

AYLIK POPÜLER BİLİM DERGİSİ

BİLİM ve TEKNİK



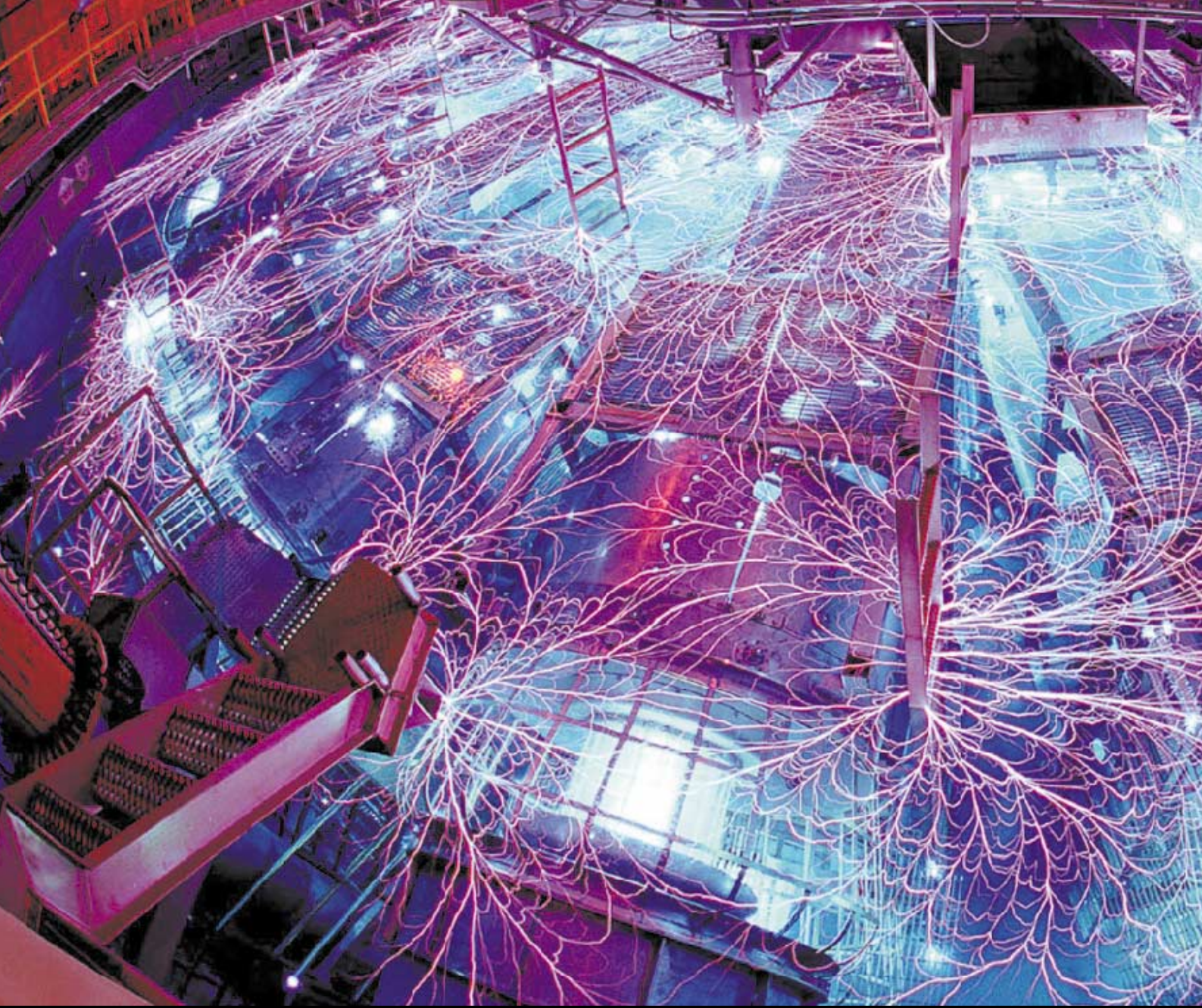
YENİ UFUKLARA

ENERJİ

Hazırlayan : Prof. Dr. Vural Altın
Boğaziçi Üniversitesi

OCAK 2002 SAYISININ ÜCRETSİZ EKİDİR

UYGARLIĞIN

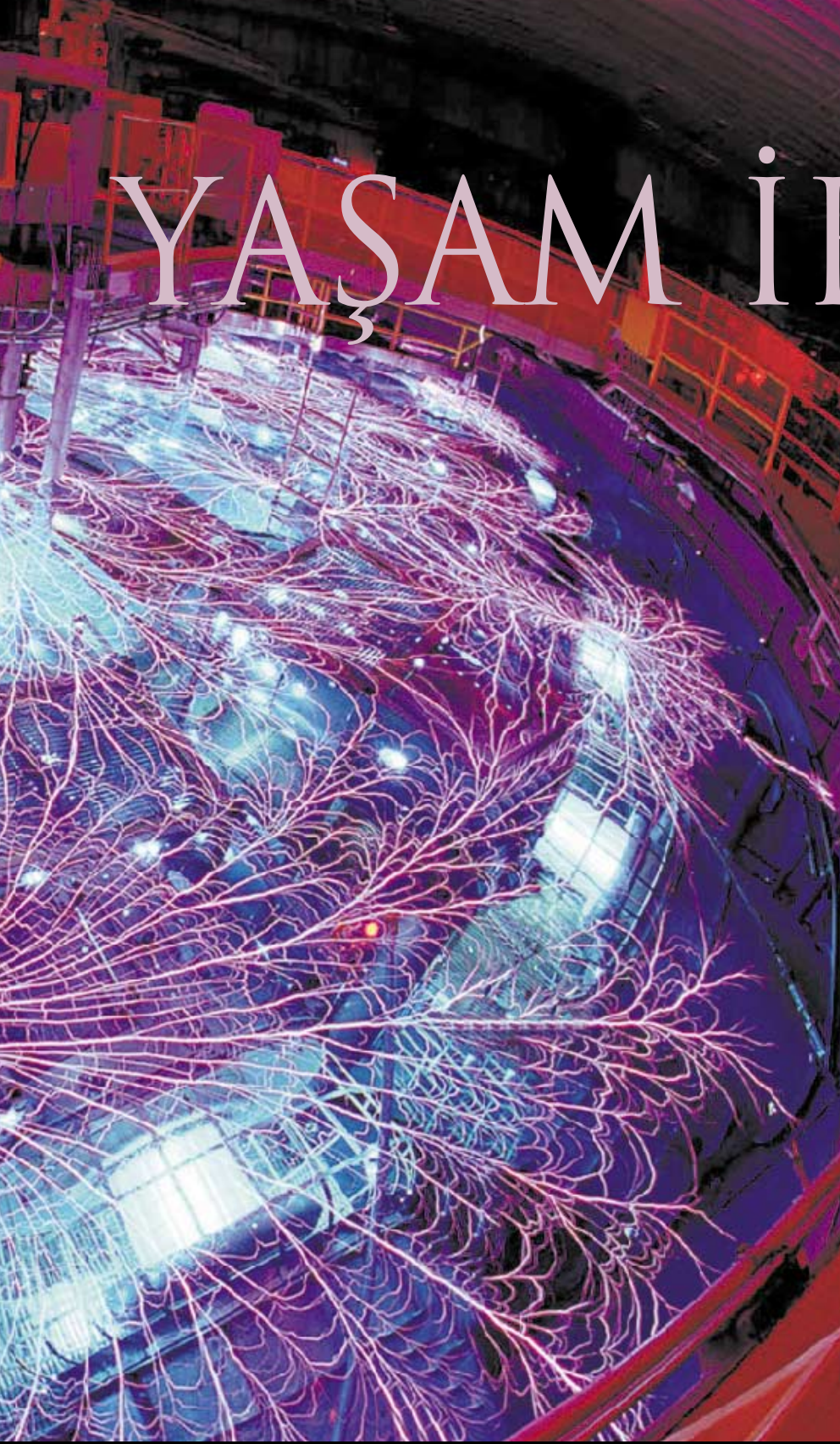


YERE düşen bir yumurtanın kırılıp parçalandığını, defalarca görmüşsünüzdür. Bu 'tersinir olmayan' bir olaydır. Çünkü olayın tersinin kendiliğinden oluştuğunu, yani kırık bir yumurtanın kendiliğinden derlenip toparlanarak eski haline döndüğünü, asla görmemişsinizdir. Bu ikincisi 'tersinir' bir olaydır ve aslında,

fizik yasaları bu olaya engel değildir. Fakat gerçekleşmesi olasılığı o kadar küçüktür ki, hiçbir insanın böyle bir olaya tanık olmadığını ve olamayacağını güvenle iddia edebiliriz. Tersinir bir olayın kendiliğinden yer aldığına tanık olamayız demek, olaya asla tanık olamayız demek değildir. Kırık bir yumurta, atomlarına ya da moleküllerine varıncaya kadar parça-

lanmış dahi olsa, dış etkenler aracılığıyla eski haline getirilebilir. Bu tersinir işlem için gerekli malzeme kırık döküklerde zaten varolduğuna göre, söz konusu dış etkenlerin tümü tek bir kaleme, yani enerjiye indirgenebilir. Nitekim dünyadaki milyarlarca tavuk bu tersinir işlemi her gün gerçekleştiriyor ve bünyesinde barındırdığı atomlarla molekülleri, yumurtalı-

YAŞAM İKSİRİ



ğında bir araya getirip sağlam birer yumurtaya dönüştürüyor. Bunu yaparken kullandığı etken, besin maddelerinden sağladığı enerjidir.

Yumurtayı oluşturan atomlar ve moleküller, kırılma olayından önce derli toplu ve düzenli, kırılmadan sonraysa darmadağın ve karmakarışık bir haldedir. Kırılma sonunda, yumurta sisteminin düzensizliği artmıştır. Çok

sayıda parçadan oluşan sistemlerin düzensizliğinin bir ölçüsü vardır ve buna 'entropi' denir. Yumurtanın kırılması gibi 'tersinir olmayan' olaylara maruz kalan kapalı sistemlerde entropi artarken, yumurta oluşumu gibi 'tersinir' olaylara maruz kalanlarda azalır ya da aynı kalır ve buna termodinamiğin ikinci yasası denir. Ancak, her ne kadar fizik yasaları bunu

zorunlu kılmasa da, ikinci türden olaylar için, yani sistemdeki düzensizliğin azaltılması için, uygulamada da ima dışarıdan enerji gerekir.

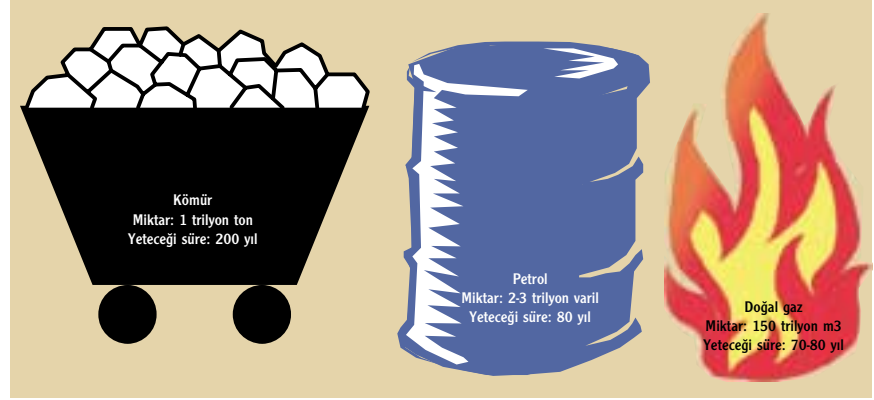
Kıscası yumurtlamaya hazırlanan bir tavuk, tersi kendiliğinden gelişebilecek olan zor ve tersinir bir olayı başarmakta, bünyesi dışından sağladığı enerji sayesinde, bünyesindeki düzensizliği azaltıp, düzeni artırmaktadır.

Aslında bütün canlı süreçleri böyledir ve canlı organizmalar, dışarıdan sağladıkları enerjiyi kullanarak, bünyelerindeki düzensizlikten düzen yaratırlar. Bir köprünün inşaa süreci de böyle, tersinir bir olaydır: Gözlemediğimiz kadarıyla kendiliğinden gerçekleşmez, ama tersi (hemen hemen) kendiliğinden gerçekleşebilir. Bu açıdan canlı süreçlere benzer. Bir havaalanı, otoyol, gökdelen inşaatı da öyle... ya da bilgisayar, televizyon, uydu yapımı... Aslında düşünce ürünleri de dahil olmak üzere, refah ve uygarlığın sembolü olan tüm yapıtların oluşumu, canlı süreçlere benzer: dışarıdan enerji kullanarak düzensizlikten düzen yaratılır. Bu açıdan bakıldığında, toplumsal yaşam ne kadar çok sayıda tersinir olay başarıyorsa, o denli canlıdır ve ne kadar canlıysa, o kadar çok enerji tüketiyordur. Tabii, enerjiyi verimli kullanmak koşuluyla. Toplum bu sayede bir bakıma, bünyesindeki düzensizliği, yani entropisini azaltıyordu. Nitekim dünyadaki çeşitli coğrafyalara bakıldığında; enerjinin verimli ve fazla tüketildiği yerlerde düzenin, aklın egemenliğindeki bir yaşam tarzının var olduğu görülür. Bu bir rastlantı değildir ve bir toplumun, refah yaratıp uygar bir çizgi yakalayabilmesi için, gereksinim duyduğu kadar enerjiyi rahatlıkla temin edebilmesi gerekir. Enerji, genelde hayat, özelden de insan hayatı için son derece önemli, stratejik bir girdidir. □

ÖNÜMÜZDEKİ

Dünyamızın mevcut enerji kaynakları kabaca; 'fosil,' 'yenilenebilir' ve 'yeni' olarak sınıflandırılır. Kömür, petrol ve doğal gaz, fosil kaynaklardır. Su, güneş, rüzgâr, jeotermal ve biyokütle yenilenebilir kaynakları oluşturur. Nükleer enerji, yakıt hücreleri ve hidrojen enerjisi gibi, yakın zamanlarda gündeme gelmiş olan kaynaklarsa, yeni kaynaklar olarak sınıflandırılır. Bir diğer sınıflandırma biçimi de 'birincil-ikincil' ayrımına dayanır. Başka enerji kaynaklarından elde edilmemiş olan kaynaklara 'birincil,' öyle olanlara 'ikincil' denir. Örneğin fosil kaynaklar birincildir. Ama elektrik; su gücünden elde edilmişse birincil, fosil yakıtlardan elde edilmişse ikincil sayılır. Bu ayırım, enerji kaynaklarının muhasebesi açısından önemlidir ve birincil kaynaklar özet olarak; fosil yakıtlar, hidro ve nükleere ek olarak, 'diğer' kaynaklardan (jeotermal, rüzgâr, güneş ve biyokütle, yani odun ve atıklar) oluşur.

1999 yılı itibariyle dünya birincil enerji üretimi 8,58 milyar ton petrol eşdeğeri. Petrol, doğal gaz ve kömürün bu üretimdeki payları sırasıyla %39,4, %23,0 ve %22,4. Yani petrol bu işin kralı ve açık farkla önde. Hidro, nükleer ve 'diğer' kaynaklardan üretilen elektrik, birincil enerji üretimi içinde %7,1, %6,6 ve %0,7'lik paylarla dördüncü, beşinci ve altıncı sırada geliyor. Fosil yakıt olarak yılda halen yaklaşık olarak; 5,1 milyar ton kömür, 3,1 milyar ton petrol, 2,4 trilyon metreküp doğal gaz tüketiliyor. Bu üç fosil yakıt halen dünya birincil enerji tüketiminin %85'ini, ticaretinin de %90'ını sağlıyor. Ayrıca, dünya enerji talebinde 2020 yılına kadar yer alacak olan artışın %95'ini karşılamaya devam edecekleri sanılıyor. Buna karşın 1960'larda hakim olan 'kaynaklar tükeniyor' endişesi azalmış durumda. Çünkü dünyamızın, 'ekonomik rezerv' olarak, şimdiki tüketim hızlarıyla yaklaşık 200 yıl yetecek kadar 1 trilyon ton kömürünün, 80 yıl yetecek kadar 250-350 milyar ton (2-3 trilyon varil) petrolünün, 70-



80 yıl yetecek kadar 150 trilyon metreküp doğal gazının olduğu tahmin ediliyor. Bu rakamlar kesin değil; daha iyimser ya da daha kötümser olanları da var. Fakat geçmişte olduğu gibi gelecekte de, bir yandan yeni rezervlerin bulunması, diğer yandan yükselen enerji fiyatları karşısında yeni 'çıkarma teknolojileri'nin devreye sokulması sayesinde 'bilinen rezerv'lerin zamanla artacağı kesin. Dolayısıyla fosil yakıtlar açısından, hiç değilse bu yüzyıl için rezerv sorunu yok. Arz talep dengeleriye, çok parametrelilik dinamik süreçler izliyor.

Kömüre olan talep, hızla doğal gaza yönelen Batılı ülkelerde azalırken, başta Çin ve Hindistan olmak üzere, gelişmekte olan ülkelerde artacak. 2020 yılına kadar beklenen net talep artışı 1,5 milyar ton, yüzdesi 39. Ancak kömürün arzı esnek. Dolayısıyla, beklenen talep artışını, ciddi fiyat artışları yaşanmaksızın, rahatlıkla karşılayabilir. Petrol biraz sıkıntılı. Çünkü herhangi bir kaynağın üretimi, rezervlerinin yarısı tükenene kadar artıyor, ondan sonra bir platoya erişip, daha sonra da azalıyor. Petrol için plato 2020'lerde başlıyor ve arz esnekliğini kaybediyor. Öte yandan, talep katı. Çünkü petrol tüketiminin önemli bir kısmı ulaştırma ile petrokimya sektörlerinde ve bu sektörler fiyatlara fazla aldırıyor. Dolayısıyla 2020'lerden sonra ciddi fiyat artışları beklenebilir. Öte yandan, ihracata konu olabilecek üretim fazlası esas olarak hâlâ, OPEC'in Orta Doğu'lu üyelerinde ola-

cak. Dolayısıyla bu bölge jeopolitik ilgi ve dengeler açısından hassasiyetini koruyacak.

İyi ki doğal gaz var ve petrol üzerindeki baskıları hafifletiyor. Tüketimi, düşük bir düzeyden başlamış olmakla beraber, biraz da bu yüzden, hızla artıyor. Çünkü, hem daha iyi yandığından daha az kirletici üretiyor, hem de bu kaynağı kullanan kombine çevrim santrallerinin verimi, kömür ya da petrole dayalı olanlardan daha yüksek. Talep tahminleri 2020'ye kadar her yıl %3,2 artarak 4,6 trilyon metreküpe ulaşıyor. Yoldaki kapsamlı üretim projeleri eğer zamanında gerçekleştirilebilirlerse, bu talebe yanıt verebilecekler. Bağlantılar 20-25 yıl gibi uzun vadelerle yapıldığından, fiyatlarda 2020'lere kadar istikrar bekleniyor. Ondan sonrası, hem de üretim platosuna girilmiş olduğundan, alternatif kaynakların fiyatlarına bağlı. Yakın rakibi petrole endeksli olduğu için, reel olarak hafif artışlar beklenebilir.

Hidro ve diğer yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektrik üretimininse, 2020'lere kadar her yıl %2 artması, buna karşın bu kaynakların toplam enerji tüketimi içindeki payının şimdiki %9'dan %8'e inmesi bekleniyor. Hatta bazı tahminlere göre %4'e. Bu eğilim ancak, kamu müdahalesi ve sübvansiyonlar aracılığıyla değiştirilebilir nitelikte. O halde, 2020 yılında payları %12'ye kadar çıkartılabilecek. Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimindeki artışın büyük kısmı, Çin ve Hindistan gibi gelişmekte

YİRMİ YIL...

olan Asya ülkelerindeki büyük hidroelektrik santralleri şeklinde. Diğer yenilenebilir kaynaklar, maliyet ve nitelikleri açısından, alternatifleriyle rekabette zorlanıyor. Bu kaynaklardan orta vadede gelişme potansiyeli taşıyanlar; rüzgâr enerjisiyle, başta fotovoltaikler ve yakıt hücreleri olmak üzere çeşitli formlarıyla güneş enerjisi. Jeotermal enerji ve biyokütle enerjisi, daha fazla ilgi görebilmek için daha zor şartları bekliyor.

Nükleer santrallerden elde edilen elektriğin şimdiki 2,4 Tws'ten, 2015'e kadar 2,6 Tws'e çıkacağı, bundan sonra 2020'ye kadar hafifçe azalacağı tahmin ediliyor. Başlangıçtaki artışın nedeni, gelişmekte olan ülkelerdeki kapasite genişlemesi. Sonraki azalmanın nedeniyse, gelişmiş ülkelerin, eskiyen nükleer santrallerini devre dışı bırakıp, yenilerini kurmamayı planlıyor olması. Japonya ve Fransa bu eğilimin dışında kalıyor, onlar yeni nükleer santraller konusunda kararlı. Gelişmiş ülkelerle gelişmekte olan ülkeler arasındaki bu asimetrik durum, halen az enerji tüketmekte olan bu ikinci grubun enerji kaynaklarını çok yönlü olarak geliştirmek zorunda olmaları gerçeğiyle uyumlu. Gelişmiş batılı ülkelere daha rahat, dolayısıyla enerji politikalarında daha esnek davranabiliyorlar. Çünkü nüfusları fazla artmıyor.

Öte yandan her 1000 kişi başına düşen otomobil ya da elektrikli ev aletleri sayıları olabildiğince yüksek. İleride artacağına benzemiyor. Ayrıca bu ekipman, yeni çıkan verimli modellerle değiştiriliyor. Satın alım gücü yüksek olan tüketici, araç ve alet stokunu 3-5 yılda bir yeniliyor. Konut ve işyerleri yeterince iyi ısıtılıyor, daha fazla ısıtı-

lacak hali yok. Dolayısıyla, bu ülkelerin enerji piyasaları belli bir doyuma ulaşmış durumda. Hatta bazı sektörlerde gerileme var.

Bu yaklaşık resim, eğer mevcut eğilimler aynen devam edecek olursa geçerli. Ama bir sorun var...

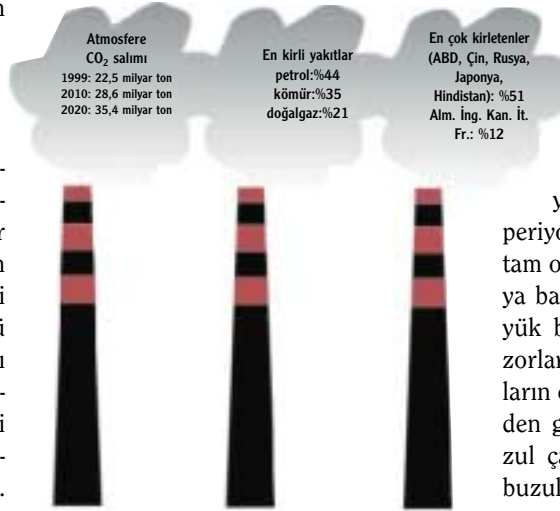
Sıcak Buzul Çağı

Fosil yakıt kullanımı atmosfere önemli miktarlarda kükürtdioksit, karbondioksit, metan ve nitrik oksit gibi gazlar salıyor. Bunlardan kükürtdioksit asit yağmurlarına yol açıyor. 'Sera gazları' denilen diğerleri ise, yeryüzüne çarpıp yansdıktan sonra frekans

dağılımı değişen güneş ışınlarını soğurarak, uzay boşluğuna geri kaçmalarını kısmen önüyor. En fazla salınan sera gazı karbondioksit. Karbonun atom ağırlığı 12, CO₂'in molekül ağırlığıysa 44 olduğundan, yakılan her gram karbon atmosfere 3,667 gram karbondioksit salınması anlamına geliyor.

Sonuç olarak, karbondioksit ve diğer sera gazları atmosferin ısınmasına yol açıyorlar. Geçen yüzyılda salınan gazların iklimin ısınması yönünde sağlamış olduğu dürtü 7 watt/m² ve bu, güneşin parlaklığında %1 artışa eşdeğer. Yıllık ortalama atmosfer sıcaklığının bu yüzden 0.75°C arttığı sanılıyor. Bu ilk elde fazla bir artış gibi görünmüyor. Ama öyle değil.

Dünyamızın güneş çevresinde izlediği yörüngeyi oluşturan elipsteki ve dünya ekseninin yörünge düzlemiyle yaptığı açıdaki periyodik değişimler nedeniyle, iklimde de periyodik değişiklikler yer alıyor. Bu periyodik yapı karmakarışık ve henüz tam olarak anlaşılmış değil. Fakat dünya bazen, birkaç yüzbin yıl süren 'büyük buzul çağlardan, bazen de dinazorlar döneminde olduğu gibi, buzulların ortadan kalktığı 'sıcak dönem'lerden geçiyor. Şu sıralar bir büyük buzul çağı içerisindeyiz. Ancak büyük buzul çağların içinde, nisbeten daha sıcak geçen 'buzul içi ılıman dönem'ler ve bu dönemleri birbirinden ayıran 'küçük buzul çağ'lar da var. Küçük buzul çağlarının periyodunun 12.000 yıl olduğu ve şu sıralar iki küçük buzul çağı arasında bir dönemin sonuna yaklaştığımız sanılıyor. Son küçük buzul ve şimdiki



ıllan dönemler arasında, atmosferin ortalama sıcaklığı açısından 5°C fark var. Yani dünyamızın bir buz topuna dönmesi için ortalama 5°C soğuması yeterli. Bu kadar ısınması halinde de neye döneceği belli. Kısacası iklimin, ıllan bir dönemin sonuna doğru soğuma eğilimine girdiği, fakat sera gazı etkisinin bu eğilimi çeldiği düşünülüyor. İklim kimi zaman sertleşip 'görülmemiş soğuklar' yaşıyor, kimi zaman da yumuşayıp bol yağışlı fırtınalar sergiliyor. Ritminde aksamalar varmış gibi. Dolayısıyla 0,75°C'lik fark o kadar da küçük değil. Ayrıca geçen yüzyılın biriktirdiği ısınma etkisi, henüz tümüyle ortaya çıkmış değil. Çünkü okyanuslar geç ısınıyor ve iklim değişikliğine katkılarını 100 yıl kadar gecikmeyle veriyor. Hele mevcut eğilimler aynen devam edecek olursa dünyamızı 2050 yılına kadar 1,5°C, ondan sonra yüzyılın sonuna kadar da birkaç derecelik daha artış bekliyor.

Gerçi bu rakamlar ve iddialar tartışmalı. Konuyla ilgili çok yönlü araştırmalar devam ederken, bilim adamları farklı tezler savunuyor. Fakat başta insan olmak üzere canlı organizmaların, içinde yaşadıkları iklimi değiştirebildikleri fikri giderek güç kazanıyor ve ülke yönetimleri bu sorunu ciddiye alıyor. Nitekim Aralık 1997'de Japonya'nın Kyoto kentinde toplanan bir konferansta, karbondioksit emisyonlarının sınırlandırılmasına yönelik bir protokol hazırlandı. Varılan anlaşma, gelişmekte olan ülkelerin durumunu anlayışla karşılayıp, kendilerine hiçbir yükümlülük getirmiyor. Sanayileşmiş Kuzey ülkelerininse emisyonlarını, 2008-12 zaman aralığında, 1990'daki düzeylerinin en az %5 altına çekmelerini öngörüyor. Gerçi protokol henüz kimseyi bağlamıyor; konferans katılımcılarının yarısından fazlasının kabul, imza ve onayından 90 gün sonra yürürlüğe girecek. Ancak bu gerçekleştiği ve Bonn'da olduğu gibi arkası geldiği takdirde, halen dünya enerji tüketiminin %68 kadarından sorumlu olan OECD ülkelerinin karbondioksit emisyonlarını 2010 yılına kadar, mevcut eğilimlerin devamı halinde erişecekleri düzeyin %30 kadar altına çekip 3,8 milyar ton azaltmaları gerekiyor. Çoğu demokrasilerle yönetilen bu ülkelerin, kamuoyularını refahtan fedakarlığa ikna edebilmeleri zor. □



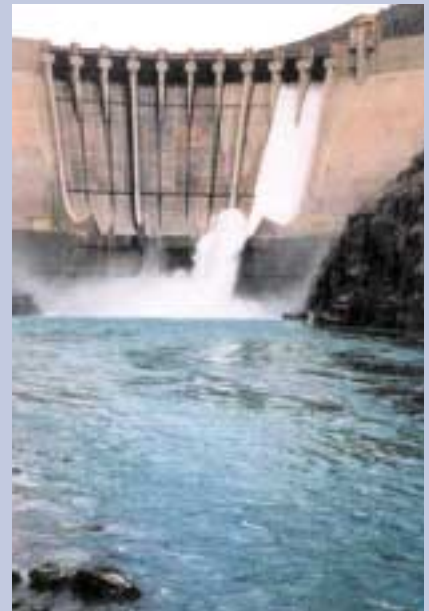
TÜRKİYE dünya nüfusunda %1,2'lik, enerji tüketimindeyse %0,8'lik bir paya sahip. Dolayısıyla kişi başına dünya ortalamasının dörtte üçü kadar (48 GJ) enerji tüketmekte. 1998 yılı verileriyle bu tüketimin %42,7'si petrole, %28,2'si kömüre, %16,1'i doğal gazla dayalı. Öte yandan Türkiye, enerji kaynakları açısından net ithalatçı bir ülke. 2000 yılı verileriyle yılda tükettiği yaklaşık 76 milyon ton kömürün %90'ını, 30 milyon ton ham petrolün %91'ini, 12,6 milyar metreküp doğal gazın %93'ünü ithal etmiş bulunuyor. Hatta, tükettiği 120 Tws'lık elektriğin 5 Tws'ını Bulgaristan ve Gürcistan gibi komşularından sağlamış durumda. Gerçi Türkiye'nin 8 milyar ton civarında, geniş linyit rezervleri var. Ancak bu rezervler enerji içeriği açısından fakir (%70'inin alt ısı değeri 2000 kcal/kg'dan az), kirleticiler açısından kalitesiz. Türkiye, seragazi emisyonlarına sınırlamalar getiren Kyoto Protokolü'ne henüz taraf değil. Ancak örneğin karbondioksit açısından, kişi başına yıllık 0,8 ton ya da GSYİH birimi başına 0,25 kg/dolar karbon eşdeğeri emisyonları dünya ortalamasının altında olmakla beraber, ekonomisinin enerji yoğunluğu AB ortalamasının iki katından fazla. Bu emisyon rakamlarının önümüzdeki yıllarda hızla artması beklenmekte ve Türkiye'nin daha temiz enerji kaynaklarına yönelmesi gerekecek. Dolayısıyla, mevcut tüketim düzeyinin, istenen ekonomik gelişmeye paralel olarak artabilmesi için enerji kaynakları ithalinin de artması kaçınılmaz.

Türkiye gereksinim duyduğu enerjiyi sağlamak açısından; güvenilirlik ve sürdürülebilirlik, ekonomiklik, çevresel uyum ilkelerini benimsemiş durumda. Teminde güvenilirlik açısından enerji gereksinimini, hem daha çeşitli kaynaklara dayandırmaya, hem de bu kaynakları satın aldığı ülkelerin sayısını artırmaya çalışıyor. Nitekim, nisbeten yeni bir kaynak olan doğal gaz son yıllarda, Avrupa ve dünyadaki eğilimlere paralel olarak, enerji tüketimindeki payını hızla artırmış bulunuyor. Bu kaynağın %30'u, başta Cezayir ve Nijerya olmak üzere çeşitli ülkelerden, sıvılaştırılmış halde ve LNG tankerleriyle, %70'i

...VE

de Bulgaristan üzerinden gelen Rusya kaynaklı boru hattından sağlanmış durumda. Bu 'batı hattı'nın yıllık kapasitesinin 8 milyar metreküp artırılmasına çalışılıyor. Öte yandan, Türkiye'deki kısmı şimdiden tamamlanmış olan, yılda 16 milyar metreküp kapasiteli Mavi Akım projesi, Rusya doğal gazına ikinci bir bağlantı oluşturacak. İran'dan, inşası tamamlanmış olan 10 milyar metreküp/yıl kapasiteli bir hat üzerinden doğal gaz alınmaya başlanmak üzere. Ayrıca Azerbaycan üzerinden petrol getirecek olan Baku-Supsa-Ceyhan boru hattı, giderek daha geniş kabul görüyor. Ancak, Azerbaycan'ın yıllık 16-17 milyon ton olan petrol üretiminin tek başına bu projeyi ekonomik kılaacağı şüpheli görüldüğünden, Kazakistan ve Türkmenistan petrolünün de bu boru hattına bağlanması düşünülüyor. Daha sonra bu boru hattının yanına, sözkonusu ülkelerden doğal gaz getirebilecek ikinci birer hattın, örneğin Türkmenistan'dan 16 milyar metreküp/yıl kapasiteli bir boru hattının inşası gündeme gelebilecek. Yine Körfez Ülkeleri'nden gelecek petrol ve doğal gaz boru hatlarının yapımı için de çalışmalar sürdürülmekte, Irak'tan ikinci bir petrol hattı, Katar gibi ülkelerden daha fazla sıvı doğal gaz (LNG) ithalatı düşünülmekte. Cezayir'den yapılan sıvı doğal gaz ithalatının artırılması, Türkiye'nin Akdeniz üzerinden, 11.000 milyar metreküp/yıl kapasiteli bir boru hattıyla Mısır'a bağlanması planlanmaktadır.

Kısacası, çevre açısından Türkiye, enerji içeriği bir hayli düşük olan yerli linyitin üretim hedeflerini aşığıya çekerek, çok daha temiz olan doğal gazın, kısmen de olsa bunun yerini almasına yönelmiş durumda. Sonuç olarak halihazırda, yılda 68 milyar metreküplük doğal gaz bağlantısı yapılmış olup, 2010 yılı itibarıyla bu raka-



TÜRKİYE

mın 80 milyar metreküpe ulaşması beklenmekte. Bu bağlantı hacminin tüketime sunulabilmesi için, doğal gaz dağıtım şebekesine bağlı olan il sayısının, birkaç yıl içerisinde şimdiki 5'ten 51'e çıkartılması planlanıyor. Gerekli dağıtım şebeke-si yatırımlarıysa şimdilik soru işareti.

Türkiye en ciddi sıkıntıları elektrik enerjisi alanında yaşıyor ve yılda %10'ları aşan düzeylerde artmış olan talebi karşılayabilmek için gereken yatırımlar güçlükle sürdürülebildiğinden, ülke zaman zaman kesintilerin eşğine gelmiyor. Sıkıntılar hem üretim, hem de iletim ve dağıtım aşamasındaki sorunlardan kaynaklı. Eğer bu ikincisinden başlayacak olursak; 1998 yılı verileriyle şebekeye verilen üretim 110 Tws'ken, TEAŞ'ın net satışları 81 Tws olarak gerçekleşmiş bulunuyor. Aradaki 29 Tws; santrallerden tüketim merkezlerine iletim, merkezlerde dağıtım ve kaçak kullanıma gitmiş olup, bu durumda kayıp ve kaçak oranı %26'yı bulmakta. Türkiye'de üretim birimleri çoğunlukla güney ve güneydoğuda, tüketim merkezleri ise kuzeybatıda olduğundan, iletim hatları uzun. Dolayısıyla iletim kayıpları %3,1 civarında, OECD ortalaması olan %2,5'un üzerinde. Mevcut iletim hatlarının 11.600 km'lik kısmı 380 kV ve 25.000 km'lik kısmıysa 154 kV'lık olup, bu alandaki iyileşme 380 kV'lık iletim payının artırılmasıyla mümkün. Ancak, asıl kayıplar, dağıtım aşamasında gerçekleşmekte, kaçak kullanım oranları kesin olarak bilinmemekle beraber, dağıtım kayıplarının %10'un üzerinde olduğu tahmin edilmekte. Bu oranın OECD ortalaması olan %3,5'lar düzeyine indirilmesi için, şehir içi dağıtım şebekelerinin kapsamlı bir şekilde yenilenmesi gereği var.

Öte yandan; 1999 yılı itibarıyla kurulu güç 26.000 Mw, maksimum talep edilen (pik ya da puant) güççe 18.000 Mw kadardır. Kurulu gücün 44%'ü hidroelektriğe, 28%'i taşkömürü ve linyite, 18%'i doğal gaz ve 9% kadarı fuel oile dayalı. 1998 yılında üretilen 115 Tws'ın yaklaşık %38'i hidroelektrik, %31'i taşkömürü ve linyit, %20'si doğal gaz, %6'sı petrol kaynaklı. 8.000 Mw'ı bulan rezerv kapasitenin puant güce oranı %44 düzeyinde. Bu oran, OECD ortalaması olan %31'in hayli üzerinde olduğundan, Türkiye bir kapasite fazlalığına sahip görünmekte. Nitekim 26.000 Mw kapasiteyle pratik olarak (yılda 275 gün 24 saat işletmeyle) 228 Tws brüt üretim olsayken, 1999 yılında gerçekleştirilen brüt üretim 115 Tws. Yani ortalama kapasite kullanım faktörü %50 civarında. Bu faktör termik santraller için daha da düşük olup, AB ülkelerinde %70'lerin üzerinde seyrederken, Türkiye'de %41 kadar. Kurulu güç kapasitesinin yüksek, bu kapasiteyle üretilen enerjinin düşük olması, Türkiye'nin santral filosunun sorunlu bir yapıya sahip olduğuna işaret ediyor. Başta kömür santralleri olmak üzere, bazı santrallerin geciktirilmiş olan modernizasyon çalışmalarının yapılması, ıslahı güç bazı santrallerin de ekonomik ömürlerini



doldurduktan sonra devre dışı bırakılarak yerlerine yenilerinin inşası gerekiyor. Yani Türkiye, hâlâ rantabil olan santrallerini yenileştirmek, rantabil olmayanları da yeni birimlerle değiştirmek durumunda. TEAŞ bir yandan da, üretim kapasitesinin 2020 yılına kadar, 23,6 GW'lık eklenmesiyle şimdiki 26 GW'lık kapasitesini neredeyse iki katına çıkartılmasını, 80 milyonluk bir nüfus için 270 Tws civarında üretim yapılmasını hedeflemekte.

Türkiye bu hedeflerini, yerli ve yenilenebilir kaynaklara öncelik tanıyarak gerçekleştirmek istiyor. Türkiye'nin yerel enerji kaynakları olan hidroelektrik ve linyit, 122 ve 105 TWS/yıllık kapasitelere sahip. Hidroelektrik potansiyelin ge-

liştirilmesi, son yirmi yılın öncelikli tercihi olmuş durumda ve 108 santral, talebin %40'a ulaşan kısmını karşılamakta. Halen %25'i kullanılmakta olan bu potansiyelin, 2010 yılında %65'inin devreye sokulması planlanıyor. Nitekim halen, 13.000 MWe'lik 38 adet hidroelektrik santral projesi inşaat, 339 adet irili ufaklı proje de planlama aşamasında. Tamamlanmaları halinde hidroelektrik kapasite 69.000Mw'a ulaşacaktır. Ayrıca 9.000 MWe'lik 33 adet linyit ve kömüre, 9.500 MWe'lik 14 adet doğal gaz, 6.000 MWe'lik 12 adet ithal kömüre dayalı santral projesi üzerinde çalışılıyor. 1000 Mwe'lik rüzgâr santrali projelendirilmiş durumda. ETKB'na göre, planlanan yatırımlar için yılda 4-4,5 milyar dolar gerekiyor. Bunun büyük bir kısmı özel sektörden sağlanmak durumunda. Halbuki özel sektör katılımını sağlayacak olan Yap-İşlet-Devret ve Yap-İşlet modelleri yasal engellere takılıyor.

Kişi başına yıllık elektrik tüketimi 1999 verileriyle 1840 kws'e ulaştı. Dünya ortalaması 1995'te 2292, sanayileşmiş ülkelerdeyse 7542 kws. AB'ne girmek için çabalayan Türkiye'nin her bakımdan rekabet şansına sahip olabilmesi için verimli ve sağlam bir iletim-dağıtım şebekesiyle donanımlı, takır takır elektrik üreten çağdaş ve ekonomik bir santral filosuna gereksinimi var. Makul görünen hedef rakamlar şunlar: kişi başına yıllık enerji tüketimini şimdiki 48 GJ'lük değerinden 150 GJ'a çıkartarak, 80 milyonluk bir nüfus için yılda toplam 12 TJ tüketim düzeyine ulaşmak. Elektrik enerjisi alanındaysa, kişi başına yıllık tüketimi şimdiki 1840 kws düzeyinden 5.000 kws düzeyine çıkartarak, 80 milyonluk bir nüfus için toplam 400 Gws tüketim düzeyine ulaşmak ve bunun için gerekli 100 Gw'lık kapasiteyi kurmak.

Bu hedef kapsamında; temiz, güvenilir ve ekonomik olan her türlü enerjiye yer var.



GELECEĞE

Kamuoyları genellikle enerji sektörünün sıkıntılarını pek dikkate almaz. Haklı olarak, enerji talep etmekle yetinir. "Üzümünü ye de bağına sorma" der, ara sıra bekçi bile döver. Bu yüzden, sektörün işleyişine biraz yakından bakmakta yarar var.

İnsanlık 20. yüzyılda, daha önceki tüm zamanlarda tükettiğinin 10 katı kadar enerji tüketmiş bulunuyor. Diyelim ki bu yüzyılın ikinci yarısına kadar; dünya nüfusu hiç artmasa, gelişmiş ülkeler kişi başına tüketimlerini yarıya indirse, dünyanın kalan kısmı onları yüz yıl geriden takiple ve yıllık ortalama %4,7 büyüme hızıyla bu seviyeye ulaşsa, dünya enerji üretiminin şimdiki 378 milyar TJ'dan 750 milyar TJ'a çıkarak ikiye katlanması gerekir. Öte yandan dünyamızın hâlâ, yüzyıl sonuna yetecek kadar fosil yakıtı var. Görünen o ki, yakın gelecekte esas olarak bu yakıtlara sırt vermek, bu arada karbondioksit emisyonlarını da sınırlamak istersek, nükleer enerjiye daha fazla yönelmek durumundayız. Bu bize yeni kaynaklar geliştirmek için iki üç nesillik zaman kazandırıyor.

Yüzeysel kömür yataklarını işlemek görece kolay. Geride yalnızca, tamir edilmesi gereken derin yaralar kalıyor. Fakat kömürü çıkarmak için çoğu kez, kilometrelerce yerin altına iniyoruz. Buna değişiyor, çünkü enerji içeriği yüksek. Kömürde en büyük sorun

yanma sırasında. Çünkü üç fosil yakıtın en kirlisi. İçindeki safsızlıkları azaltmak, baca gazındaki kükürtdioksiti yakalamak mümkün. Fakat, geriye kalan milyarlarca ton kül bir yana, bir de her yıl çıkan milyarlarca ton CO₂

var. Bu bir sera gazı, ama çıkmak zorunda, çünkü enerjiyi onun oluşma sürecinde elde ediyoruz. Bu sorun diğer fosil yakıtlarda da var ve karbondioksitin yakalanıp yeraltı galerilerine ya da okyanus diplerine verilmesi düşünülüyor. Ancak bunu yapabilmek için, yeraltı formasyonlarının ve okyanus diplerinin davranış biçimlerini daha yakından tanımak gerekiyor. Çünkü depolanmış büyük miktarlardaki karbondioksitin ansızın atmosfere kaçması halinde, böyle bir 'kaza'nın sonuçlarının ne olabileceği kestirilemiyor.

Mevcut petrol rezervlerinin daha büyük bir kısmını çıkartabilmek için yeni ve pahalı teknikler kullanılıyor, yeni surfaktanlar (derindeki petrolü yüzeye çıkarmak için kuyuya pompalanan malzeme) geliştiriliyor. Taşıma işine gelince... Bir şeyin taşınmaya ve hatta bulunup çıkartılmaya değer olması için, ya yükçe hafif ya da hacimce küçük, ancak iki durumda da pahalıca ağır olması gerekiyor. Öyle ki birimi çıkartır ve taşırken, o birimin içerdiği enerjinin büyük bir kısmını harcamak zorunda kalmayalım. Kömür ve

petrol, birim hacim ya da birim ağırlığı başına o kadar çok enerji içeriyorlar ki; kara, deniz ya da tren yoluyla binlerce kilometre nakle değişiyorlar. Petrolün, sıvı olması nedeniyle, daha kolay bir taşıma yolu olarak, boru hatlarından pompalanabilirliği sözkonusu. Gerçi kömür de öğütülüp sulandırılırsa ona da aynı şey yapılabilir, ama karalarımız petrol boru hatlarıyla örülmü. Doğal gaz, yükçe hafif, pahaca ağır, ama hacimce büyük. Dolayısıyla içerdiği enerjinin birimi başına taşıma maliyeti daha yüksek. Boru hatlarından, biraz daha yoğunlaşabilmesi için yükek basınç altında pompalanarak naklediliyor. Gerçi, örneğin sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) uygun soğutma sistemlerine sahip gemilerle taşınmakta ve bu, son 30 yıl içerisinde soğutma alanında kaydedilmiş olan ilerlemeler sayesinde gerçekleşmiş bulunuyor. Ancak bir boru hattını kilometrelerce boyunca soğutmak ekonomik değil. Dolayısıyla, doğal gazı ucuz bir maliyetle sıvılaştırmadığımızı göre, kaynağında başka sıvı yakıtlara dönüştürüp öyle taşımak mümkün ve bu alanda çalışmalar var.

Petrolün kuyu başı, yani yalnızca çıkarma maliyetini içeren piyasa değeri, litresi başına çoğu kez 1 dolar'ı buluyor. Ancak taşınması, rafinasyonu, dağıtımından sonra, benzinin pompa başı fiyatı bunun altında. Çünkü petrol, doğrudan ya da dolaylı 500'den fazla

Elektrik Üretimi



Bir termik santralde, kazanda bir yakıt yakılarak su ısıtılıp buhar üreticisine gönderilir. Üretilen yüksek basınçlı buhar türbinden geçerken basıncını kaybeder ve büyük oranda yoğunlaşır. Bu buhar ve su karışımı türbinden çıkışta, çevredeki bir nehir ya da gölden çekilen suyla, o da olmadı soğutma kulelerinden alınan havayla soğutulup, tekrar kazana pompalanır. Döngü yeniden başlamış, bu arada türbinden bir miktar mekanik enerji alınmıştır. Ancak bu çevrimlerin her aşamasında bazı kayıplar söz konusu. Örneğin türbin, aldığı mekanik enerjinin yaklaşık %80-85'ini jeneratöre aktarmakta, jeneratör aldığı mekanik enerjinin %90'ı kadar elektrik enerjisi üretebilmekte. Burada kuramsal olarak sürtünme dışındaki kayıplar kaçınılmazdır, sürtünmeyse azaltılabilir kayıplar. Fakat bu çevrimlerin verimi aslında zaten çok yüksek. Çünkü asıl kayıp,

DOĞRU

farklı ürün üreten bir petrokimya sanayiinin ana girdisi. Benzin bunların 'en hafif'lerinden biri ve asıl yüksek kar marjları diğerlerinde. Bu diğer ürünler hayatımızı o denli sarıp sarmalamış ki, evimizdeki petrol ürünü değmiş olan herşeyi kaldırıp atacak olacak, çırılçıplak betonla baş başa kalırdık. Dolayısıyla petrol, bir enerji kaynağı olmanın yanında, değerli bir hammadde. Gelecek nesillere de, mümkün olduğunca bırakmak lazım.

Kâr Edelim Derken...

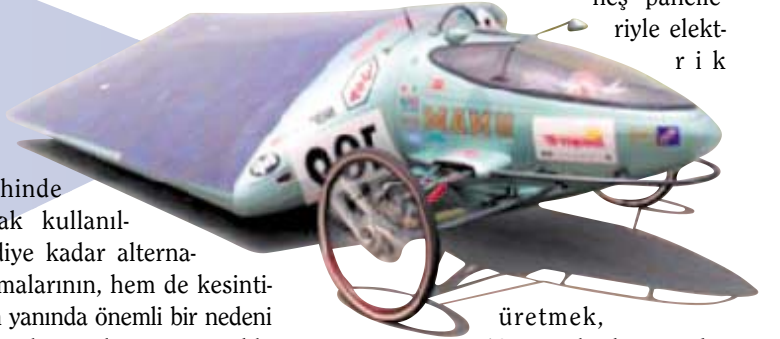
Bu yakıtları yavaş tüketmenin önemli bir yolu tasarruf. Bunun yeni yolları aranıyor. Örneğin elektrikli motorların verimliliği, benzinli motorlarıninkinin 2 katından fazla. Bu yüzden, hem yakıt tasarrufu sağlamak, hem de yoğun yerleşim merkezlerindeki hava kirliliğini azaltmak için akülü otomobiller üzerinde çalışılıyor. Ancak, akülerin yükleme süresinin bir benzin deposunu doldurma süresine oranla çok uzun olması, sırf elektrikli bir otomobili kullanışlı olmaktan çıkıyor. Öte yandan, benzinli bir motorkine eşdeğer güce sahip bir aküyle motoru, çok daha büyük ve ağır. Dolayısıyla, geleceğin bu türden ilk otomobilleri alması anlamında 'hibrid' motorlu olacak. Hatta bir Japon firması böyle bir modeli piyasaya sürdü bile. Ancak, akü imal edilirken halen fosil

yakıt kullanılıyor. Aküyü ara sıra yüklemek gerektiğinde, dünya elektriğinin üçte ikisine yakını bu yakıtlardan elde ettiğine göre, dolaylı olarak yine fosil yakıt kullanılmış oluyor. Dolayısıyla bu teknolojinin, şehirlerdeki hava kirliliğini azaltmanın dışında, tasarruf boyutu sınırlı. Bugünkü yaşam fosil yakıtlara öylesine bağımlı ki, çevresinden dolanmaya çalışırken yine onlarla karşılaşılıyor. Ama gerçek anlamda tasarruf potansiyeli taşıyan teknolojiler de var...

Kulağa Hoş Geliyor ama,

Bu kaynakların, insanlık tarihinde yoğun olarak kullanılmamış, şimdiye kadar alternatif kalmış olmalarının, hem de kesintili olmalarının yanında önemli bir nedeni daha var; dağınık, yani hacimce, ağırlıkça ya da yüzeyce, enerji yoğunluklarının düşük olması. Örneğin fotovoltaik hücrelerden oluşan paneller, güneş enerjisini elektriğe çevirebiliyor. Ancak havanın açık ve güneşin dik olduğu bir saatte, metrekareye düşen güneş enerjisi miktarı yaklaşık 1 kws. Güneşin dik olmadığı saatlerde, ışınları atmosferde daha uzun mesafeler ka-

tedip yere ulaştığında zayıflıyor. Dolayısıyla, panel sürekli güneşe doğru tutulsa bile, günün ortalama üçte birinde 1 kws'ın yaklaşık yarısı, yani günün ortalama bir saatinde metrekarede 1/6 kws alınabilir. Fotovoltaik paneller şimdiki performanslarıyla %12-16 verime sahip. Diyelim %20. Dolayısıyla metrekareden 1/30 kws, yani 120 bin joule elde edilebiliyor. Oysa bu kadar enerji 4 gram karbondan elde edilebiliyor. O zaman, fosil yakıt olarak kömür varken güneş panelleriyle elektr



üretmek, 12 gram karbonu gidip madeninden çıkarmak yerine, 1 metrekare yüzeye dağılmış haldeyken toplamaya benziyor. Eğer bu kıyaslama, gramı 80 milyar joule fisyon enerjisi içeren uranyumla yapılırsa, 1 gram uranyumu 750 m²'lik, gramı 650 milyar füzyon enerjisi içeren hidrojenle yapılırsa, 1 gram hidrojeni 5 km²'lik bir alana dağılmış haldeyken toplama-

suyun termal enerjisini türbinin mekanik enerjisine çevirme aşamasında olup, 'çalışan su'yun tabii olduğu döngünün verimi, ilk olarak Sadi Carnot tarafından ortaya konmuş olan termodinamik yasalarına göre %40'larla sınırlı. Bu kuramsal sınırlama, ne yaparsak yapalım aşamayacağımız, döngüyü kusursuz hale getirsek bile ancak başaracağımız bir sınırı tanımlar. Gerçi bazı doğal gaz santrallerinde, türbinden çıkan sıcak gaz dışarı atılmak yerine, soğutulmaksızın, oksijen eklenmesiyle kazana geri verilir ve 'kombine çevrim' denilen bu işlemle biraz daha yüksek verim elde edilir. Fakat sonuç olarak uygulamada bir termik santralin toplam verimi %30-35 düzeyindedir ve yakıttan üretilen ısının üçte iki kadarı, eğer 'kojenasyon'la ısıtmada kullanılmıyorsa, 'termal kirlenme' olarak çevreye atılır. Kaldı ki, yakıtın nasıl yakıldığı da ayrıca önemli. Örneğin

kömür kullanımı sırasında, yanma olayı kömürün her tarafına ulaşamayabilir ve yanmamış kömür parçacıkları, baca gazlarıyla birlikte atmosfere karışır. ya da bazı karbon atomları yeterince oksijen bulamadıklarından tam yanamazlar ve bacadan, karbon dioksit haline gelemeyen, zehirli bir gaz olan karbonmonoksit olarak kaçarlar.

Bir kömür santrali eğer madenin üzerinde değilse, taşıma büyük sorun oluşturur. Çünkü 1000 Mw'lık bir santral yılda 3-4 milyon ton yakar ve bu, santrale günde her biri 100'er adet 10'ar tonluk vagonlardan oluşan 12 trenin yük boşaltması anlamına gelir. İki saatte bir, 100 katarlık bir tren; yanışip yükünü boşaltacak, sonra diğeri. Maden uzaksa tren sayısı daha çok, yolda karşılaşmaları için ikili üçlü hat; karmaşık yönetim sorunları... Yolda sürtünme kayıpları var ve kömürün fiyatı yeterince ar-

tacak olsa, rayların üzerinde yükselen manyetik trenlerle nakil bile gündeme gelebilir. Santral sahildeyse taşıma işi daha kolaydır: Her gün, 10 bin ton yük kapasiteli tek bir geminin yanışması yeterli. Üstelik sudaki sürtünme kayıpları daha az.

Tıpkı bir insan için olduğu gibi, bir güç santrali için de, sahip olduğu kapasitede ne kadar uzun süre çalışabileceği önemli. Bir santralin, yıl içindeki saatlerin yüzde kaçında çalışır halde olduğuna 'kapasite kullanım faktörü' denir. Nominal güçle bu faktörün çarpımına 'etkin güç' denir ve etkin güç, bir güç santrali açısından en önemli parametrelerden biri. Örneğin kömür ve petrol gibi fosil yakıtlara dayalı santraller, yakıt temininde sorun olmadığı varsayımıyla, yılın, bakım onarım süreleri dışındaki her saatinde çalışmaya hazır dırlar.

ya benzer; adeta cımbızla atomları tek tek toplamaya. Ama başka çaremiz yok, bu kaynakları geliştirmemiz lazım. Aslında fosil yakıtlar da yenilenebilir kaynaklar. Ancak yenilenme süreleri milyonlarca yıl alıyor. İnsan belki de, aklı sayesinde enerji gereksinimini kendi yaşam süresiyle onca oransız süreçlerden sağlayan tek canlı. Doğada bıraktığımız çirkin ayak izlerini, giderek derinleştirmek yerine kısmen de olsa silebilmek istiyorsak eğer, daha kısa sürelerle yenilenebilen enerji kaynaklarına yönelmemiz gerekiyor. Evet; sera gazları, iklim değişikliği, fosil yakıtlardan kaçınmak gerekiyor:



Çağımız insanının vazgeçilmez gereksinimlerinden söz ederken akla gelen ilk konulardan biri de enerji. Ancak enerji elde ederken hızla yitirdiğimiz doğaya en az zarar vermek zorunda olduğumuzu da göz ardı etmememiz gerekir. Dünya enerji talebinin, nüfus artışı ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak artması sonucu enerji kaynakları olan kömür, doğal gaz ve petrol gibi yakıtların kullanımı günümüzde de önemini korumakta. Özellikle kömür; petrol ve doğal gaz rezervlerinin dağılımının dünyada belirli yerlerle sınırlı olması ve bu yüzden de bazı krizlere yol açmasına bağlı olarak daha da önem kazanmış, dünyadaki birçok ülke, hem daha güvenilir bulunduğu ve hem de kendi öz kaynakları kapsamında olduğu için, çevre-duyarlı teknolojilere ağırlık vererek kömüre yönelmiş durumda.

Yaklaşık 1,4 trilyon tonluk dünya toplam kömür rezervinin %31,6'sı linyit, %50,2'si bitümlü ve %18,2'siyse alt bitümlü kömürlere ait. Yine yaklaşık olarak toplam 330 milyar tonluk linyit rezervinin %70'i dört ülkede (Almanya %17,1, Rusya Federasyonu %30,4, ABD %9,7 ve Avustralya %12,8) toplanmış durumda. Türkiye'nin dünya linyit rezervi içerisindeki %2,23'lük payı dikkat çekici.

Türkiye, linyit rezervleri ve üretim miktarları açısından dünya ölçeğinde orta düzeyde, taşkömürü açısından alt düzeyde bir ülke olarak değerlendirilebilir. Türkiye'de taşkömürü rezervi yalnızca Karadeniz kıyısındaki Zonguldak bölgesiyle sınırlı kalmakta. Antalya ve Diyarbakır yöre-

Ama acaba gerçekten kaçınılabiliyor muyuz?

Metrekare başına çevrilen güç 1/6 kw olduğuna göre, her an emre amade olan 1000 Mw'lık bir santralin güneşe dayalı eşdeğerini (kendisini değil eşdeğerini) kurabilmek için, en az 6×10^6 m² (6 kilometrekare) panel kullanmak gerekiyor. (Aslında, metrekareden günde 4 kws eldeyle 15 kilometrekare.) Bu panelin metrekaresinin üretimine 5GJ elektrik harcanıyor; yani 450 kg kömürün enerji içeriği kadar. Üretim işleri halen fosil yakıtlarla yapılmakta olduğuna göre, bu santralin panel donanımı için yaklaşık 3 milyon ton kömür yakılması gerekiyor. Dönüp dolaşıp kömüre...

Dolayısıyla, bu ya da benzeri panelin verimlerinin artırılması ve üretim sırasında daha az enerji tüketen tasarımların bulunup geliştirilmesi gerekiyor. 'Fotoelektrokimyasallar' alanında

yapılan da bu. Klasik katı hal yarıiletkenleri yerine, yarıiletken bileşikler ya da iletken polimer yapıların kullanılması gündemde. 'Çok bağlantılı rejeneratif' hücrelerde, %20 verim düzeyine yaklaşıldığı bildiriliyor. Nanoyapılı polimer hücreler ayrı bir yaklaşım çizgisini oluşturuyor. Halen düşük olan verimleri yükseltip maliyetleri düşürülebilirse, bu çok heyecan verici olacak. Çünkü bu polimer nanoyapıların şeffafları üretilebilecek ve boya pigmentleriyle renklendirilip bina cephelerine giydirilebilecek. O zaman binalar, tıpkı gereksinim duyduğu enerjiyi klorofil pigmentlerinden temin eden bitki yapraklarına benzeyecek. Bu hücrelerin bir de, suyun elektrolizinde kullanıma potansiyeli var.

Klasik fotovoltaiik hücrelerden dördü seri olarak bağlandıklarında suyun elektrolizini başaracak güç düzeyine ulaşıyor. Fakat güneş enerjisinden

Enerji Kaynağı Olarak "Kömür"

lerindeki taşkömürü rezervleri, azlıkları dolayısıyla dikkate alınmıyor. Linyit rezervlerinise, Türkiye genelinde geniş yayılım göstermesine karşın, bilinen rezervlerin büyük bir kısmının düşük kalorili olması, tüketim ve üretim miktarlarını sınırlıyor. Türkiye'nin toplam linyit rezervi 8 milyar ton, buna karşılık işletilebilir rezerv miktarı 3,9 milyar ton düzeyinde.

Dünyada kömür tüketiminin sektörel dağılımına bakıldığında; termik santrallerin %62'yle başı çektiği, çelik endüstrisinin %16, metal endüstrisinin %10, diğer endüstrilerin %5 paylara sahip olduğu ve geriye kalan %5'lik payınsa farklı alanlarda kullanıldığı gözlemleniyor.

Kömür üretimi hem yeraltı hem de açık ocak işletmecilik yöntemleriyle gerçekleştiriliyor. Ülkemizdeki toplam kömür üretiminin %90'ı halen devlet denetiminde. Türkiye'de üretilen taşkömürünün %55 gibi büyük bir bölümü çelik endüstrisinde, %25'i enerji, %18'i diğer endüstri dallarında, kalan %2'lik kısımın ise ısıtma amaçlı olarak kullanılmakta. Türkiye'de üretilen linyitin yaklaşık %80'inin termik santrallerde tüketildiği, ülkemiz elektrik enerjisi üretiminin %35-40'ının termik santrallerden karşılandığı göz önüne alındığında, linyit madenciliğinin elektrik enerjisi sektöründeki payı ve vazgeçilmezliği açıkça görülüyor. Kaliteli linyit yataklarımızın azlığı ve özellikle büyük şehirlerde hızla büyüyerek halkın sağlığını tehdit eden kömür kaynaklı hava kirliliği sorununa çözüm getirmek amacıyla bazı belediyelerde konulan sınırlamalar, konut ve işyeri ısıtılmasında daha kaliteli olan ithal kömüre yönelmesinden dolayı kaliteyi düşürüyor. Başta yıka ve briketleme olmak üzere, kömürlerimizden homojen ve temiz bir yakıt elde etmek için gerekli olan teknolojilerin yıllar boyu ihmal edildi-

ği, yanlış politikalarla kömürün ocaktan çıktığı gibi halka pazarlanması şeklinde çağdışı ve temel bir yol izlendiği de bir gerçek.

Türkiye'deki turba yataklarından çok az yararlanılıyor. Oysa turba Finlandiya, İrlanda, ve Rusya Federasyonu'nda büyük ölçekte üretiliyor ve başta gübre sanayii olmak üzere farklı alanlarda kullanılıyor. Türkiye'deki asfaltit sahalarıysa Güneydoğu Anadolu bölgesinde. Petrolün hammaddesini içeren asfaltitin ev yakıtı olarak kullanılması, başta hava ve çevre kirliliği açısından olmak üzere her yönden sakıncalı.

Sonuç olarak, Türkiye'nin fazla kaliteli olmayan, fakat oldukça fazla sayıda kömür rezervine sahip olduğu ve yılda ortalama 50 milyon ton gibi hiç de göz ardı edilemeyecek bir üretim yaptığını unutmayalım. Bir anlamda ülkemiz termik santral, sanayi ve ısınma amaçlı kömür potansiyeli bakımından kendi kendine yetecek bir kaynağa sahip ve eğer özellikle Neojen sahalarında kömür aramalarına kaynak ayrılıp bu çalışmalara başlanırsa, kömür rezervlerimizin kısa bir zamanda iki, hatta üç kat artacağını tahmin etmek hiç de zor değil. Türkiye'nin giderek artan enerji talebi dikkate alındığında enerji kaynaklarının optimum şekilde kullanılması gerektiği açık. Ayrıca birincil enerji kaynaklarının (kömür, doğal gaz petrol ve benzeri gibi) ithal edilmesinin, ekonomik dengeleri değiştirecek ölçüde döviz sıkıntısı ileride de bu nedenle yaşanmaya devam edecek. Enerjinin ekonomik açıdan stratejik öneme sahip olması nedeniyle, başta kömür olmak üzere, olabildiğince yerli kaynaklara yönelme zorunluluğu var.

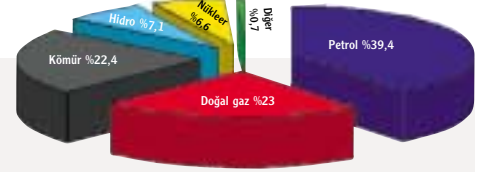
Prof. Dr. Orhan Kural
İTÜ Öğretim Üyesi

kimyasal enerjiye çevrim verimi %7 civarında. Yarıiletken bileşiklere dayalı dörtlü hücrelerde bu verim, %12-20 düzeylerine ulaşıyor. Ancak bu bileşiklerin monokristal yapısı da, imatlarını pahalı kılıyor. Daha ucuza maledebilecek olan nanokristal yapılu hücre ikilileri de aynı işi, fakat şimdilik %4,5 verimle başarıyor. Bu verimler arttıkça, güneş enerjisinden suyun hidrolizi yoluyla hidrojen eldesi ucuzlayacak. Bu önemli, çünkü hidrojene geleceğin alternatif yakıtlarından biri gözüyle bakılıyor.

Hidrojen, enerji yoğunluğu yüksek bir madde. Suyun elektroliziyle temiz bir şekilde elde edilebiliyor ve uygun şekilde yakıldığı takdirde, atık ürün olarak yalnızca su veriyor. Şimdiki üretimi petrol ya da kömüre dayalı. Temiz üretim yolu hidroliz. Fakat bunun için elektriğe gereksinim var ve eğer elektriğinizi fosil yakıttan üretiyorsanız, kaçmaya çalıştığımız kareye geri dönmüş oluyorsunuz. Bu sorunun çözümü de suyun, güneş enerjisinden elde edilen elektrikle hidolizinde yatıyor. Fotovoltaikler ucuzlar da bu mümkün olursa eğer, hidrojen, yeni bir yenilenebilir enerji formları zincirinin bir halkasını oluşturacak ve suyun elektroliziyle hidrojen elde edilip, hidrojenin yakılmasıyla da suya geri dönülecek. Öte yandan, temiz bir şekilde ve yüksek verimle yakılabilmesi için yakıt hücreleri teknolojisinin gelişmesine gereksinim var. Ayrıca, taşıma ve depolaması da, ayrı bir sorun oluşturuyor ve bu sorunun çözümü için çeşitli alternatifler üzerinde çalışılıyor. Özet olarak; eğer hidrojenin fotokimyasal hücrelerde güneş enerjisiyle üretimi, karbon nanoyapılarda ya da bir diğer sistemle taşınması, yakıt hücrelerinde yakılması ekonomik ve güvenli bir hale gelecek olursa, temiz bir enerji depolama sistemi oluşturacağı ve bu arada geleceğin otomobil yakıtı olacağı kesin. Fakat önce taşıma ve dağıtım sorunlarının halledilip gerekli altyapının oluşturulması gerekir.

Bunlar, enerji geleceğinin sunduğu umut ışıklarından bazıları. Ancak hepisi gelişme aşamasında. Bugünün adımlarının bugünün koşullarına göre atması, ve kullanıma hazırlanmış izlenimine kapılıp karar süreçlerinin felce uğramaması gerekiyor. □

Petrol ve Doğalgaz



Birincil enerji kaynakları.

Dünyanın en önemli enerji ve endüstri hammaddesi olan petrol, kimyasal açıdan oldukça karmaşık bir hidrokarbon karışımı olup; azot, oksijen ve kürt bileşenlerini de safsızlık olarak içerir. Petroler, gaz, sıvı ya da katı halde bulunabilirler. Rafine edilmiş petrolen ayırt etmek için **ham petrol** olarak adlandırılan sıvı petrol, ticari açıdan en önemli olanıdır. İmal edilmiş gazlardan (örneği LPG) farklı olan **doğal gaz**sa esas olarak metan ağırlıklı olmak üzere en hafif hidrokarbonlardan oluşur. Yarı-katı ve katı durumdaki petrosla çok büyük molekül ağırlıkları olan hidrokarbonları içerir. Bu türden petrole, özellik ve kullanımına bağlı olarak **asfalt, zift, katran** ya da **bitüm** adı verilir.

Ham petrolün özellikleri çok geniş sınırlar arasında değişir. **Hafif petroler** (yüksek graviteli) çoğunlukla açık kahverengi, sarı ya da yeşil renkli, **ağır petroler** (düşük graviteli) ise koyu kahverengi ya da siyah renklidir. Yüksek graviteli petrolerin rafinerilerde işlenmesiyle ağırlıklı olarak benzin, gazyağı ve motorin gibi hafif ve beyaz ürünler elde edilirken, düşük graviteli petrolün işlenmesiyle daha çok fuel oil ve asfalt gibi ağır ve siyah ürünler elde edilir.

Petrolün oluşumu hakkında ileri sürülmüş bir çok kuram olmasına karşın bilim adamlarının çoğunluğu petrolün, milyonlarca yıl önce yaşamış bitki ve hayvanların kalıntılarının denizlerde biriken çökel katmanlar altında ve oksijensiz bir ortamda çürüyerek yüksek basınç ve sıcaklık altında ayrışmasından oluştuğunu ileri süren **organik kuramı** savunmakta. Oluşan petrol, basınç altında sıkışan bu kayaçlardan küçük damlalar halinde sızarak daha gözenekli bir kayaç olan **hazne kayaç** ya da **rezervuara** göç eder. Hazne kayacın üzerinde petrolün yükselerek kaçmasını engelleyen geçirimsiz bir **örtü kayaç** bulunur. Hazne kayaç içerisinde hidrokarbonlar yoğunluklarına göre yukarıdan aşağıya doğru; gaz-ham petrol-su şeklinde yer alırlar. Doğal gaz rezervuarlarındaysa sadece su ve gaz bulunur.

Dolayısıyla petrol, çoğu kez sandığı gibi yeraltında göller halinde değil, uygun kayaç tabakalarının gözeneklerinde bulunur. Bu kayaç tıpkı, su emdirilmiş bir süngerin plastik bir poşetin içine konduktan sonra, poşetin ağzının iyice bağlanıp süngerin de olabildiğince sıkıldığı duruma benzer. Üstteki geçirimsiz kayaçta, (ortalama 500 m derinliğinde) bir kuyu açıldığında, gözeneklerdeki petrol yüksek basınç altında olduğu için, kuyudaki düşük basınca doğru sızmaya başlar. Petrol eğer akışkansa (viskozitesi düşük) kuyunun verimi (varil/gün) yüksektir. Fakat, kuyudan petrol çıkartıldıkça gözenekli yapı rahatlar, basıncı düşer ve petrol zerrecikleri daha yavaş sızmaya başlar. Hele rezervden daha hızlı petrol çekebilmek için çevrede başka kuyular da açılıp çalıştırılmışsa, bu durum daha erken gerçekleşir. Kuyu verimi düşmüştür ve sonunda terk edildiği zaman, gözenekli yapıdaki petrolün yarıdan fazlası hâlâ aşağıdadır. Çünkü olağan yöntemlerle, mevcut rezervlerin ancak %20-40 kadarı çıkartılabilir. Bu oranı yükseltmek için, sahadaki verimi düşmüş diğer kuyulardan bazılarının ya da yeni açılan bir kuyunun içine, petrol zerreciklerini daha hızlı hare-

te zorlamak için basınçlı su gönderilir. Su sıcak olursa daha etkilidir. CO₂ enjeksiyonu daha da iyi sonuç verir. Fakat gazı pompalamak zor ve pahalıdır. Öte yandan, surfaktan denilen ve petrol zerreciklerinin, yüzey gerilimini azaltıp akışkanlığını artıran kimyasallar ya da aynı işi gören bakteriler kullanılabilir.

Dünya enerji tüketiminde önemli bir paya sahip olan petrol ve doğal gazın bölgeler bazında kanıtlanmış rezervleri (şu andaki ekonomik koşullarda %90 kesinlikle üretilebilecek değerler) oransal olarak şöyle: Petrolde, Orta Doğu %64, Kuzey ve Güney Amerika %8'er, Avrupa ve Afrika %7'şer, Asya %6. Doğal gazda, eski SSCB dahil olmak üzere Asya %39, Orta Doğu %35, Güney Asya, Pasifik ve Afrika %7'şer, Kuzey ve Güney Amerika %5'er, Avrupa %3.

Ülkemiz, jeolojik yapısı nedeniyle, ham petrol ve doğal gaz açısından zengin değil. Ham petrol sahaları Güneydoğu Anadolu'da, doğal gazsa Trakya bölgesinde yoğunlaşmış durumda. Halen bilinen en büyük petrol sahamız Batı Raman. 2000 yılında TPAO sahalarından 13,5 milyon varil (yaklaşık 2 milyon ton) ham petrol üretilmiş olup, bu rakam ülke toplam üretiminin %72'sine karşılık gelmekte. Üretilen bütün petroler ağır petrol tipinde. Üretimse yıllar bazında azalmakta ve halen ülke gereksiniminin yaklaşık %12'sini karşılamakta. Dünya Enerji Konseyi verilerine göre Türkiye'nin enerji gereksinimi sürekli olarak arttığı için (yılda yaklaşık %4,3) ham petrol açısından devamlı açılan bir fark söz konusu.

Ülkemizdeki doğal gaz üretimi 612 milyon m³ olup, tüketimin yaklaşık %6,5'u kadar. Duyulan gereksinimin önemli bir kısmı boru hatlarıyla Rusya'dan sağlanmaktadır. Değişik kaynaklardan alınan doğal gazın yeraltında depolanması için TPAO ve BOTAŞ tarafından 2005 yılını hedefleyen çalışmalar başlatılmış durumda.

Dünya ve ülkemiz için gelecekte önemli bir enerji kaynağı oluşturabilecek "doğal gaz hidratları" da petrol ve doğal gaz kapsamına ele alınabilir. Gaz hidratları, suyun ve metanın bir karışımı olup kristal bir yapıya sahiptirler. Bütün dünyadaki hidrat rezervlerinin toplam miktarının, bilinen bütün hidrokarbon kaynaklarının iki katı olduğu ileri sürülmekte. Karadeniz'in de doğal gaz hidratları açısından bir potansiyeli olduğuna inanılmakta.

Sonuç olarak, dünyanın sürekli artan enerji talebinde önemli bir yer tutan petrol ve doğal gazın bilinen ve olası rezervlerinin önümüzdeki yüzyılda bu talebi karşılamada yetersiz kalacağı göz önüne alınarak, hem bu kaynakların verimli kullanılması, hem de yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi gerektiği ortaya çıkıyor.

Prof. Dr. Tanju Mehmetoğlu
ODTÜ Petrol ve Doğalgaz Müh. Böl. Bşk.

Kaynaklar

1. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı "Doğal Kaynaklar sayfası"; <http://www.enerji.gov.tr/dogal/petrol.htm>
2. Uluslararası Eneji Ajansı; <http://www.iea.org/>
3. Dünya Enerji Konseyi;<http://www.worldenergy.org>



TEMİZ

Atmosfere, işletme sırasında net olarak kirletici salmayan enerji türleri; hidro, rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle ve nükleer. OECD ülkelerinin hidropotansiyelleri büyük oranda kullanıma girmiş durumda. Öte yandan, büyük hidroelektrik santrallerin yapımına karşı sosyal ve çevresel itirazlar var. Dolayısıyla bu alanda fazla bir genişleme olanağı yok. Güneş enerjisi, toplayıcılar aracılığıyla sıcak su gereksinimini desteklemek açısından ekonomik ve bu amaçla halen yaygın olarak kullanılıyor. Çok daha yaygınlaşabilir, ancak bu gereksinimin toplam tüketim içindeki payı sınırlı. Parabolik aynalarla bu kaynaktan güç üretimiye pahalı ve şimdilik sadece prototip örnekleri var. Rüzgâr santralleri fiyatça ekonomiklik sınırına, güç düzeyi olarak da 1 Mw düzeyine ulaştı. Fosil rakipleriyle yarışabiliyor. Ama güneş ve rüzgâr kesintili enerji kaynakları; varsa var, yoksa yok. Olmadıkları zaman da kullanılabilirleri için depolanıp saklanmaları lazım. Bu, başka enerji formlarına dönüştürmelerini gerektiriyor. Fakat devreye sokulan her çevirim, toplam enerji veriminin daha da azalması anlamına geliyor ve sonuç olarak, bu enerji daha da pahalıya mal oluyor. Halbuki, fotovoltailerle güneş enerjisinden doğrudan elektrik eldesi bile halen (>4.000 dolar/kw) çok pahalı. Buna karşın, gelişmiş Batılı ülkeler yenilenebilir enerji kaynakları konusunda cesur adımlar atmaya hazırlanıyorlar. ABD'de Clinton yönetimi, 1 milyon konut ve işyeri çatısının, 'yerinde kullanım' amacıyla fotovoltailerle donatılması için vergi teşvikleri getiren bir programı başlatmış bulunuyor. Almanya rüzgâr enerjisi alanında başı çekiyor ve 5400 Mw kurulu güce sahip. Avrupa Birliği Enerji Bakanları yenilenebilir kaynakların 2010 yılına kadar, birliğin toplam elektrik enerjisi üretimindeki payının %22'ye çıkartılmasını hedefliyor. Bunlar kararlı adımlar ve diğer kaynaklar-

dan sübvansiyon gerektiriyor. Nitekim Almanya, fosil kaynaklardan 5 cente elde edebildiği kilowattsaat elektriğin, güneşten elde edilenine 45 centin üzerinde fiyat ödeme yükümlülüğüne girmiş bulunuyor. Çünkü bu ülkeler; mevcut enerji tüketim pastasının ve atmosfer emisyonlarının oransız büyük bir kısmından sorumlu olduklarının farkındalar.. Bu ülkeler, enerji üretim ve tüketim süreç ve kalıplarındaki, geçen yüzyılın inşa etmiş olduğu girift, katı ve olumsuz alışkanlıkları kırmaya çalışıyorlar. Dolayısıyla, yenilenebilir kaynakların payı kamu desteğiyle artacak ve önümüzdeki dönemde gelişmiş Batılı ülkeler için, birim enerji üretim maliyetleri, belirleyici faktör olmaktan çıkacak. Buna tahammülleri var, çünkü zenginler. Fakat her şeye karşın, mevcut teknolojilerle bu kaynakların kitlesel gereksinime, en azından yakın gelecekte ve büyük oranlarda yanıt verebilmesi mümkün görünmüyor. Nitekim bu alanda en kararlı görünen ülkelerden ABD, 1999 yılında hidro dışı yenilenebilir kaynaklardan, 96,7 milyon TJ'lük toplam enerji tüketiminin sadece %0,12'sini (0,114 milyon TJ), 2,550 Tws'lik toplam elektrik üretimini ise %2,9'unu sağlamış bulunuyor.

Aptal Değil, Fakir!..

Gelişmekte olan ülkelerin durumuy- sa çok farklı ve seçenekleri çok daha dar. Ekonomileri halen küçük ve nüfusları yılda %2-3 düzeyinde artıyor. Mümkün olduğunca hızlı büyüme- leri, buna paralel ola-



rak enerji üretimlerini artırmaları gerekiyor. Kişi başına yılda, gelişmiş ülkeler ortalamasının onda biri kadar az enerji tüketiyorlar, ama üretimlerinin enerji yoğunluğu yüksek. ABD'de birim gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH) için 12,66 milyon joule (MJ/dolar) harcanırken, bu miktar Türkiye'de 15,7, Hindistan'da 32,71, Çin'deyse 48,53 MJ/dolar'ı buluyor. Çünkü gerekli yatırımları gerçekleştiremediklerinden, enerjiyi tasarruflu kullanmıyorlar. Satın alım gücü düşük olan tüketiciler ellerindeki ekipman stoğunu uzun, örneğin elektrikli ev aletlerini 15-20 yıl sürelerle kullanıyor. Enerji verimi yüksek yeni modellerin piyasaya sızma hızı düşük. Dolayısıyla donanım üretici firmalar, enerji tasarrufuna yönelik araştırma geliştirmeye, hemen hiç kaynak ayırmıyorlar. Elektrik santralleri verimle çalıştırılmıyor; modernizasyona gereksinimleri var. İletim ve dağıtım şebekelerinin kayıp kaçak oranları yüksek; yenilenmeleri gerekiyor. Az enerji tüketiliyor, ama bu enerji çoğunlukla kirli kaynaklardan üretiliyor. Yeni ve yenilenebilir kaynaklara yönelmeleri gerekiyor. Ama bu kaynaklar, en azından çıplak maliyetler açısından, şimdilik daha pahalı. Dolayısıyla, çevre maliyetleri de hesaba katıldığı takdirde aslında daha pahalı olabilen üretim süreçlerine mahkum gibiler. Kısa vadede ucuz görünen çözümlere yöneldiklerinden, uzun vadede daha yüksek bedeller ödüyorlar. Sonuçta, aynı işi yaparken çevreyi ve dünyamızı, gelişmiş Batılı ülkelere oranla daha fazla kirletiyorlar. Bu ülkeler durumlarının farkındalar elbette; ama farkındalık yetmiyor. Çünkü en kıt olan kaynakları sermaye. Günün birlik harcamalara güçleri zar zor ve belki yetiyor, uzun vadeli yatırımlarsa sürekli erteleniyor. Dolayısıyla, uzun vadeyi göremiyormuş da sadece kısa vadeli hesaplar peşinde koşan 'aptal' insanlar gibi davranmak zorunda kalıyorlar. Çünkü fakirliğin o malum, pahalı ve aptalca görünen kısır döngüsüne yakalanmış durumdalar. Halbuki, paradoksal bir biçimde ifade etmek uygunsa şunu hiç unutmamak lazım: Batılı toplumlar bugün en akılcı

ENERJİLER

enerji tasarruf yöntemlerini hayata geçirebiliyor ve temiz enerjiye yönelebiliyorsa eğer, bu, enerjiyi geçmişte son derece mürşif ve çok daha kirli şekillerde kullanmış olmaları sayesinde. Çünkü geçmişin o kirli ve mürşif enerji kullanım süreçleriyle başardıkları üretim sonucu sağladıkları altyapı ve sermaye bi-

rikimiyle, bugünü bilimin ve teknolojinin, kısacası aklın işaret ettiği biçimde şekillendirme olanağına sahipler. Bu elbette gelişmekte olan ülkelerin de aynı kirli yolu izlemesi gerektiği anlamına gelmiyor. Tam tersine, onların içinde bulunduğu kısır döngüyü kırabilecek teknoloji ve sermaye birikimi, gelişmiş Batılı ülkeler-

de bolca var ve nereye gideceğini bilemiyor. Ancak sermaye akışının gelişmekte olan ülkelere üretken biçimlerde yönelebilmesi için, bu ülkelerin sermaye ve enerji piyasalarının serbestleşmesi, yeni yasal düzenlemelere gidilmesi gerekiyor. Bu sürecin kısa zaman kesitlerine sıkıştırılmaya çalışılması ve sonuç olarak illeri geri adımlar atılması, karşılıklı güvensizliğe ve malum sosyal çalkantılara yol açıyor. Batı kaynaklı sermaye gelişmekte olan ülkelere ürke ürke, en yüksek kar marjlarının peşinde, sınırlı miktarlarda ve kısa vadelerle geliyor. En ufak belirsizlikler karşısında da, yarattığı ya da yaratacağı istikrarsızlıklara aldırmaşızın kaçıp gidiyor. Sonuç olarak, gelişmekte olan ülkeler açısından yabancı sermaye, Batılı finans merkezlerine zincirle bağlı birer balyoz topuna dönmüş durumda; girerken de yıkıyor çıkarken de. Halbuki Batılı ülkelerle gelişmekte olan ülkeler arasında hayata bakış ve felsefe açısından biraz benzerlik olsa, ilişkiler daha sakin, akılcı ve üretken olacak. Bu yaklaşmanın sağlanması, insanlığın mevcut birikimlerini daha rahat paylaşabilmesi için bir zorunluluk. Bunun da tek bir aracı var, eğitim. O da gelişmekte olan ülkelerde çoğu zaman, fakirliğin o malum 'aptalca ve pahalı kısır döngüsü' içerisinde 'tasarruf önlemleri'ne kurban gidiyor.

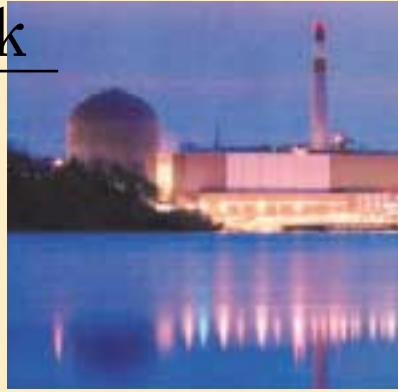
Kısacası, füzyon enerjisinin ya da yüksek verimli çevrimlerin ansızın ekonomik hale gelmesi gibi beklenmedik teknolojik gelişmeler yaşanmadığı takdirde, dünyamızın bu yüzyılın ilk yarısındaki enerji gündemi, karmaşık ve alınması zor kararlarla dolu. Herhalde en doğal gelişim çizgisi, her ülkenin, kendine özgü koşullara, en uygun çözümlere yönelmesi. Enerji alanında bu çözümler, sadece bir ya da diğer kaynağın değil, mevcut kaynakların optimal bir karışımının kullanımında yatıyor. Bu optimal karışımın ne olacağına her toplum tabii ki risk, maliyet ve mükafat unsurlarını kendi algılayış biçimlerine göre tartarak karar verecek. Sonuç olarak da maliyetlerini üstlenip, getirilerinden yararlanacak.

Dünyamıza hayırlı olsun. □

Nükleer Seçenek

Geriyenükleer enerji kalıyor. Fakat bu kaynağın da sorunları var. Nükleer santraller hemen her ülkede, bazı kamuoyu kesimleri tarafından yeterince güvenli bulunmuyor. Halen üzerinde çalışılan 'yapısı bakımından güvenli' tasarımların hayata geçirilmesi gerekiyor. Öte yandan birim enerji üretim maliyetleri santraldan santrale çok değişiyor. Oysa, güç üreticileri maliyetleri net olarak görebilmek istiyor. Daha önceleri hesaba katılmayan, radyoaktif çevre kirlenmesi ve santrallerin ömürlerini tamamladıktan sonra devre dışı bırakılmaları ('decomissioning') maliyetleri tartışılmalı boyutlara ulaşmış durumda ve bu maliyet unsurlarının sağlıklı tespiti için gerekli deneyim az. Diğer yandan, 11 Eylül saldırılarının ardından, benzeri eylemler karşısında savunmasız kalacakları endişesiyle yeraltında yapılımları öneriliyor. Bu da yine, maliyet artırıcı bir güvenlik özelliği. Kullanılmış yakıtlardan kaynaklanan radyoaktif atıkların gereken sürelerle güvenli depolanmaları için, kamuoyları açısından daha ikna edici çözümlerin üretilmesi ya da kamuoylarının mevcut çözümlerine ikna edilmesi gereksinimi var. Bütün bunlara karşın nükleer enerji, OECD ülkelerinin Kyoto Protokolü yükümlülüklerini yerine getirmeye karar vermeleri halinde, alıcı gözle tekrar gözden geçirmek zorunda kalacakları bir seçenek gibi görünüyor. Yenilenebilir kaynakların yüksek maliyeti yanında, nükleer santrallere getirilecek ek güvenlik unsurlarının ek masraflarını da üstlenecekler. Buna da tahammülleri var, çünkü zenginler.

Fosil yakıtları daha az kullanmanın bir diğer yolu, elektriği nükleer enerjiyle üretmekten geçiyor. Bu alandaysa, daha güvenli santral tasarımları geliştiriliyor. Bunlardan en ümit vaat eden bir tanesinde, yakıt mikroküreleriyle doldurulmuş toplardan oluşan kalp, gazla soğutuluyor (PBMR, 'Pebble Bed Modular Reactor'). Yakıt topları kalbe sürekli girip çıkıyor. Dolayısıyla, sürekli gözlenip kusurlu olanlarının devre dışı bırakılması mümkün. Öte yandan, reaktör kapatıldığında artık ısıyı emebilmek açısından, doğal konveksiyon yeterli. Bu özellik, soğutucu kaybı kazası olasılığını ortadan kaldırıyor ve reaktörü, 'yapısı açısından güvenli' kılıyor. 150 Mw'lık üniteler halinde inşa edilebilmesi, değişik düzeylerdeki güç gereksinimlerine yanıt verilebilmesine olanak tanıyor. Güvenli ya-



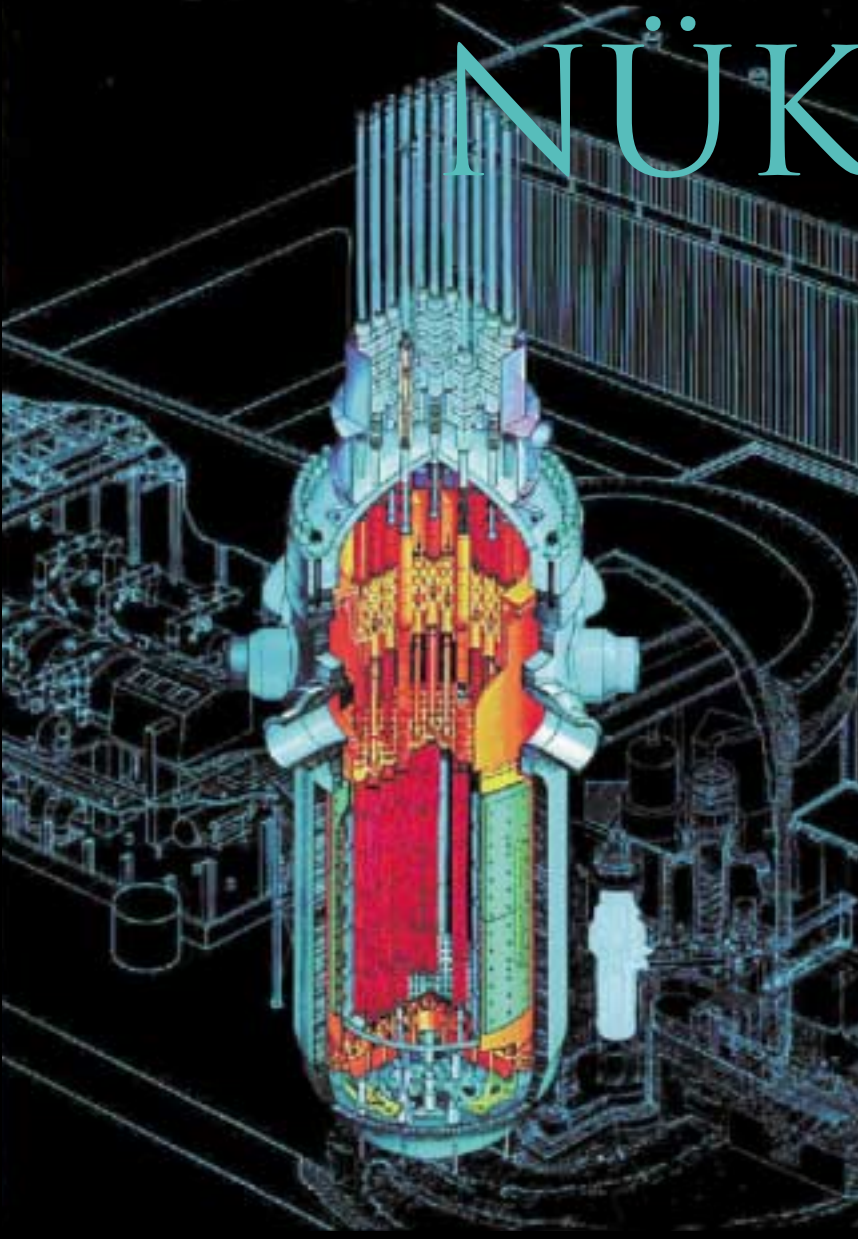
pısı muhafaza kabuğuna gerek bırakmadığından, maliyeti daha düşük. Bu maliyet farkı, kalbin yeraltında inşası için gereken ek güvenlik harcamasına ayrılacaktır.

Nükleer santrallerin bir de atık yakıt sorunu var. Uzun vadeli depolanmak üzere camlaştırılıp çelik varillere konularak yeraltı galerilerinde saklanmaları öngörülüyor. Kritik süre ilk 500 yıl ve bu sürenin uzunluğu ürkütücü. Bunca uzun sürelerle yüksek düzeyde radyoaktivite altında kalan cam ya da çeliğin, bilinenden farklı davranabileceğinden endişeleniliyor. Bu hususların üzerinde çalışılması gerekiyor. Tasarım güvenliymiş gibi görünse de, her aşamasına güvence getirilmesi, en başta da kamuoylarının tartışılıp irdelenmesi zaman gerektiriyor.

Füzyon çalışmalarındaysa, enerji dengesinin lehe çevrilmesi gerekiyor. Ancak bu yapılabilsen bile malzeme sorunları var. Örneğin tokamak tipi reaktörlerde, plazmanın kendisi manyetik alanlarla sınırlanmakla beraber, füzyon odası duvarları 14 MeV'lük nötronların bombardımanına tabi olacak. Radyasyon kırılabilirliği yine gündemde. Gerçi odanın duvarını uranyumla battaniyeyip hibrid tasarıma geçmek ve bu yüksek enerjili nötronları yavaşlatıp fisyonla kullanmak mümkün. Ancak, odanın duvar malzemesinden kopan, diyelim birkaç demir ya da uranyum atomu plazmaya girecek olursa, hafif ve hızlı çekirdeklerin hakim olduğu bir ortamda ağır ve yavaş çekirdekler dolaşmaya başlayacak. Bu, plazmanın soğuması anlamına geliyor ve plazmayı sil baştan kurmayı gerektiriyor. Bu problemler de çözüm bekleyenlerden.

Bütün bunlar fosil yakıt kullanımında tasarruf için. Bir de alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesine çalışılıyor.

NÜKLEER



Nükleer enerji atomun çekirdeğiyle ilgili bir olay olup, iki şekilde elde edilebilir. Bunlardan birincisi iki küçük çekirdeğin birleştirilmesi, yani füzyon, ikincisiyse büyük bir çekirdeğin parçalanması, yani fisyonudur. Aslında nükleer enerjinin, kendiliğinden oluşması nedeniyle insan müdahalesine olanak tanımayan bir üçüncü şekli daha var ve bu, yapısı kararsız olan 'radyoaktif' çekirdeklerin daha kararlı yapılara dönüşmeleri sırasında açığa çıkan 'bozunma ısısı'.

Halen ticari olarak enerji üreten nükleer santrallerin işleyişi, çekirdek parçalanmasına, yani fisyona dayalı. Yakıtları uranyum. Doğada bulunan uranyum neredeyse bütünüyle proton sayıları aynı (92), nötron sayılarıyla farklı olan U-235 ve U-238 izotoplarından oluşur. Hızlı ya da yavaş nötron-

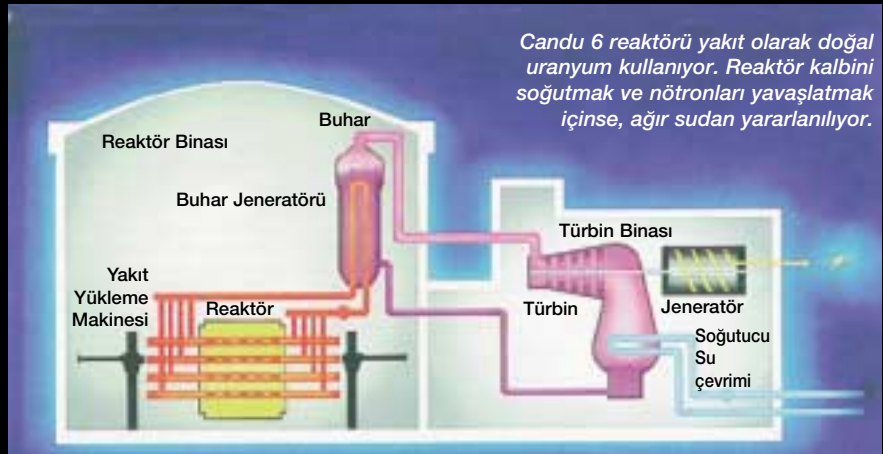
ların çarpmasıyla parçalanabilen çekirdeklerin 'fisil' olduğu söylenir ve U-235 de fisildir. Her gramı 2,5 ton kömür eşdeğeri enerji içerir.

U-235 çekirdeği yavaş bir nötron yutup parçalandığında ortaya; 'fisyon

ürünleri' denilen orta büyüklükte iki çekirdek, ayrıca bazı radyasyon parçacıkları ve iki ya da üç de hızlı nötron çıkar. Eğer bu hızlı nötronlar yavaşlatılabilir ve bu arada yutulmazlarsa, diğer U-235 çekirdekleri tarafından yutulup yeni fisyonlara, buradan çıkan hızlı nötronlar yavaşlatılıp, yine yeni fisyonlara yol açabilir. Böylelikle bir 'zincirleme tepkime' ortamı kurulmuş olur. Bunu başarabilmek için ortamın kimyasal kompozisyonunu, geometrisini ve boyutlarını uygun şekilde seçmek gerekir. Söz konusu ortama, nükleer reaktörün kalbi denir. Bir nükleer santrali diğer termik santrallerden farklı kılan, bu kalptir. Diğer bileşenler hemen hemen aynıdır.

Hızlı nötronlar en iyi, küçük kütleli çekirdeklerle çarpıştırılarak yavaşlatılabilir. Bu amaçla, hidrojen ve hidrojenin tek nötronlu izotopu olan döteryum, karbon gibi çekirdekler kullanılabilir. Örneğin suda hidrojen, 'ağır su'da da döteryum boldur. Dolayısıyla yavaşlatıcı olarak kullanılabilirler.

Fisyon ürünleri fisyonun çıktıklarında büyük kinetik enerjiye sahiptirler ve yolları üzerindeki çekirdeklere çarparak sonunda durur, bu arada ortamın ısınmasına yol açarlar. Bu ısının ortamdaki emilmesi gerekir. Aksi halde kalp erir. Ama zaten bu ısı, elektrik enerjisi üretiminde kullanılacaktır. Eğer yavaşlatıcı olarak su kullanılıyorsa, bu su aynı zamanda soğutma işini de yapar ve bir taşla iki kuş vurulmuş olur. Uranyum yakıt genel olarak kapsüller



Candu 6 reaktörü yakıt olarak doğal uranyum kullanıyor. Reaktör kalbini soğutmak ve nötronları yavaşlatmak içinse, ağır sudan yararlanılıyor.

ENERJİ

halinde üretilip zirkonyum alaşımından oluşan tüpler içine yerleştirilir ve soğutma suyu bu çubuklar çevresinde gezdirilir. Suyun, mevcut yüksek sıcaklıklarda buharlaşmaması için yüksek basınç altında tutulması gerekir. Bu yüksek basınçlı su, daha düşük basınçlı ikinci bir devredeki suyun ısıtılmasında kullanılır ve ikinci devrenin sıcak suyu bir buhar üretene, buhar da bir türbine gönderilir. Türbin kanatlarına çarpan yüksek basınçlı buhar türbini çevirir, türbine bağlı bir jeneratör de elektrik üretir.

Dolayısıyla nükleer reaktör tipleri, kullandıkları soğutucu ya da yavaşlatıcının türüne göre adlandırılırlar: Basınçlı Su Reaktörü ('PWR'), Basınçlı Ağır Su Reaktörü ('PHWR'), İleri Gaz Soğutmalı Reaktör ('AGCR') gibi.

Fisyon ürünleri kararsız çekirdeklerdir ve oluşumlarından başlayarak bozunma eğilimindedirler. Bozunma sırasında gama ışınları gibi yüksek enerjili elektromanyetik ya da alfa parçacığı denilen helyum çekirdeği ile, elektron, pozitron gibi parçacık radyasyonları ışınlarlar. Dolayısıyla 'radyoaktif'ler. Bozunma sonucu ortaya çıkan çekirdeklerin bazıları da radyoaktiftir. Kısacası, birkaç ay süreyle çalıştırılan bir reaktörün kalbinde 800 kadar farklı çekirdek oluşur ve kalpte, çalışma gücünün her megawat'ı için 1 megaCurie (1 Curie=saniyede 37 milyar bozunum) düzeyinde bir radyoaktivite stoğu birikir. Bu aktivite, enerji



üretiminin reaktörün kapatılmasından sonra da devam edeceği anlamına gelir. Yani, bir kömür santralinde kazana kömür kürelemeye son vermekle enerji üretimine son verilmiş olurken, bir nükleer reaktör kapatılmış, yani kalpteki zincirleme reaksiyon durdurulmuş olsa bile, enerji üretimi, kapatmadan önceki güç düzeyinin yaklaşık %10'uyla başlayıp, eksponansiyel biçimde azalarak devam eder. Bu 'bozunma ısısı'nın emilmesi gerekir ve bir kaza durumunda bunun yapılamaması, bir nükleer santral için düşünülebilecek en ciddi kaza senaryosunu oluşturur. 1979'daki 'Three Mile Island' ve 1986'daki Çernobil kazalarında böyle birer durum yaşanmış, bu ikincisinde kalbin koruma zırhı olmadığı için radyoaktivite stoğu çevreye dağılarak, çevre ülkeleri de etkileyen ciddi sorunlara yol açmıştır. Çünkü radyoaktivitenin canlı organizmalar üzerinde, olumsuz genetik ve beden-

sel etkileri vardır.

Öte yandan, reaktör kalbindeki uranyum yakıt zamanla fakirleşir ve belli bir noktadan sonra değiştirilmesi gerekir. 'Kullanılmış yakıt'lar kimyasal yöntemlerle parçalanıp, içlerindeki işe yarar izotoplar alınır. Geride kalan kimyasal çözeltilerde, 'üst düzeyde radyoaktif' olan, ancak işe yaramayan çekirdekler kalır. Bu 'üst düzeyde radyoaktif sıvı atıklar'ın gelişigüzel atılmaması, çevreye zarar vermemeleri için özenle zırhlanıp saklanması gerekir. Ta ki radyoaktiviteleri zararsız düzeylere inene kadar.

Radyoaktivite, dünyamızın yabancı olduğu bir konu değil. Yerküreyi oluşturan madde, bu maddenin yıldızlardaki oluşum sürecinden kalma büyük miktarlarda radyoaktivite içeriyor. Bu radyoaktivitenin bozunma ısısı, magmadan yerkabuğuna doğru yükselecek, diğeri güneş ışınları olmak üzere, yerkabuğunun iki ana ısı kaynağından birini oluşturuyor. Yerkabuğu bir yandan da, ısınan her cismin yaptığı gibi, ışınım yoluyla uzaya enerji yayıyor. Bu ısıma kaybının şiddeti sıcaklığın küpüyle orantılı olup, sıcaklıktan çok daha hızlı artıyor. Sonuç olarak, radyoaktif bozunmanın içeriden, güneş ışınlarının dışarıdan ısıtma katkıları ve ışınım ısı kaybının toplamı, yerkürenin net olarak ısı kaybetmesi yönünde. Yani dünyamız, radyoaktivitenin ısı katkısı olmamış olsaydı şimdiye kadar çoktan soğuyup kaskatı hale gelmiş olacakken, oluşumundan 4,5 milyar yıl sonra hâlâ soğumaya devam ediyor. Radyoaktif bir madde-



nin aktivitesinin yarıya inmesi için gereken zamana 'yarı ömür' deniyor ve böyle bir maddenin aktivitesini artık kaybetmiş olduğunu söyleyebilmek için, parmak kuralı olarak '10 yarı ömür'ün geçmesi gerekiyor. Nükleer reaktör atıkları arasında; Stronsiyum-90 ve Sezyum-137 gibi çekirdekler önemli bir yer tutuyor. Bunların yarı ömürleri, sırasıyla 28 ve 30 yıl civarında. Dolayısıyla bu atıkların 300 yıl süreyle, güvenli bir şekilde saklanmaları gerekiyor. Diğer bazı çekirdeklerin yarı ömürleri çok daha uzun olup, örneğin plutonyumunki 24.000 yıl kadar. Dolayısıyla bu çekirdek için '10 yarı ömür' 240.000 yılı buluyor, bu denli uzun bir zaman insanın ufkunu aşılıyor. Güvenli bir depolama için jeolojik ölçekte çalışmak gerekiyor ve tüm radyoaktif atıkların, camlaştırıldıktan sonra, depremlerden korunaklı olan yeraltı galerilerinde saklanması düşünülüyor. Şimdiki yönetim tasarımı bu yakıtların 50 yıllık sürelerle, yani yaklaşık santralin çalışma ömrü boyunca, santral alanındaki beton yapılarla saklanmalarını, böylelikle aktivite yoğunluğunun azaltılmasını öngörüyor. Daha sonra 'yakıt işleme merkezleri'nde işlenen yakıtlardan kalan yüksek düzeyli atıklar camlaştırılacak. Camlaştırmanın amacı, kırılma halinde çevreye sadece kırılma yüzeyindeki aktif çekirdeklerin sızabiliyor, bünye içindikilerin hâlâ hareket-siz kalıyor olması. Bu cam çubuklar, paslanmaz çelikten yapıma koruma kaplarına konulup, yapısı önceden incelenmiş, depremsel hareketlilik göstermeyen kaya formasyonlarındaki yeraltı galerilerinde saklanacak. Fakat aktif çekirdekler hem cam, hem de çelik kap tarafından korunuyor olacak. Cam, dayanıklı bir malzeme, Babil döneminden kalma örnekleri var; yani üç bin yıllık. Yılda yüz milyonda bir oranında çözülüyor. Cam bu kadar dayanırsa, pek mesele yok. Ancak cam eriyip yok olsa bile, radyoaktif çekirdeklerin önünde titanyum alaşımı, çift çeperli çelik bir zırh olacak. Bu alaşımın yıllık aşınma hızı biliniyor; hatta üretim el kitabında yılda 0,01mm olarak belirtiliyor. Kabın kalınlığı 1cm olsa bu, 1000 yıllık bir koruma süresi anlamına geliyor. Ama pek çok malzeme gibi çelik alaşımları da yüksek radyasyon karşısında kırıl-

gan hale geliyor. Diyelim camla birlikte çelik engeli de kayboldu. Bu durumda radyoaktif çekirdeklerin galeri duvarlarından sızıp, yeraltı sularına karışmasından endişeleniyor. Ama söz konusu galerilerin duvarlarını oluşturan kaya formasyonlarında, suyun nem halinde ve yatay olarak ilerlediği, bunu da günde ancak 25-30 cm gibi hızlarla yapabildiği biliniyor. Durum böyle olunca bu radyoaktif çekirdeklerin, nem sızıntısıyla birlikte taşınarak, örneğin 100 km ötedeki bir yer altı suyuna ulaşması, yaklaşık 1000 yıl alacak. Kaldı ki bu çekirdekler orta ya da yüksek ağırlıkta olduklarından, suyla taşınmaları zor. Çoğu, nemle birlikte taşınmak yerine kaya formasyonunun bünyesinde kalacak. Öneri, güvenli bir çözüm gibi görünüyor. Fakat ilgili malzemelerin, uzun sürelerle yüksek radyasyon altındaki davranışını daha iyi öğrenmeyi gerektiriyor.

Sonuçta nükleer santraller olağan işletme koşulları altında temiz ve ekonomik enerji üretirler. Ciddi bir kazaya uğramaları olasılığı düşük. Ancak bu düşük olasılığın gerçekleşmesi halinde ortaya çıkan fatura hem büyük, hem de hiçbir ayırım yapmaksızın, sektörle ilgili ya da ilgisiz tüm bireyleri, çevre toplumları etkileme gücüne sahip. Atık yakıt sorunuysa, daha olgunlaştırılmış ve ikna edici çözümlere gereksinim duyuyor. Halen, toplam 365 Twe güce sahip 440 santral, 2447 Tws üretimle, dünya elektrik üretiminin %16'sını sağlıyor ve birincil enerji üretiminde, %6,6 payla beşinci sırada. ABD 104 nükleer santralle toplam elektriğinin %20'sini, Fransa 59 santralle %76'sını, Japonya 54 santralle %34'ünü, İngiltere 33 santralle %22'sini, Kanada 14 santralle %12'sini, Almanya 19 santralle %31'ini, İsveç 11 santralle %39'unu, Kore Cumhuriyeti 16 santralle 41'ini, İspanya 9 santralle %28'ini, Belçika 7 santralla %57'sini, İsviçre 5 santralle %36'sını, Finlandiya 4 santralle %32'sini üretiyor.

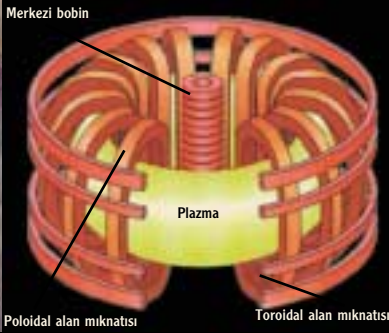
Ancak dünya uranyum rezervleri 3,34 milyon ton civarında ve U-235 açısından hayli sınırlı; mevcut santrallere 40-50 yıl yetecek kadar. Çünkü doğadaki uranyumun sadece %0,7 kadarı, fisil olan U-235 çekirdeklerinden oluşur. %99'dan fazlasını oluşturan U-238'se, kendisi fisil olmamakla bera-



ber, hızlı bir nötron yutup iki beta bozunmasından geçtikten sonra, fisil olan Pu-239 (plütonyum) çekirdeğine dönüşür. Dolayısıyla, uranyum kullanan bir reaktörde, bir yandan fisil U-235 çekirdekleri fisiyona uğrayıp enerji üretirken, diğer yandan, fisil olmayan U-238 çekirdekleri Pu-239'a dönüşür. Yani bir çeşit nükleer yakıt tüketilirken, diğer bir çeşidi üretilir. Hele fisiyondan çıkan hızlı nötronlar fazla yavaşlatılmıyor, hidrojen ya da döteryum gibi küçük çekirdekler yerine, daha az etkin yavaşlatıcı olan orta boy çekirdekler, örneğin sodyum kullanılıyorsa, böyle bir reaktörde birim zamanda, tüketilen fisil U-235'ten daha fazla sayıda fisil Pu-239 üretilir. Bu da, net olarak nükleer yakıt üretildiği anlamına gelir. Soğutucu-yavaşlatıcı olarak sıvı sodyum kullanan ve içinde, ortalama hızı yüksek olan nötronlar dolaşan böyle bir sisteme, 'Sıvı Metalli Hızlı Üretken Reaktör' denir. Uygun bir 'hızlı üretken reaktör' programının devreye sokulması halinde mevcut uranyum rezervleri 130 misli artarak, dünyamıza 2000 yıl yetecek düzeye ulaşabilir. Böyle bir program Fransa'da 2, Japonya ve eski SSCB'deyse 1'er santralle başlatılmış, fakat daha sonra, hem hızlı reaktörlerin kontrol problemlerinin daha ciddi bulunması, hem de üretilen plutonyumun yanlış ellere geçme olasılığının artacak olması nedenleriyle, programın genişletilmesinden vazgeçilmiştir.



FÜZYON



FÜZYON, evrendeki tüm diğer enerji formlarının ana kaynağıdır. Yıldızların oluşum ve yaşam süreçlerinde, hidrojen daha ağır çekirdeklerin sentezinde açığa çıkar ve zamanla diğer formlara dönüşür. Dünyamıza hayat veren güneş ışınlarının kökeni füzyondur. Bu olayda dört adet hidrojen, bazı ara aşamalardan geçerek tek bir helyum çekirdeğine, bu arada açığa çıkan çekirdek enerjisi de ısıya dönüşmektedir. Böylesi bir 'çekirdek birleşmesi,' yani 'füzyon' tepkimesi, iki döteryum çekirdeği arasında da yer alabilir ve önemli miktarda enerji verir. Birleşme tepkimesinin gerçekleşmesi için, benzer yüklü olduklarından birbirlerini iten çekirdeklerin, bu itme kuvvetini yenerek birbirlerine yeterince yaklaşmaları gerekir. Gerekli yakınlasmayı, ilgili malzemeyi ısıtıp atomlarına yüksek kinetik enerji aktarmak ya da malzemeyi yüksek basınç altında sıkıştırmak yoluyla başarmak mümkündür. Güneş bunu, iç kısımlarındaki yüksek basınç sayesinde, 10-14 milyon °C gibi görece düşük sıcaklıklarda gerçekleştirebiliyor, yani güçlülük ve yavaş yavaş. İyi ki de öyle, yoksa şimdiki kadar yakıtını tüketip sönmüş olurdu. Yeryüzündeki düşük basınçlarda gereken sıcaklıklarsa, çok daha yüksek ve 100 milyon °C düzeyinde. Bu yüzden füzyon tepkimeleri, sıcaklığa dayalı nükleer tepkimeler anlamında, "termonükleer tepkimeler" olarak nitelendirilirler.

Bu yüksek sıcaklıklarda herşey buharlaşmış ve atomlar iyonize halde oluyor. Yani pozitif yüklü çekirdekler ve negatif yüklü elektronlar, çeşitli yönlerde

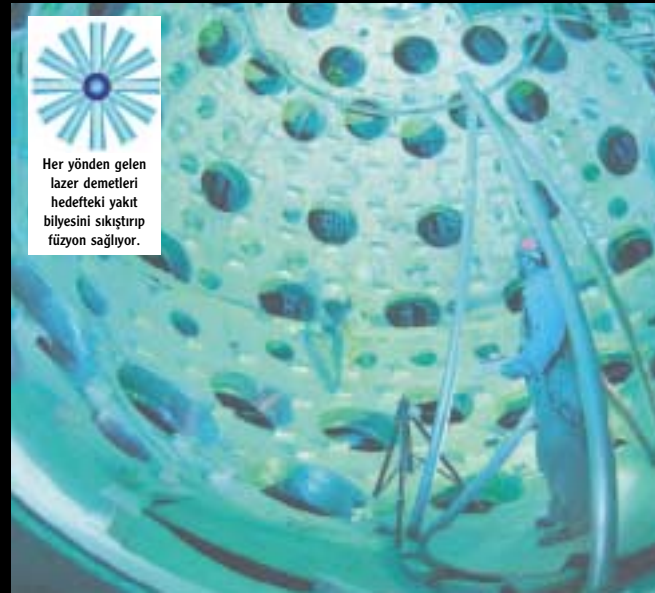
ve çok yüksek hızlarla koşuşturup duruyorlar. Böyle bir plazma oluşturulabilirdiği takdirde, füzyon tepkimeleri başlayacak ve enerji üretme olanağı doğacak. Tepkimenin belli başlı hammaddesi olan döteryum, dünyada bol. Çünkü okyanus sularındaki her 6,666 hidrojen çekirdeğine karşılık, bir tane de döteryum izotopu bulunur. Bu izotopun her gramı 7,5 ton kömüre eşdeğer füzyon enerjisi içerdiğine göre, okyanuslarda neredeyse sınırsız miktarda enerji var. Ancak füzyon olayını başlatmak için gereken yüksek sıcaklıklara dayanıklı hiçbir malzeme yok. Çünkü milyonlarca santigrat derecedeki plazma, değdiği herşeyi, metal, hatta seramik bile olsa, anında buharlaştıracaktır. Güneşin merkezinde bu, sorun değil; zaten herşey gaz halinde. Yeryüzünde ise plazma, maddeden yapılmamış "kap"larda ısıtılmak zorunda. Bunun için, 'manyetik tutma' ve 'hareketsiz tutma' ('inertial confinement') denilen iki farklı yöntem benimsenmiş durumda. Birincisinde, manyetik alanların hareket halindeki yüklü parçacıklar üzerinde, hareket yönüne dik olarak uyguladığı kuvvetlerden yararlanılıyor. Kullanılan manyetik alanın konfigürasyonu bir simit şeklinde olduğundan, bu temele göre çalışan füzyon reaktörlerine, simit geometrisini betimleyen Rusça sözcüklere atfen 'Tokamak Reaktörleri' denir. Böyle bir tokamaktaki manyetik alan kuvvetleri, plazmayı oluşturan yüklü parçacıkları, hem simit içinde dairesel yönde ve milyonlarca amperlik

bir akım oluşturacak şekilde harekete zorlar, hem de onları sıkıştırarak simitin dışına kaçmalarını önlemeye çalışır. Dolayısıyla bir yandan plazmanın basıncı artarken, diğer yandan, dairesel hareket sırasında yer alan çarpışmaların yol açtığı 'ohm ısınması' sonucu plazma sıcaklığı yükselir. Füzyon tepkimeleri başladığında plazma daha da ısınır ve çok daha hızlı hareket etmeye başlayan parçacıkların, hapsedildikleri hacimden kaç-

bilmeleri kolaylaşır. Plazma, saniyenin milyonda birine yakın bir süre içerisinde dağılır.

Hareketsiz tutma yöntemindeyse, yakıtı oluşturan döteryumlu zerrecikler boşlukta düşerken, terawatt düzeyindeki bir dizi yüksek güçlü lazer ışını tarafından aynı anda vurulup, füzyon için gerekli sıcaklıklara ısıtılırlar. Bu şekilde oluşan plazma da keza, saniyenin kesrinde soğuyacaktır. Dolayısıyla atımlı, yani dura kalka çalışmak zorunda olan her iki yöntemde de önemli olan, bu kısa süre içerisinde füzyon tepkimelerinden, plazmayı ısıtmak için harcanandan daha fazla enerji elde ederek, hatta ideal olarak "sürekli yanma" sağlayarak kâra geçmek ve bu enerjiyi elektrik enerjisine çevirmektir. Buysa, 1950'lerden beri bu alanda yapılan araştırmalara milyarlarca dolar harcanmış olmasına karşın, henüz başarısız olmuş durumda.

Füzyon olayında enerji ekonomisini iyileştirebilmek için bir yol daha var. O da plazma hacminin çevresini, uranyum yakıtla battaniyelemek. Bu durumda plazma tepkimelerinden çıkan nötronlar, battaniyedeki U-235 çekirdeklerini fisyonu uğratarak ek enerji üretimine yol açacak, enerji getirisinin bir kısmı da buradan sağlanmış olacak. Fisyon ile füzyonun birlikte çalıştığı bu sisteme, alması (hibrid) reaktör tasarımı deniyor. Ekonomik hale getirilebilmesi durumunda insanlık görece çok daha temiz ve neredeyse sınırsız bir enerji kaynağına kavuşmuş olacak. □



Her yönden gelen lazer demetleri hedefteki yakıt bilyesini sıkıştırıp füzyon sağlıyor.



GÜNEŞ

Fotovoltaik Hücreler

Güneş enerjisi dünyamızdaki hayatın temelini oluşturur. Bol ve temiz bir kaynaktır. Atmosferin dışına, metrekareye 1,4 kw olmak üzere, yılda toplam 3×10^{21} J kadar güneş enerjisi ulaşır. Yarıdan fazlası yere inen bu miktarın 9×10^{20} J kadarı karalarda, kalanı da denizlerde emilir. Bunun çok küçük bir kısmı ($0,15 \times 10^{18}$ J) bitki örtüsüne fotosentezde kullanılır. Karadaki yoğunluğu güneşin dik olduğu saatlerde, yatay bir yüzey için metrekareye 1 kw kadardır. Bu enerjiden yararlanmak için, binaların ve yerleşim birimlerinin mimarisini bu amaca yönelik olarak şekillendiren 'pasif yöntemler'e ek olarak, halen uygulamada olan iki aktif yöntem vardır. Bunlardan birincisi, güneş ışınlarının enerjisini ısıya çevirmek. Yüzeyi güneş ışınlarını emen bir maddeyle kaplı olan ısı toplayıcıları, içlerinden geçirilen suyu ısıtır ve bu su, konut ve işyerlerinin sıcak su gereksinimine destek verir. Halen en yaygın olan güneş enerjisi uygulaması bu ve Türkiye de, dünyanın önde gelen toplayıcı üreticilerinden biri. Birim enerji maliyeti, yıldaki güneşli gün sayısına bağlı olarak 2-13 cent/kws aralığında değişir. Bu yöntemle buhar elde etmek istenildiğinde, gereken sıcaklıkları sağlayabilmek için ışınları yoğunlaştırmak gerekir. Bunu gerçekleştiren ve güneşin konumunu bilgisayar yardımıyla otomatik olarak izleyen parabolik aynalar, topladıkları ışınları, içinden su geçirilen emici yüzeyli boruların üzerine düşürürler. Diğer yöntem güneş ışınlarının enerjisini doğrudan elektriğe çevirmek. Bu işlem, fotovoltaik hücrelerden oluşan paneller aracılığıyla olur. □



Güneş enerjisine dayalı saat ve hesap makinelerinde yaygın olarak kullanılan fotovoltaik hücreler, yarı-iletken teknolojisine dayanır.

Bilindiği gibi silikon, bir yarı-iletken. Yarı-iletken olmasının nedeni, atomlarının dış orbitalindeki elektronların, kolayca olmasa da iyonlaşım çevre dolaşabilmesi. Bunlara valens elektronları denir. Silikonun dört valens elektronu vardır ve bu elektronlar kristal yapı içerisinde, her silikonun, çevresindeki dört silikona bağlanması için kullanılır. Dolayısıyla silikon kristal içinde normal olarak, ortalıkta boş dolaşan ve iletkenliği sağlayacak fazla elektron yoktur. Fakat silikon yongaya; örneğin arsenik gibi, silikondan bir fazla valens elektronu olduğu için silikona oranla elektron vermeye daha yatkın, yani n-tipi ya da örneğin boron gibi, silikondan bir az valens elektronu olduğu için silikona oranla elektron almaya daha yatkın, yani p-tipi 'safsızlık' denilen atomlar emdirilebilir. N-tipi bölgede, arsenik valens elektronlarından dördünü çevresindeki silikona bağlamak için kullanıp beşincisini, iletkenliği artıracak

serbest elektron olarak bırakır. P-tipi bölgede ise, boron atomu dördüncü bağımlı kurmak için çevredeki silikonların birinden bir elektron alır ve bu durumda, sözkonusu silikon artı yük edinmiş olur. Bu artı yüklere, elektron eksikliği anlamında 'deşik' de denir. Aslında hareketli olan yükler elektronlardır. Fakatdeşikler de hareket ediyorlarmış gibi görünür. Çünkü örneğin artı yüklü birdeşik, yanındaki atomlardan birinden bir elektron alıp nötrleşebilir. Bu durumda yandaki atom artı yüklü hale gelmiş, başlangıçtakideşik adeta bir atom boyu hareket etmiştir.

Kısacası, n-tipi safsızlık ortalıkta dolaşan elektron sayısını, p-tipi safsızlık,deşik sayısını artırır. Şimdi bir yonganın yarısına n ve diğer yarısına p-tipi safsızlık emdirilerek güneş ışınlarına karşı tutulduğunu varsayalım. Gerçi her iki bölgede bulunan toplam elektron vedeşik sayıları, ayrı ayrı eşittir. Fakat birim alan başına; n-tipi bölgede p-tipine göre daha çok elektron, p-tipi bölgede de, n-tipine göre daha çokdeşik dolaşıyor olacaktır. Bu durumda eğer iki bölge bir iletken-

Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Bu kaynakların iki önemli avantajı var. Birincisi yenilenebilir, dolayısıyla tükenmez olmaları. İkincisi, doğal süreçlerin parçası olmaları nedeniyle, çevreye zararlı yabancı unsurlar salmamaları. Buna karşılık dezavantajları da var. Coğrafi olarak her yerde bol bulunmuyorlar; ayrıca yoğun enerji formları olmamaları nedeniyle geniş alanlardan toplanmak zorundalar. Ancak daha hızlı gelişmelerinin önündeki en büyük engeller, hidro ve rüzgâr dışındakilerinin şimdilik pahalı olmaları yanında, mevcut enerji üretim ve tüketim sistemlerinin değişikliklere yavaş yavaş yanıt veriyor olması.

Hidroelektrik

Hidroelektrik santrallerde türbin, yüksekten düşürülen suyun kanatlara çarpması sonucu döndürülüyor ve türbine bağlı bir jeneratörden elektrik üretiliyor. Elektrik 20. yüzyılın başlarında kullanılmaya başlandığında sadece bu kaynaktan üre-



tilmiş. Dolayısıyla gelişmiş ülkeler, hidroelektrik potansiyellerini hemen tamamen geliştirip devreye sokmuş durumda. Bu alanda genişleme potansiyelleri yok. Hatta ABD gibi bazılarında tam tersine, yol açmış oldukları çevre değişiklikleri nedeniyle bazı mevcut barajların kaldırılarak, suyunun eski haline getirilmesi düşünülüyor. En büyük genişleme potansiyeli, gelişmekte olan ülkelerde. Fakat Çin, Hindistan, Malaysia, Türkiye (İlusu) gibi bazı ülkelerin büyük çaplı projeleri de, keza aynı yönde eleştiriler alıyor. Dolayısıyla çok sayıda, 25 Mw'ın altındaki küçük çaplı barajlara yönelmesi söz konusu. Birim kapasite maliyetleri 2,500-5.000 dolar/kw düzeyinde yüksek olan bu tür birimler, iletim şebekesinin ulaşmakta zorluk çektiği uzak ve küçük yerleşim merkezlerinde ekonomik olabilecek.

Hidroelektrik halen dünya birincil enerji üretiminde %7,1 payla dördüncü geliyor ve ürettiği yaklaşık 2566 Tws ile, dünya elektrik enerjisi gereksiniminin %18,77'sini sağlıyor.

Rüzgâr

Rüzgâr aslında güneş enerjisinin bir başka formu. Atmosferdeki ısınma farklılıklarının yol açtığı hava hareketlerindeki kinetik enerjiyi, bir rüzgâr türbini aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürmeyi hedefliyor. Türbin; rüzgârla birlikte dönen rotor, bir jeneratör ve dönme hızını kontrol eden bir sistemden oluşuyor. Türbinin, büyüklüğüne göre 3-

ENERJİSİ

le dışarıdan birbirine bağlanırsa, n-tipi bölgeden p-tipi bölgeye doğru elektron akımı olur. Akımı ayakta tutan güneş ışınlarının enerjisidir. Elektron ve değişimler sonuç olarak birleşip birbirlerini yokeden, devreden güç elde edilebilir. Bu, fazla büyük olmayan boyutlar için 1-2 watt düzeyinde küçük bir güçtür. Ancak, böyle 'hücre'lerin binlerce bir araya getirilerek binlerce watt düzeyinde güç elde edilebilir.

Şimdiki fotovoltaik hücreler, klasik bir katı hal p-n yarıiletkeninden, çoğunlukla dopingli kristal ya da amorf silikondan oluşuyor. Çünkü bu yarıiletkenler, üretimlerinin pahalı ve enerji yoğun olmasına karşın, diğer alanlardaki yoğun kullanımları nedeniyle çevrede bolca var ve iyi tanınıyor. Halbuki bu klasik katı hal yarıiletkenleri yerine, yarıiletken bileşikler, hatta iletken polimer yapıların kullanılması durumunda maliyetler ucuzlayacak. Öte yandan, klasik hücrede elektronların iletken varmak için, içinde doğdukları yarıiletken bölgeyi baştan başa geçmeleri gerekiyor. Eğer bu süreç kısaltılabilirse, elektronların yolda değişikliklerle birleşip heba olması önlenir ve verim artar. Örneğin p-n bağlantı hattının yerine, indirgeyici-yükseltici (RedOx) malzemesi ya da hatta daha gelişmiş elektrolitler konduğunda, keza bir verim artışı sağlanmış,

bu arada fotovoltaik hücre fotokimyasal bir hücreye çevrilmiş oluyor.

Bu esasa göre çalışan fotovoltaik hücreler, üzerlerine düşen güneş enerjisinin ancak %15 kadarını elektrik enerjisine çevirebilirken, kendileri bir hayli pahalıya (3-6.000 dolar/kwe) mal oluyor.

Klasik hücrenin verim düşüklüğünün bir nedeni de, görünür ışık spektrumunun sadece bir kısmını emebiliyor olması. Bu spektrum aralığını genişletmek için, farklı enerji bölgelerine duyarlı hücreleri, seri ya da paralel olarak birbirine bağlamak mümkün. Bu 'çok bağlantılı rejeneratif' hücrelerde, %20 verim düzeyine yaklaşıldığı bildiriliyor. Spektrum duyarlılığını geliştirmek amacıyla elektrotları, moleküler kalınlıkta boya malzemeleriyle kaplamak da mümkün. Bu durumda ışığın bir kısmını bu tabaka, kalan kısmını da iç tabaka emiyor.

Elektronların yarıiletkendeki yolculuk süresini kısaltmanın bir başka yolu da, hücre içini, birbirleriyle temas halinde olan mikroküre şeklindeki iletkenlerle doldurup, bunların arasını yarıiletken polimerlerle sıvamak. Bu durumda yarıiletken içinde doğan elektronlar, yolları üzerindeki ilk iletken mikroküreciğe sığınıp, yollarına iletken kürecikler üzerin-



den devam ediyor, yarıiletken polimer içinde kalandeşiklerce imha edilemiyorlar. Bunlara nanoyapılı hücreler deniyor. Verimleri halen %5 düzeylerinde.

Halen, Avrupa ve ABD'de 300-500 kw kapasiteli birkaç deneme santrali, Japonya'daysa 150 Mw kurulu güç var. %12-16 aralığında olan verimlerin %20-30 düzeylerine çıkartılmasına çalışırken, üreticiler talebin az, dolayısıyla da üretim hacminin küçük olması nedeniyle maliyetlerin yüksek olduğunu savunuyor. Bu yüzden ABD'de Clinton yönetimi, 1 milyon konutun çatısının fotovoltaiklerle kaplanmasına yönelik, vergi teşvikleri içeren bir programı başlatmış bulunuyor. Bakalım sayı milyonlara ulaşınca, birim maliyetler nereye düşecek.

25 m/s (11-90 km/s) rüzgâr hızlarına gereksinimi var ve bu kritik bir faktör. Çünkü rüzgârın taşıdığı enerji, hızının küpüyle orantılı. Dolayısıyla, kws başına üretim maliyeti, yaklaşık 10 m yükseklikte ölçülen hızlara bağlı. Örneğin 6,7 m/s'de 3,5 cent iken, 5,8 m/s'de 8 centi geçebiliyor. Yatay ve dik olmak üzere iki tip türbin var. Yatay olanlarda kanat konfigürasyonu, rüzgâr değişimlerinde olduğu gibi yere paralel, dikey olanlardaysa, bir yumurta çırpıcısında olduğu gibi, yere dik bir eksen çevresinde dönüyor. Modüler yapıları sayesinde, küçük yerleşim birimi uygulamalarından, büyük enerji üretim santrallerine kadar farklı ölçeklerde kullanılabilirler. Ortalama bir rüzgâr ünitesi, zamanın %25-30'unda güç ürettiğinden, şebekeye bağlı evler, çiftlik ya da işyerlerine takviyede bulunabilir; bu durumda, fazla üretim şebekeye satılabilir. Bir dizel jeneratörüyle destekli hibrid sistemler başka bir alternatif oluşturur.

Rüzgâr enerjisi halen, biraz da çok düşük bir düzeyden başladığı için, en hızlı gelişen elektrik üretim aracı. 1 Mw'ı aşan üniteler çalışır durumda. Çeşitli ülkelerde kurulu binlerce türbinden oluşan 20.000 Mw'luk kurulu kapasite var ve %25-35 yük faktörüyle çalışıyor. Tipik bir 600 kw'luk türbin rotorunun kule yüksekliği 40-50, kanat



uzunluğu 43 metre. Kuruluş maliyeti 1000 dolar/kwe düzeyinde. Üretim maliyetleri ise çok rüzgârlı bölgelerde kws başına 3,9 cente kadar inebiliyor. Çevre etkileri açısından sadece, kanatların gürültüsü, görüntü kirliliği ve kuşların takılıp ölmesi gibi sorunları var. ABD 2020 yılından başlayarak elektriğinin %5'ini bu kaynaktan sağlamayı hedefliyor. Ülkemizdeki kurulu güç 19 Mw ve bu kapasitenin 1000 Mw'a çıkartılmasına çalışılıyor.

Jeotermal Enerji: Yer kabuğunun ince olduğu yerlerden çıkan sıcak sulara ve gazzerlere dayalı bir enerji türüdür. Kaynağını, 1.500-10.000m derinliklere yaklaşan magmanın derin yeraltı sularını ısıtmasından alır. Elektrik enerjisi üretimi için gerekli sıcaklıklara nadir yerlerde rastlanmakla beraber, ısıtma gereksinimine yönelik olarak kullanılabilir. Güvenilir bir kaynak olup zamanın ortalama %97'sinde kullanıma hazırdır. Dünyada halen 6.000Mwe kurulu kapasite var. Bunun 2,500Mw'ı ABD'de ve bu kapasitenin 2010'da 12.000, 2030'da da 49.000Mw'a çıkartılabileceği söyleniyor. Birim üretim maliyeti 4,5-7 cent/kws civarında.

Biyokütle: Enerjiye dönüşürülebilen organik maddeye biyokütle deniyor. Bu, odun, hayvan atıkları, bitki artıkları ya da enerji amaçlı yetiştirilmiş



bitkilerden oluşabilir. Tarih in eski çağlardan beri kullanımda olan bu enerji türü, karbondioksit emisyonlarını sınırlamada rol oynayabilecek bir alternatif olarak sunuluyor. Öneri, 'enerji ormanları'nın yetiştirilip, doğrudan odun olarak yakılması ya da bu bitkilerden elde edilen metanol ve etanol gibi yakıtların enerji gereksinimini karşılamada kullanılması. Çünkü bir bitki ya da ağaç yakıldığında, büyüme süreci sırasında atmosferden karbondioksit olarak alıp bünyesinde sabitlemiş olduğu karbonu, karbondioksit olarak atmosfere geri veriyor. Sera gazı emisyonlarına net bir katkısı yok.

VE UFKUN



Hidrojen

Hidrojen, kütlelesel enerji yoğunluğu (142 kJ/g) yüksek bir madde olup, gramı başına sıvı hidrokarbonlardan (47kJ/g) bile daha fazla enerji içerir. Uzay uçuşlarında bu yüzden tercih edilir. Suyun elektroliziyle temiz bir şekilde elde edilebilir. Oksijenle uygun şekilde yakıldığı takdirde, atık ürün ola-

rak su buharı verir. Kendisi zehirli olmayıp, hafifliğinden dolayı son derece uçucudur ve bir kaza halinde, olay yerinden hızla uzaklaşır. İdeal bir yakıt gibi görünüyor. Ancak gaz olduğundan dolayı kolayca yanıcı, enerji yoğun olması nedeniyle de patlayıcı. Ayrıca; üretim, taşıma ve tüketim aşamalarında, çözülmesi gereken problemler var.

Dünyada halen yılda 50 milyon ton hidrojen tüketiliyor. Ancak bunun üretimi fosil yakıtlarla ya da hidrokarbon ('cracking') tepkimeleriyle yüksek sıcaklıklarda yapılıyor ve bu arada atmosfere karbondioksit salınıyor. Elektrolizle eldesi şimdilik çok pahalı. Hem de temiz bir şekilde elde edilebilmesi için, kullanılacak elektriğin temiz kaynaklardan sağlanabilmesi, örneğin fotovoltaiklerin ekonomik hale gelmesi gerekiyor. Taşıma işine gelince...

Hidrojen gramı başına bol enerji içeriyor. Fakat normal koşullar altında gaz, fazla hacim kaplıyor. Hacmi 'sıvılaştırarak azaltayım' desiniz -252 °C'ye inmeniz, 'basınç altında küçültüyüm' desiniz, yüzlerce atmosfere çıkmamız gerekiyor. Birincisi pahalı ve pratik olmayan bir yöntem, ikincisiyse tehlikeli...

Örneğin ulaşımda kullanılma olasılığını ele alacak olursak, hidrojeni otomobil yakıtı olarak kullanmanın iki yolu var. Birincisi, içten patlarlı bir motorda havayla karıştırarak yakmak. Bu çevrim, benzin-hava karışımından biraz daha yüksek (%23) verim sağlar. Fakat verim hâlâ, Carnot verimiyle sınırlı. İkinci yol, hidrojeni bir yakıt hücresinin

Geleceğin ulaşım teknolojisi:

Yakıt Hücresi ve Hidrojen İçeren Araçlar

Polimer elektrolitik zar yakıt hücreleri (PEMFC) özellikle ulaşım uygulamaları için geliştirilmiş olup, yakıt hücreleri günümüzde, bir laboratuvar çalışması olmaktan çıkmış; prototip olarak da olsa çok sayıda yakıt hücresi otomobil, tren, uçak, denizaltı, bot, kar aracı, ticari araç, otobüs ve motosiklet geliştirilmiş bulunuyor. Ford Motor Company tarafından geliştirilen ve PEM yakıt hücresi kullanan P2000 aracında, yakıt olarak hidrojen kullanılıyor. Büyük ölçekli prototip sistemler de var ve Daimler-Benz'in bir alt şirketi tarafından inşa edilen 300 kW'lık 'Sıcak Modül' ünitesi, 1 yıldan fazladır %47 elektrik verimiyle çalıştırılmış bulunuyor. ABD'nin 1,8MW'lık Santa Clara sistemi, MFCFC teknolojisine göre yapıldı ve açılmak üzere. ABD Enerji Bakanlığı'nın koyduğu hedefse, şehir içi otobüslerde kullanılmak üzere, 400 dolar/kw maliyette SOFC dizileri üretmek.

Ancak yakıt hücrelerinin güç maliyeti (3.000-10.000 dolar/kw) halen çok yüksek. Nihai he-

def, birim hidrojen eldesi maliyetinin petrol eldesindeki maliyet düzeyine (2 dolar/kg), yakıt hücresinden elde edilen enerji maliyetininse, içten yanmalı motordan elde edilen enerji maliyet düzeyine düşürülmesi. Yakıt hücrelerinin bu düzeyde ekonomik hale gelmesinin 20-30 yıl daha ala-



cağı beklendiğinden, geçiş döneminde, hibrid araçların yoğun kullanıma sahne olacağı tahmin ediliyor.

Yakıt hücresi hibrid sistemler, bir elektrik ve bir içten yanmalı motorun, iki farklı enerji dönüşüm ve depolama sistemini içerirler. Yakıt hücresi ve yakıt tankı, iki sistemin enerjisini depolar. Sürüş için iki motor kombine olarak kullanılır ve bu motorlar birbirine, seri ya da paralel olarak bağlanabilir. Paralel bağlı sistemlerde, özellikle şehir içinde yakıt hücresi elektrik motoru kullanılacak, şehir dışında görevi içten yanmalı motor devralacaktır. Böylelikle, şehir içinde düşük emisyon ve gürültü azlığı avantajından, şehirlerarası uzun menzilli sürüşlerde de, içten yanmalı motorun yüksek performansından yararlanılacak. Seri bağlı sistemlerde, tüm sürüş öndeki elektrik motoruyla gerçekleştirilir ve arkadaki içten yanmalı motorun kullanımı sınırlandırılmıştır. Bu açıdan bakıldığında, paralel bağlı sistemlerin daha kullanışlı olduğu görülüyor.

ÖTESİ

de havadan alınan oksijenle elektrokimyasal olarak yakmak. Hücre, ısı ve elektrik üretir. Bu durumda verim %50-60'lara, yani termal çevrim veriminin iki katından fazlasına çıkabilir. Modern bir otomobil, 400 km'de 24 kg benzin yakar. Aynı yol için, içten patlarlı hidrojen motorunda 8, yakıt hücreli otomobilde 4 kg hidrojene gerek var. Hidrojenin 4 kg'ı, oda koşullarında 45 metreküp hacim kaplar. Hani 'bir balona doldurup arabama götüreyim' deseniz, yolda uçabilirsiniz. Bu hacmi basınç altında azaltmak mümkün.

Çelikten yapılma yüksek basınç depoları, 300 atmosfer basınca dayanır ve normal olarak 200 atmosfere kadar doldurulur. Bu basınçta 4 kg hidrojen 225 litre hacim tutar: Bu hacim hâlâ büyüktür, üstelik depo ağır gelir. Karbon elyafıyla desteklenmiş kompozit malzemeler 600 atmosfere kadar denenmiş, düzenli kullanım için 450 atmosfere kadar doldurulmuşlardır. Fakat hidrojen karbonla tepkimeye girer ve bu tankların içini, çelik ya da alüminyum gibi bir metalle kaplamak gerekir. Bu durumda ve 450 atmosfer basınçta, 4 kg hidrojen 60 cm çapında bir

küreye sığdırılabilir. Ancak tank fazla ağır olacak ve dolu olduğu durumdaki ağırlığının %4'ü oranında hidrojen taşıyacaktır. Üstelik, hidrojenin kabın içindeki 450 atmosferden dışarıdaki 1 atmosfere geçme zorunluluğu vardır ve bunca büyük bir fark, ara basınç kontrol sistemleri gerektirir. Sistem daha da ağırlaşmaktadır. Halbuki bir otomobilde yakıt verimini artırmanın en etkin yöntemi, araç ağırlığını düşük tutmaktır. Ayrıca bu denli yüksek basınçlı tankların, başta doldurma ve taşıma sırasında olmak üzere ciddi patlama riskleri bulunduğundan, bazı ülkelerde kayollarına çıkmaları yasaktır.

Hidrojeni molekül yapılarında depolamak da mümkündür. Örneğin hidrokarbonlar yüksek oranda hidrojen taşırlar, fakat yakıldıklarında karbondioksit çıkarırlar. Öte yandan, amonyak (NH₃) hidrojen zengindir. Ama, sera gazları çıkarmanın yanında, çok etkin bir oksitleyicidir de.

Hidrojenin nakli halen, nisbeten küçük miktarları için bile büyük tanklarla yapılıyor. Üretimi ve nakli, zor ve pahalı. Bu bedeli kaldıracabilecek olan sektörlerde kullanılıyor. Uzay uçuşları, süpe-

riletkenlik, manyetik rezonans uygulamaları gibi. Depolama sorunuysa, otomobil yakıtı olarak kullanılabilmesinin önünde ciddi bir engel oluşturuyor.

Oysa hidrojen küçük bir atom. Kristal yapılara kolayca sızabiliyor. Dolayısıyla, farklı yapılardaki karbon nano yapılarında ya da hidrid bileşiklerinde depolanabilmesi olanağı üzerinde çalışılıyor. Ancak bu yöntemde de, yapıya emdirilen hidrojenin geri alınma sorunu var; bunun kolayca gerçekleştirilmesi gerekiyor. Eğer, bu yapılara emdirilen hidrojenin geri alınması kolaylaşır ve hidrojenin toplam ağırlık içindeki payı %6,5'a, hidrojen taşıma kapasitesi de metreküp başına 62 kg'a çıkartılabilirse, hidrojen arabalarda yakıt olarak kullanılabilir. Halen bildirilen kütle oranları %2-3 düzeylerinde.

Hidrojenin nasıl yakılacağı konusunda da kritik tercihler söz konusu. İçten patlarlı motorlarda yakılması ve oksijenin hızlı verilmesi durumunda, atık ürün olarak su buharına ek olarak, nitrik oksitler gibi karsinojen sera gazları da çıkıyor. Eğer yalnızca su buharı çıkması isteniyorsa, yanma odasına oksijeni yavaş vermek, yani havayı dikkatli pompalamak gerekiyor. Ama bu durumda da, olaydan enerji çekme hızı, yani güç azalıyor. Dolayısıyla, %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. Ancak halen, otomobil üreticileri yakıtı henüz ortada olmayan bir arabayı üretmek, enerji firmaları da kullanıcı olmayan bir yakıtta yatırım yapmak istemiyor. Bu kilitlenmişliği kırmak için de hidrojenin, fotovoltailer ekonomik hale gelinceye kadar fosil yakıtlardan üretilip, hiç değilse yakıt hücreleri ekonomik hale gelinceye kadar da içten patlarlı motorlarda kullanılmak üzere, otomobil yakıtı olarak şimdiden piyasaya sürülmeye başlanmasını savunanlar var.

Ancak, 1200 kg'lık araçların 60 kW enerji gereksinimi olduğu düşünülürse, yakıt hücresi maliyetleri göz önüne alındığında, bu tür hibrid sistemler bile halen çok pahalı. Dolayısıyla bir yandan da, içten yanmalı motorların geliştirilmesine çalışılıyor. Geliştirilmiş benzinli motorlarda yakıt tüketimi %20 azalmakta, buna karşın içten yanmalı motorlarda en iyi sonucu, geliştirilmiş dizel motorları vermekte. Dolaylı enjeksiyonlu dizeller yerini dolaysız enjeksiyonlu dizellere bırakırken, bu gelişmenin sonucu olarak dizel motor kullanımının dikkate değer şekilde artması bekleniyor. De-NOx katalistlerin verimlerinin artırıldığı ve tamamen kükürt içermeyen yakıt üretildiğini düşündüğümüzde, 2005'teki yeni benzinli otomobil satışlarının %20'si yerini, direkt enjeksiyonlu benzinli motorlara bırakacağı ortaya çıkıyor. Öte yandan bazı firmalar, yanma odasındaki gaz karışımını dinamik bir şekilde kontrol ederek optimal yanma sağlayabilen 'değişken kapasiteli vana' (fully variable valve) sistemine ulaşmada önemli adımlar atmış bulunuyorlar. Gelişmiş teknolojilerin işlerlik kazanmasıyla birlikte 2005 yılından itibaren, ileri teknolojiye sahip içten yanmalı motorların tercihinde belirli bir artış bekleniyor.

Bu arada bir Japon firması, ilk paralel hibrid gelişmiş benzinli motor ikilisini Japonya'da tanıttı bile. Ancak bu sistemde, yakıt hücresi yerine akü kullanılıyor. Seri bağlı ikilide, öndeki elektrik motoru, şehir içindeki düşük hızlarda aküsünü kullanacak, şehir dışındaki yüksek hızlardaysa, tahriki içten yanmalı motordan alacaktır. Şehir içinde frene basarken, enerji kaybetmek yerine akü takviye ediliyor olacak, duruşlarda içten yanmalı motor boşta çalışmak yerine aküyü dolduracak. Diğer otomobil üreticileri de, özellikle California'daki emisyon standartlarını yakalayabilmek için 2003 yılından itibaren, hibrid benzeri sistemleri seri olarak üretilmeye piyasaya sürmelerini duyurmuş bulunuyorlar. İkinci motorun eklenmesiyle, mevcut araçların 150 kg'lık ek bir ağırlığa sahip olacağı düşünülüyor. Bu ağırlık farkıysa aracın ivmelenmesini olumsuz etkileyecek.

Bugünkü maliyetlere göre, geliştirilmiş içten yanmalı motorların üretimindeki maliyet artışı %25, hibridlerin maliyet artışına %100 olarak öngörülüyor. Yakıt hücreli sistemlerse, henüz çok pahalı durumda.

Dr. Ahmet Murat Yıldırım
Ford Otosan, Ürün Geliştirme Departmanı
Motor ve Güç Aktarma Sistemleri
e-mail: myildiri@ford.com.tr

Ucuz Süperiletken Aranıyor...

Üçte bir civarında bir verimle fosil yakıtlardan elektrik enerjisi üretiliyor, fakat bu elektriği tüketim merkezlerine naklederken ve trafo merkezlerinde voltajını yükseltip indirirken %10'lara varan kısmını kaybediyoruz. Halbuki iletim hatlarında ve trafolarda iletkin yerine süperiletken kullanımı ekonomik olabilirse, bu kayıpları (neredeyse) sıfırlamak mümkün. Teknoloji halen deneme aşamasında ve pahalı. Mevcut demir, bakır alternatifleriyle yarışabilmesi için maliyetlerin, 10-100 dolar/kAm aralığına inmesi lazım. Bu teknolojinin işlerlik kazanması durumunda, elektrik üretimi alanında getireceği bir kazanç daha var...

Elektrik talebi, mevsimden mevsime, haftanın günlerine ve günün saatlerine göre değiştiğinden, kesinti istenmediği takdirde güç kapasitesinin, yıl boyunca olabilecek en yüksek talep düzeyinde kurulması gerekiyor. Yıllık toplam talebi karşılayabilecek olan ortalama kapasiteyle bu kapasite arasındaki farkı oluşturan 'rezerv kapasite', elektrikli ev aletleri kullanımının yaygınlaşması sonucu giderek artmış ve %30 gibi oranlara ulaşmış durumda. Yani, zirve talebi karşılayabilmek için, güç kapasitesini üçte bir oranında daha yüksek kurmak zorunda kalıyor ve talebin alt düzeylerde seyrettiği çoğu zaman bu kapasitenin önemli bir kısmını kullanamıyoruz. Bunun nedeni, elektrik enerjisinin ekonomik olarak depolayamayışımız.

Barajlarda geri pompalama yöntemiyle, dolaylı bir depolama yapılabiliyor. Halbuki elektriğin kendisini ekonomik olarak depolayacak bir yöntem bulunsa, bunca şişkin rezerv kapasitelerine gerek kalmayacak. Süperiletken bir sarım bunu yapabilir görünüyor. Çünkü talebin az olduğu sıralarda yapılan üretim, doğru akıma dönüştürülüp bu sarıma verilebilir ve talep yükseldiğinde, tekrar alternatif akıma çevrilip şebekeye geri verilebilir. Doğru akım, süperiletken içerisinde dönüp dururken, direnç kuramsal olarak sıfır olduğu için enerji kaybına uğramayacak. Öte yandan, enerji formları arasında bir çevrim sözkonusu olmadığından, yükleme ve deşarj verimi yüksek. Böyle bir 'Süperiletken Manyetik Depolama Sistemi'nin yanıt verme hızı, ayrıca doğru akımın alternatif akıma çevrilebildiği hıza ulaşabiliyor. Halen, süperiletkeni oluşturan grenlerin yüzeylerinde ve diğer kristal

yapı bozukluklarında yer alan ya da manyetik alan anaförlerinden kaynaklanan kayıpların azaltılmasına çalışılıyor.

Süperiletkenler

Süperiletkenlik çok düşük sıcaklıklarda ortaya çıkan bir özellik. Fakat ilk keşfedilen süperiletkenler bu özelliği, 0 K'e (-273°C) yakın sıcaklıklarda (Nb-Ti alaşımı 9K'de, Nb3Sn 18K'de) gösterdiklerinden, sıvı helyumla soğutulmaları gerekiyordu. Bu ilk 'düşük sıcaklıklı süperiletkenler' Fermi ve Brookhaven laboratuvarlarıyla CERN'in hızlandırıcılarındaki yüzlerce yönlendirici miktarıta kullanılmış, daha sonra, maliyetlere pek aldırmayan tıp alanında, manyetik rezonansla görüntüleme teknolojinin hizmetine girmiştir. Tasarımın elektrik iletimi alanında ekonomik olabilmesi için, bu özelliği daha da yüksek sıcaklıklarda gösteren malzemelerin geliştirilmesi gerekiyordu. Nitekim

1980'lerin sonlarında keşfedilen süperiletkenlerden YBa2Cu3Ox (YBCO) bu özelliği 92 K'de, Hg2Ba2Ca2Cu3Ox ise 130 K'de gösterince, sıvı nitrojenin kaynama sıcaklığına aşan bu soğukluklara inmek çok daha kolaylaştı. ABD'de, Japonya'da ve Avrupa'da bazı elektrik şirketleri yüksek gerilim hatlarında bu süperiletkenleri kullanmaya başladı. Detroit-Edison'un 100 MVA'lık, gümüş kaplı güç kablosunda kullanılan (Bi,Pb)2Sr2Ca2Cu3Ox (Bi-2223) süperiletkeninin kritik sıcaklığıysa 108 K.

Kritik sıcaklığın yükseltilmesinin dışında bir sorun daha var: süperiletken malzeme, akım yoğunluğu kritik bir düzeyin üstüne çıktığında ya da içinde manyetik alan şiddeti kritik bir sınırı aştığında bu özelliğini kaybediyor. Hem de, bazı süperiletkenler akımı sadece yüzeylerinden, bazıları da içlerinden heterojen bir şekilde geçirdiği için, bu kritik akım düzeyine erken ulaşıyor. Dolayısıyla, akımın süperiletken üzerinden homojen akmasını sağlamak gerekiyor. Sorunun, süperiletkenlerin üretimi sırasında kristal yapılarına istenmeden eklenen kusurlardan kaynaklandığı düşünülüyor ve bu üretim kusurlarının azaltılabilmesi için çalışılıyor. Süperiletkenliğe dayalı bir 'Elektromanyetik Depolama Sistemi'nin olanaklı oluşu bu çözümlere bağlı. Bu gerçekleşirse, güç üretiminde rezerv kapasitelere gerek kalmayacak.

rodlar ve elektrolitle birlikte aynı haznedeyken, yakıt hücresinde ayrı bir kaptadır. Anlaşılması en kolay olanı, hidrojen yakıtlı hücre. Böyle bir hücrede sürekli olarak; anod denilen eksi uca hidrojen, katod denilen pozitif uca da, oksijen sağlamak amacıyla hava üflenir. Hidrojen, elektron koparmaya eği-

limli eksi uca tepkimeye girer ve elektronunu kaybedip artı hale gelir. Eksi uç çevresindeki konsantrasyonu artan hidrojen iyonları, elektrolit içinden difüzyonla artı uca, eksi uca kapıtılmış olan elektronlarsa, bir dış devre bağlantısı üzerinden, yine artı uca varır. Hidrojen iyonu burada artı uçtan elektron alıp nötrleşir ve oksijenle birleşerek su haline gelir. Sonuç olarak eksi uçtan artı uca doğru; dış iletkin üzerinden elektron, elektrolit içinden de artı iyon akışı oluşur. Böylelikle bir doğru akım döngüsü kurulmuş olur. Kimyasal enerji elektriğe, kısmen de elektrolitin içinde ısıya dönüşmektedir. Tepkime ürünü doğayla uyumlu bir madde olan su olduğundan, kirletici unsur yaratılmaz. Sistem sıcaklık değişimlerine dayalı olarak çalışmadığından, termodinamik döngü verimleriyle sınırlı değildir. Verimin teorik üst sınırı %100'ken, uygulamada %60 gibi, içten yanmalı motora oranla çok daha yüksek düzeyler başarılmıştır. Hareketli parçanın yokluğu gürültü kirliliğini ortadan kaldırır. Bu temele göre çalışan hücreler, verimleri boyutlarına bağlı olmadığından, çok farklı alanlarda aynı başarıyla kullanılabilirler.

Yakıt hücrelerinde en hassas konu; katı elektrod, sıvı elektrolit ve gaz yakıt arasındaki üç fazlı bağlantı yüzeyindeki istikrarın, tepkimelerin süregitmesini sağlayacak şekilde korunup denetlenmesi. Bu amaçla, elektrodlardaki tepkimeleri tahrik için katalizörler, gaz akışıyla elektrolit arasında da zarlar kullanılır. Oluşan suyun kontrolü, diğer kritik noktayı oluşturur. Örneğin, zarrın kuruması hidrojen iyonlarının iletkenliğini düşürürken, suyun fazlası da gaz difüzyon tabakalarını doldurur ve hidrojenle oksijenin katalizör tabakasına taşınmasına engel olur. Bu durum yakıt hücresinin performansını önemli oranda düşürür. Geliştirme çalışmaları bu nedenle, elektrolitin cinsi ve zar konusunda yoğunlaşmış olup, üzerinde çalışılan sistemler, bu iki öge için kullanılan malzemelere bağlı olarak; alkali yakıt hücresi (AFC), polimer elektrolitik zar yakıt hücresi (PEMFC), fosforik asit yakıt hücresi (PAFC), ergimiş karbonat yakıt hücresi (MCFC) ve katı oksit yakıt hücresi (SOFC) olarak sınıflandırılıyor. □

Yakıt Hücreleri:

Yakıt hücresi, tıpkı bir pil ya da akü gibi, kimyasal enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren, elektrokimyasal bir aygıt. İki elektrod, iletkin sıvıyı oluşturan elektrolit ve yakıt oluşur. Ancak pillerde yakıt, elekt-

Birimler, Terimler ve Çevrimler

Enerji, esas olarak iş yapabilme yeteneğini yansıtır. İş, kuvvetle kuvvetin etki ettiği yönde katedilen mesafenin çarpımına eşittir. Dolayısıyla, yapılan bir işten söz edilebilmesi için bir kuvvetin varlığı ve bu kuvvetin etki noktasının hareket ediyor olması gerekir. Yani ne kadar kuvvetli olursanız olun ve ne kadar büyük bir kuvvet uygularsanız uygulayın, eğer bu kuvveti uyguladığımız nokta hareket etmiyorsa hiç iş yapmıyorsunuz demektir. ("Çeyrek tonluk ağırlığı başının üzerinde sabit tutmaya çalışan bir halterci niye yorulur o zaman?" diyebilirsiniz. İsterseniz bunu 'Merak Ettikleriniz' köşemize sorabilirsiniz.)

Kuvvetse herhangi bir kütleyi ivmelendirebilir, yani hızını değiştirebilme yetisini yansıtır. Birimi Newton'dur (N) ve eğer 1 kg'lık bir kütlenin hızını saniyede 1 m/sn değiştirebiliyorsanız, o kütleye 1 Newton'luk kuvvet uyguluyorsunuz demektir. Herhangi bir anda ne kadar büyük bir kuvvet uygulayabiliyorsanız, o kadar kuvvetlisiniz demektir.

1 Newton'luk bir kuvvetin etki noktasını, kuvvet yönünde 1 metre hareket ettirirseniz, 1 Nm'lik iş yapmış olursunuz ve bu iş ya da enerji birimine Joule denir. Uyguladığınız kuvveti ne kadar uzun mesafelerle hareket ettirirseniz o kadar çok iş yapmış olursunuz.

Yapılan iş miktarı tek başına belirleyici değil. Bu işin ne kadar zamanda yapıldığı, yani iş yapma hızı da önemli. Eğer saniyede 1 joule'luk iş yapılabiliyorsanız, gücünüz 1 joule/sn ya da watt, 100 joule'luk iş yapılabiliyorsanız, 100 watt ya da 0,1 kilowatt'tır. Benzer şekilde, milyon watt'a kısaca Megawatt (MW), milyar watt'a Gigawatt (GW), trilyon watt'a Terawatt (TW) denir. Herhangi bir anda ne kadar hızlı iş yapılabiliyorsanız, o kadar güçlüsünüz demektir. Buna 'nominal güç' denir ve eğer 1 kw'lık güç düzeyinde bir saat çalışırsanız, 1 kilowattsaatlik (kws) iş yapmış ve bir o kadar da enerji harcamış olursunuz.

İş yapabilme ya da enerji üretme potansiyeli açısından, nominal güç de tek başına belirleyici değildir. Çünkü sahip olduğunuz maksimum güç düzeyinde ne kadar süreyle kesintisiz olarak çalışabileceğiniz de önemlidir. Ne de olsa dinlenme, beslenme vs. için işe ara vermeniz gerekir ve gerekli besin kaynaklarını bulamazsanız çalışamaz, iş yapamazsınız. Dolayısıyla, herhangi bir anda ne kadar büyük bir kuvvet uygulayabiliyorsanız o kadar kuvvetli, uyguladığımız kuvvetin etki noktasını saniyede ne kadar hızlı hareket ettirebiliyorsanız o kadar güçlü, bu güç düzeyini ne kadar uzun süreyle devam ettirebiliyorsanız o kadar dayanıklıdır demektir. (Eğer bu üçünü de yapıyorsanız o kadar çalışkansınız.)

İnsan metabolizmasının iş verimi %18 civarında. İnsandan daha güçlü olmalarına karşın, atlar için bu verim %10, büyükbaş hayvanlar için daha da düşüktür ve bu durum geçmişte köleliği ekonomik açıdan cazip kılan faktör olmuştur. İyi beslenen biri gıda olarak yılda $4,38 \times 10^9$, yani günde 12MJ alır. Bunun %18'ini, yani $2,16 \text{ MJ}$ 'ünü işe dönüştürebilir, yani günde 0,6 kws iş yapabilir. Kendimizi zorladığımızda 100 w güç düzeyine çıkabilir, fakat bunu uzun süre devam ettiremeyiz.

O halde 0,6 kws'lık işi yapabilmek için en çalışkanımız, günde 8 saat süreyle 75 w düzeyinde çalışabilir. Dünyada kişi başına yıllık enerji tüketimi halen 63 GJ olup, besin yoluyla alınan enerji girdisinin 14,38 katıdır. Yani ortalama bir insanın 14,38 'enerji kölesi' var gibidir. Yıl boyunca hiç durmaksızın çalışan bu kölelerin sayısı, yılda ortalama 400 GJ tüketen bir ABD vatandaşı için 91'i geçer. Bu durumda, günlük hayatta sık karşılaştığımız türden büyük ölçekli (makroskopik) bir cisimse, taşıdığı kinetik enerjiye mekanik enerji de denir. Bir gazı ya da sıvıyı oluşturan atom ya da moleküllerin ortalama kinetik enerjisi 'sıcaklık'la ölçülür ve böyle çok sayıda parçacıktan oluşan sistemlerin iç hareketinde yatan enerjiye 'termal' enerji denir. Hareket halindeki elektrik yüklerinin de iş yapma yeteneği vardır ve buna elektrik enerjisi denir. Hareket halindeki elektromanyetik alan örüntülerinden oluşan ışığınsa, elektromanyetik enerji taşıdığı söylenir.

Durağan sistemlerin de iş yapma yeteneği olabilir ve böyle durumlarda potansiyel enerjiden söz edilir. Örneğin sıkıştırılmış bir yayda mekanik potansiyel enerji vardır ve yay, serbest kalması durumunda iş yapacaktır. Benzer şekilde, bir barajın tepesindeki su damlasında da gravitasyonel potansiyel enerji vardır ve aşağıya düşecek olursa iş yapacaktır. Yine, araları yalıtılmış zıt yüklü iki iletken plakadan oluşan bir kapasitör sistemi, elektrostatik potansiyel enerji barındırmakta. Öte yandan bazı atom ya da moleküllerin bağ yapısında, bu yapının kimyasal tepkimesi sonucu değişmesi halinde ortaya çıkabilecek olan bir iş yapabilme yeteneği saklıdır ve buna kimyasal enerji denir. Son olarak, bazı atom çekirdeklerinin nükleer bağ yapısında, bu yapının çekirdek tepkimeleri sonucu değişmesi halinde ortaya çıkabilecek olan bir iş yapabilme yeteneği, yani nükleer enerji saklıdır. Aslında maddenin kendisinde bir iş yapabilme yeteneği vardır: $E=mc^2$.

Çeşitli kaynakların taşıdığı enerji eldesi potansiyeli birbirlerinden çok farklı olup, bu açıdan en zayıf gravitasyonel potansiyel enerjidir. Örneğin bir gram suyu, bir metre yükseklikten düşürürseniz 0,0098 joule kinetik enerji kazanırsınız. Halbuki kimyasal enerji olarak, bir gram saf karbon 32 bin, bir gram saf hidrojen 1,3 milyon joule enerji içerir. Uranyumun gramında 82 milyar joule fisyon, hidrojeninse 650 milyar joule füzyon enerjisi vardır. Kaynağın enerji yoğunluğu arttıkça; eldesi, taşınması, depolanması ve işlenmesi kolaylaşır, atıklarının hacmi de azalır. Ancak enerji üretimi sırasında, aynı kapasiteyi çok daha küçük hacimlere sığdırabildiğinizden, ağırlaşan ısı emme sorunları daha büyük özen ve ileri teknolojiler gerektirir.

Bütün enerji formları birbirlerine dönüştürülebilirler. Örneğin barajın tepesindeki su, aşağıdaki

bir türbinin kanatları üzerine düşerek türbini çevirebilir: gravitasyonel potansiyel enerji mekanik enerjiye dönüşür. Bu türbinin eksenine bağlı bir mknatis, halka şeklindeki bir tel sarımın içinde dönerek telde, Faraday Yasaları'na uygun bir akım yaratabilir: mekanik enerji elektrige dönüşür ve bir jeneratörün yaptığı budur. Ya da tam tersine, sarımın tellerinden akım geçirildiğinde, içerideki mknatisin dönmesine yol açabilir: elektrik enerjisi mekanik enerjiye dönüşür; elektrik motorlarında olduğu gibi. Bir elektrik motoru, bağlı olduğu türbini ters yönde çevirip suyu geriye, barajın tepesine gönderebilir: motor şimdi pompa olarak çalışmakta ve elektrik enerjisi mekanik enerjiye, mekanik enerji de gravitasyonel potansiyel enerjiye dönüşmektedir. Bir tel üzerindeki akımı oluşturan hareketli yükler, yani elektronlar, tel kesitindeki atomlara çarparak kinetik enerjilerinin bir kısmını bu atomlara aktarıp teli istabilirler: elektrikli bir ısıtıcı bunu yapar ve elektrik enerjisi ısı enerjisine dönüşmektedir. Örneğin kömürün bünyesindeki karbon bağlarını, oksijen enjeksiyonuyla CO2 bağlarına çevirmek, kömürün yakılmasıyla ısı eldesi anlamına gelir: Bütün yanma tepkimeleri oksitlemedir (yükseltme) ve kimyasal enerji ısı enerjisine dönüşür. Bu ısıyla suyu buharlaştırıp, yükük basınçlı buharı bir türbinin kanatlarına çarptırarak suretiyle türbinin dönmesini sağlamak, türbine bağlı bir jeneratörün diğer ucundan da elektrik almak mümkündür: petrole, kömüre ya da doğal gazı dayalı 'termik' santraller böyle çalışır. Yaklaşık üçte bir verimle...

Eğer üçte birlik santral verimi düşük bulunuyorsa, bu oranın, Newcome'un keşfettiği ilk buhar makinesi için %1 olduğunu hatırlamak yarar var. James Watt bu motoru geliştirip verimini %2'ye çıkardığında onlarca yıl kimse oralı olmamış, buhar gücüne dayalı ilk elektrik santralleri geçen yüzyılın başında işe %5 verimle başlamıştı. Çünkü yakıt çok ucuzdur ve çevre sorunları henüz, varlıklarını hissettirecek kadar büyük boyutlara ulaşmamıştı. Kullandığımız otomobillerde bu verim halen %20 dolaylarında. Hem de otomobille yolculuk yaparken sonuç olarak, sadece gravitasyonel potansiyel enerjimizi değiştirmiş oluyor; oysa yolda sürtünmeyi yenmek için dünya kadar enerji harcıyoruz. Mesela bir dağı tırmanırken 1 km seyahat ettiğimizde 100 m yükseliyorsak potansiyel enerjimizi 0,1 MJ artırırsak oluyor, fakat bu arada 3, 6 MJ (1 kws), yani 36 kat enerji harcıyoruz. Bütün yaşam alışkanlıklarımız enerji bağımlı.

Halbuki mevcut enerji üretim ve tüketim süreç ve kalıplarındaki verimsizlik ve olumsuzluklar, bu süreç ve kalıpların tarihinde kalma alışkanlıklarının, belki de aslında tahammül etmemize hiç de gerek olmayan eserleridir. Geleceğin enerji teknolojileri hiç kuşkusuz, bu alışkanlıkları ciddi şekilde sorgulayan yeni yaklaşımlar üzerine inşa edilecektir. Ancak bunu da unutmamak gerekir ki; enerji sektörü toplum hayatına stratejik girdiler sağlayan devasa, bu nedenle de ataleti yüksek bir sektör. Adımlarını dikkatli atmak durumunda. Alışkanlıklarından bir gecede sıyrılmasını beklemekse gerçekçi olmasa gerek.