine de eşit şans tanıyorum" dedi.

Profesör Wrighton olsun Profesör Gray olsun hernekadar ikisini de kilometrelerce mesafeler birbirinden ayırmaktaysa da iki yöntemin ya da buluşun bir arada uygulanabilirliği hiç de uzak bir olasılık sayılmamaktadır. Gray'in bana dediğine göre kendi oluşturduğu devrenin oksijen üreten yarı bölümünü tamamlamaya belki öteki yöntem bir çözüm getirecek. Wrighton'a böyle bir kombinasyonun geçerli olup olmayacağını sorduğumda şu cevabı verdi:

"Diyelim ki stronsyum titanat elektrodunu kullanarak bir pil de oksijen üretmiş olalım. Ve de varsayalım ki Harry Gray'in molekülünü de öteki elektrodta —büyük bir olasılıkla Platin elektrod kullanılacaktır— bağlayalım. Şimdi her iki elektrodu birleştirip güneş ışığına bıraktığımızda Gray'in sisteminden hidrojen, bizim sistemden de oksijen çıkacaktır, işte bu kadar!"

**POPULAR SCIENCE'den  
Çeviren: Kismet BURLIAN**