

AYLIK POPÜLER BİLİM DERGİSİ

# BİLİM ve TEKNİK



# YENİ UFUKLAR

## ENERJİ DOSYAMIZ

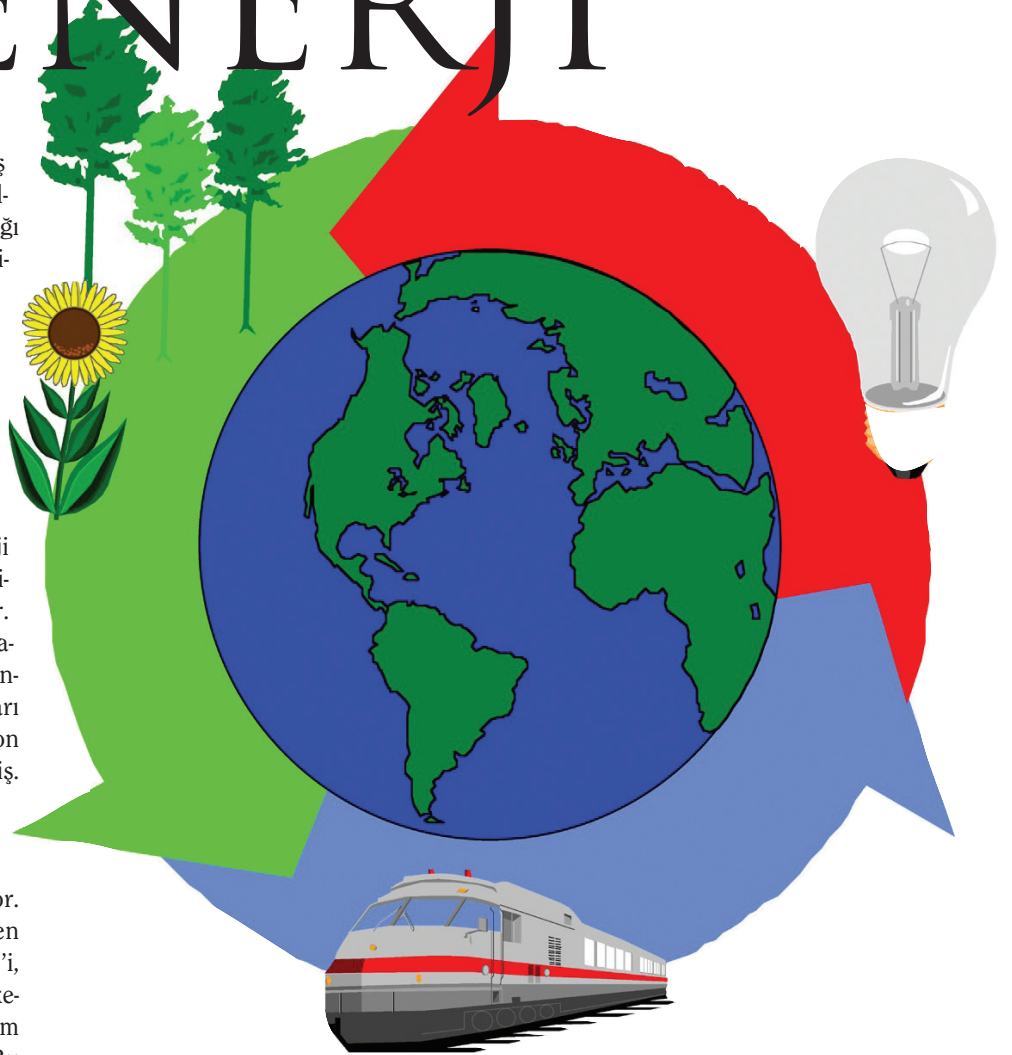
OCAK 2007 SAYISININ ÜCRETSİZ EKİDİR

HAZIRLAYAN : PROF. DR. VURAL ALTIN - BTĐ YAYIN KURULU ÜYESİ

# DÜNYA'DA ENERJİ

Başka kaynaklardan elde edilmiş olan enerji türlerinin 'ikincil', öyle olmayanlarının 'birincil' enerji kaynağı olduğu söylenir. Örneğin kömür birincil, kömürün yakılmasıyla elde edilen elektrik enerjisi ikincil enerji kaynağıdır. Ancak, su gücünden elde edilen elektrik birincil kaynak sayılır. Öte yandan, genel enerji muhasebesi yapılırken, farklı enerji kaynakları, birim kütle veya hacim başına içerdikleri joule cinsinden enerji miktarlarından, yani enerji yoğunluklarından hareketle birbirlerinin eşdeğerlerine dönüştürülebilir. Yandaki tabloda bazı enerji kaynaklarının enerji yoğunlukları görülüyor. Dünyamızın 2006 yılı itibarıyla 6,4 milyarı bulan nüfusu, yaklaşık 10 'milyar ton petrol eşdeğeri' (Mtpe) enerji tüketmiş. Yani 450 EJ (egzajoule,  $10^{18}$  J). Bu, kişi başına yaklaşık 1560 kg petrol eşdeğeri veya 70 GJ (gigajoule, milyar joule) anlamına geliyor. Ancak bu tüketim, homojenlikten uzak. %68'i dünya nüfusunun %15'i, kalan %32'si de %85'i tarafından tüketilmiş. Kişi başına ortalama tüketim ise, gelişmiş ülkeler için 250 GJ. Bu rakam, %5'lik nüfus payıyla dünya enerji tüketiminde %25 paya sahip olan ABD için 400 GJ'ü buluyor. Sonuç olarak, dünya nüfusunun %85'i, yılda ortalama 25 GJ tüketmekte. Türkiye'de 57 GJ...

Bu toplam tüketimin yaklaşık %86'sı fosil yakıtlardan sağlanmış. Petrol kömür ve doğal gazın payları sırasıyla %38, %24 ve %24 kadar. Miktarları ise, yaklaşık; 4,9 milyar ton kömür, 3,8 milyar ton petrol, 2,8 trilyon metreküp (Tmk) doğal gaz. Su gücü dahil yenilenebilir ve nükleer kaynaklardan üretilen elektrik, birincil enerji tüketimi içinde %7,8 ve %6,5'lik paylar-

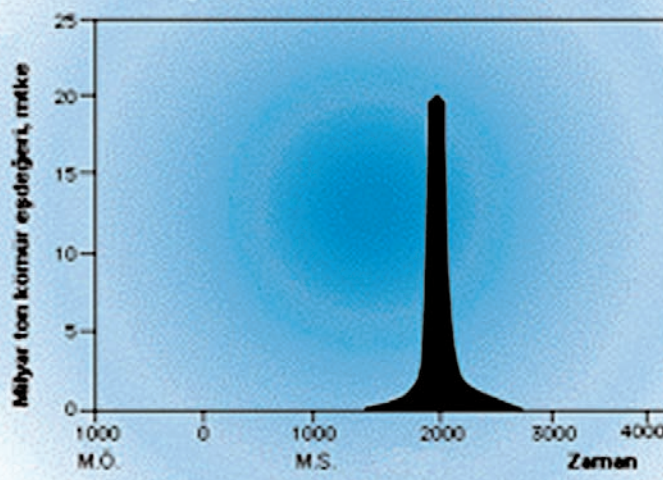


|                             | Isıl değer, C | Birim             | % karbon | CO <sub>2</sub> |
|-----------------------------|---------------|-------------------|----------|-----------------|
| Hidrojen                    | 121           | MJ/kg             | 0        |                 |
| Ham petrol                  | 45-46         | MJ/kg             | 89       | 70-73 g/MJ      |
| LPG                         | 49            | MJ/kg             | 81       | 59 g/MJ         |
| Doğal Gaz                   | 39            | MJ/m <sup>3</sup> | 76       | 51 g/MJ         |
| Kömür, 1. kalite            | 21.5-30       | MJ/kg             | 67       | 90 g/MJ         |
| Kömür, 2. kalite            | 13.5 - 19.5   | MJ/kg             |          |                 |
| Kömür, katranlı ('bütümlü') | 27.0 - 30.5   | MJ/kg             |          |                 |
| Kömür, az katranlı          | 18            | MJ/kg             |          |                 |
| Linyit, ortalama            | 9.7           | MJ/kg             | 25       |                 |
| Linyit, 2. kalite           | 8.15          | MJ/kg             |          | 1.25 kg/kWh     |
| Odun (kuru)                 | 16            | MJ/kg             | 42       | 94 g/MJ         |

la dördüncü ve beşinci sırada. Birincil enerji üretiminin yaklaşık %30'u elektrik üretiminde kullanılmış. Üretilen 14,3 trilyon kWh (TkWh) elektriğin yaklaşık %80'i, %15 nüfus payına sahip olan sanayileşmiş ülkelerde, %28'i ise, %5 nüfus payına sahip olan ABD'de tüketilmiş. Kişi başına ortalama tüketim, 2230 kWh kadar. Bu rakam, Batı Avrupa'da 9000, ABD'de 12000 kWh civarında. Türkiye'de 2400 kWh. Örneğin Nijerya gibi petrol zengini bir ülkede, 100 W'lık bir ampulün yıl boyunca tüketeceği 800 kWh kadar. Dünya'da halen 1 milyar insan elektriksiz.

Medeniyetimiz, halen yaşadığımız şekliyle, iki atom üzerine inşa edilmiş durumda; hidrojen ve karbon. Fosil yakıt kullanımı, bu iki atomu içinde bulundukları bileşiklerden koparıp oksitlemekten ibaret. Alttaki şekilde Dünya'nın geçmişteki enerji tüketim grafiği görülüyor. Biraz eski bir grafik olmakla beraber, öyküyü anlatmak için yeterli. Enerji tüketimi geçen asır boyunca üstel bir artış izlemiş. Bu üstel artışın aksamış olduğu kırmızı oklarla işaretli bölgelere bakıp, 20. Yüzyıl'ın tarihini hatırlamak mümkün. Sırasıyla; 1914 sonrasında I. Dünya Savaşı, 1930 sonrasında Büyük Kriz'in derinleşmiş hali, 1939 sonrasında II. Dünya Savaşı, 1979'da 'Petrol Şoku'nun yol açtığı ekonomik durgunluk dönemleri var. Grafiğin altındaki, herhangi bir yıla kadarki alan, o yıla ka-

### Geleceğin tarihinde fosil yakıtların tüketimi



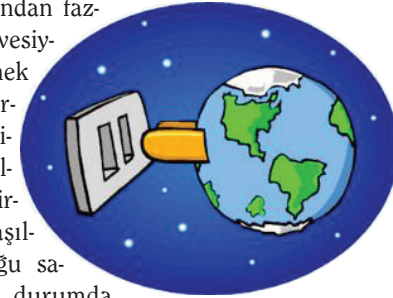
dar tüketilmiş olan toplam enerji miktarını veriyor. Asıl çarpıcı durum burada: II. Dünya Savaşı'ndan bu yana dünyamız, daha önceki tüm zamanlarda tüketmiş olduğu enerjinin yaklaşık 3 mislinden fazlasını tüketmiş. Yüzyılın tümüyle, daha öncekinin 10 mislinden fazlasını. Bu eğilimin devam edeceği kesin, hem de ağırlıklı olarak fosil yakıtların sırtında. Çünkü kitlesel enerji üretimi için henüz ortada, hazır başka bir seçenek yok. Ancak öte yandan, bilinen iklim değişikliği endişeleri nedeniyle, fosil yakıt bağımlılığımızın azaltılmasına yönelik, Kyoto Protoklü ve uzantıları doğrultusunda giderek yoğunluk kazanıp hem de yaygınlaşacak gibi görünen çabalar var.

Dünya ekonomisinin yılda ortalama %3 büyüdüğü ve birim hasıla başına tüketilen enerji miktarı demek olan 'enerji yoğunluğu'nun, tasarruf önlemleri sayesinde yılda ortalama %1 azaldı-

ğı varsayımıyla; dünya enerji tüketiminin yılda ortalama %2 artarak; 2015'te 580 EJ'a, 2025'te de 680 EJ'a ulaşması bekleniyor. Fosil yakıtların toplam enerji kullanımı içindeki payı, şimdiki eğilimler doğrultusunda %0,2-0,4 civarında azalırsa, bu yakıtlar 2025 yılına kadarki tüketimi artışının %95'ini karşılamak zorunda. Değirmenin suyu nereden gelecek?...

Dünyamızın, işletil-

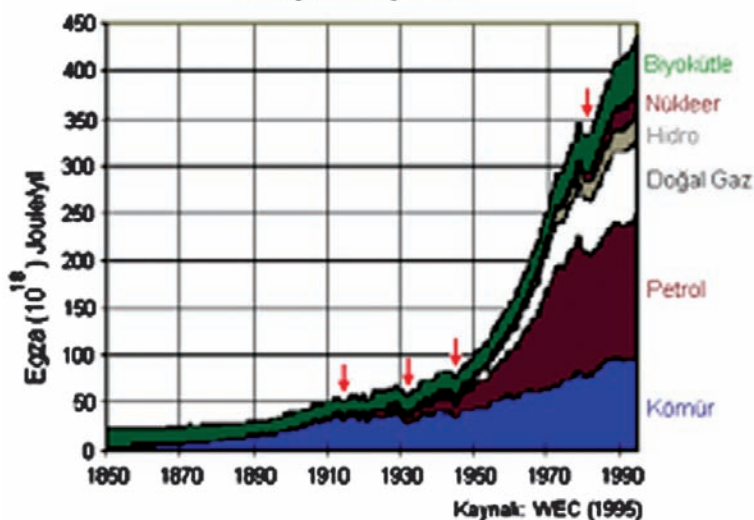
mesi halen ekonomik olan rezervler niteliğinde, şimdiki tüketim hızlarıyla yaklaşık 200 yıl yetecek kadar 1 trilyon ton kömüre, 80 yıl yetecek kadar 250-300 milyar ton petrole, 70-80 yıl yetecek kadar 150 trilyon metreküp doğal gazı sahip olduğu tahmin ediliyor. Gelecekte yeni rezervlerin bulunacağı kesin. Ancak bu rezervleri, tüketilen miktarından fazla bulgu ilavesiyle genişletmek giderek zorlaşmakta. Nitekim petrolde, üretim zirvesine ulaşılmakta olduğu sa-



nılıyor. Bu durumda, halen ekonomik olmayan rezervlerin devreye gireceği de kesin. Ancak bunların her üçü de biyolojik kökenli kaynaklar, ağırlıklı olarak geçmiş jeolojik evrelerin ikisinde yer alan milyonlarca yıllık süreçlerde oluşmuşlar. Kısa sürede yenilerinin oluşması imkansız, er veya geç tükenmeleri kaçınılmaz. Fosil yakıtlar sayesinde bir asırdır yaşamakta olduğumuz 'enerji ziyafeti'nin gelecekteki, tahmine dayalı seyri üstteki grafikte görülüyor. Bir önceki grafik, bunun sadece ufak bir parçası; ait olduğu kısma uyuyor.

Bu yüzden Dünya'da, hem fosil yakıtların kullanım süresini uzatmak, hem de bu yakıtlardan kaynaklanan 'sera gazı' emisyonlarını azaltmak için, nükleer enerjinin daha üst düzeyde kullanımına yönelik girişimler artmaktadır. Peki, bu resimde Türkiye nerede ve nasıl duruyor?...

### Dünya Enerji Tarihi



# TÜRKİYE GENEL ENERJİ



Türkiye, 2006 yılı itibarıyla 72 milyon bula n nüfusuyla, dünyanın 6,4 milyarlık nüfusunun %1,12'sini oluşturuyor. Yani, yeryüzünde yaşayan her bin kişiden 11'i Türkiyeli. Ülkemizde 2005 yılı itibarıyla, 4,1 EJ (egzajoule,  $10^{18}$  J) karşılığı 91,5 mtep (milyon ton petrol eşdeğeri) enerji tüketilmiş. Dünya'nın aynı yılıki tüketimi, 441 EJ karşılığı 9,8 Gtep (milyar ton petrol eşdeğeri). Dolayısıyla Türkiye'nin tüketimi, Dünya toplamında %0,93'luk

bir paya sahip. Kişi başına ortalama yıllık tüketimi, 57 GJ (gigajoule, milyar joule). Bunun karşılığı 1.270 kep (kg petrol eşdeğeri) ediyor. Bu miktar da, dünya ortalaması olan 69 GJ karşılığı 1530 kep'in, %83'ü kadar. 2005 yılındaki 360 milyar dolarlık gayri safi milli hasılasıyla, aynı yılın 35 trilyon dolarlık Dünya ekonomisinin %1,03'ünü üretmiş.

Yani, Türkiye; dünya nüfusunda %1,12, enerji tüketiminde %0,93, eko-

nomik üretiminde %1,03'lük paylara sahip. Kişi başına açıkça, dünya ortalamasının altında enerji tüketiyor. Enerji tüketimi kendi başına amaç değil, asıl amaç ekonomik üretim. Dolayısıyla, Türkiye'nin ekonomisini büyütmek, ama bunun için de enerji tüketimini arttırmak zorunda. Çünkü Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde, enerji tüketimindeki artışla ekonomik büyüme arasında güçlü bir ilişki var. Yılda %7'lik bir büyümeyi 10 yıl art arda sürdürebildiği takdirde, diyelim 2015 yılına kadar, enerji tüketiminin (1,07<sup>10</sup>[yaklasikesit2](#)) ikiye katlanması beklenir. Öte yandan, Türkiye, dünya enerji pastasından tükettiği orana göre, biraz daha fazla ekonomik üretim yapabiliyor. Demek ki enerjiyi dünya ortalamasının biraz üstünde bir verimle kullanıyor. Nitekim, ekonomisinin

|         |            | Nüfus, Milyon | Enerji tüketimi (2005)            |                                     |                                 |                           | Gayrisafi Hasıla (2005) |                            |                                                |
|---------|------------|---------------|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|------------------------------------------------|
|         |            |               | Toplam                            |                                     | Kişi başına yıllık              |                           | Toplam, milyar ABD\$    | Kişi başına, ABD\$. (f/a)) | Ekonominin enerji yoğunluğu, kep/ABD\$. (d/g)) |
|         |            |               | Milyon ton eşdeğeri petrol (mtep) | Egza Joule (10 <sup>18</sup> Joule) | *Kg eşdeğeri petrol, kep. (b/a) | *Milyar Joule, GJ. (c/a)) |                         |                            |                                                |
| Dünya   |            | 6.400         | 9.800                             | 441                                 | 1.530                           | 70                        | 35.000                  | 5.470                      | 0,28                                           |
| Türkiye | Miktar     | 72            | 91,5                              | 4,1                                 | 1.270                           | 57                        | 360                     | 5.000                      | 0,25                                           |
|         | Dünya payı | %1,12         | %0,93                             | %0,93                               | %0,83                           | %81                       | %1,03                   | %91                        | %89                                            |

0,25 kep/\$ düzeyindeki enerji yoğunluğu, 0,28 kep/\$'lık dünya ortalamasının %11 altında. Ancak, gelişmiş OECD ülke ekonomilerinin enerji yoğunluğu çok daha düşük ve 0,20 kep/\$'ın altına, İsviçre'de 0,08 kep/\$'e kadar iniyor. Fakat, ekonomisi büyümedikçe, Türkiye'nin bu yoğunluğu azaltabilmesi mümkün görünmüyor. Çünkü ekonomilerin (OECD) enerji yoğunluğu ile, kişi başına gelir arasında güçlü bir ters bağlantı var. Öte yandan, Türkiye' kişi başına yılda 1270 kep karşılığı 57 GJ'lük enerji tüketimi ile, dünya ortalamasının %19 altında ve OECD ülkeleri arasında sonuncu.

## Elektrik:

Elektrik alanında ise, Türkiye'nin 2006 yılı itibarıyla 38,8 GW'ı bulmuş olan kurulu gücü, dünyanın 3641 GW'ı aşan kurulu gücünün %1,07 sini oluşturuyor. Kişi başına kurulu güç, 539 W. Bu rakam 569 W'lık dünya ortalamasını, neredeyse yakalamış durumda. Keza 2006 yılı için gerçekleşmesi beklenen 173,1 GkWh'lık (GkWh, milyar kWh) üretim, 14300 GkWh'i aşan dünya üretiminin %1,21'i kadar. İki oranın birbirine yakınlığı ilginç bir şekilde, Türkiye'nin elektrik üretim filusunun, dünya ortalaması düzeyinde bir kapasite kullanım faktörüyle çalıştığını gösteriyor. Ancak, dünya toplamına göre %1,07'lik kurulu güç ve

|               |        | Kurulu güç, GW (2006) | Üretim, GWh (2006 planlanan) | Emre amadelik |
|---------------|--------|-----------------------|------------------------------|---------------|
| Kömür         | İthal  | 1,651                 | 10,2                         | %70,5         |
|               | Linyit | 7,131                 | 32,3                         | %51,7         |
|               | Toplam | 8,782                 | 50,4                         | %65,5         |
| Doğalgaz      |        | 12,275                | 75,8                         | %70,5         |
| Diğer termik  |        | 4,837?                | 7,9                          |               |
| Toplam termik |        | 25,894                | 134,1                        | %59           |
| Hidroelektrik |        | 12,906                | 39,0                         | %34,5         |
| Genel toplam  |        | 38,800                | 173,1                        | %50,9         |

\*\*İlk sütundaki rakamlar alt, ikinci sütundakiler üst senaryo verileridir.

ret etmekte. Nitekim, 0,48 kWh/\$ düzeyindeki elektrik yoğunluğu, 0,41 kWh/\$'lık dünya ortalamasının %17 üzerinde. Kaldı ki, gelişmiş OECD üyeleri için bu rakam, İsviçre örneğinde 0,17 kWh/\$'a kadar iniyor. Ancak Türkiye'nin, ekonomisi büyümedikçe bu yoğunluğu azaltabilmesi de mümkün görünmüyor. Çünkü ekonomilerin (OECD) elektrik yoğunluğu ile, kişi başına gelir arasında güçlü bir ters bağlantı var. Öte yandan, kişi başına yılda 2400 kWh'lık elektrik üretimi, 2234 kWh'lık dünya ortalamasını yakalamış durumda, fakat OECD ülkeleri arasında sonuncu.

2006 yılı itibarıyla 38,8 GW'ı aşan kurulu güç; 12,275 GW doğalgaz, 1,651 GW ithal kömür, 7,131 GW linyit ve 12,906 GW hidrolik kapasite içermekte. Aynı yılın zirve talebi 25 GW civarında gerçekleşmiş. Dolayısıyla,

miktarları veriliyor. Rezerv kapasite oranının aşırı yüksek olmasına yol açan etkenler, bu tabloda belirgin. En önemlisi; linyite dayalı gücün, yerli kömürün kalitesizliği ve ona uygun yakma tekniklerinin devreye sokulamamış olması nedenleriyle, yıl boyunca potansiyelinin %60'ı düzeyinde değerlendirilebiliyor olması. Benzer şekilde, hidroelektrik kapasite de, yağış rejimindeki düzensizlikler nedeniyle, %40 oranında değerlendirilebilmekte. 'Zamana göre talep' grafiğindeki salınımların altında kalan 'temel yük' talebini halen, %70'in üzerinde emreamadelikle çalıştığı anlaşılan doğal gaz santralleri karşıyor.

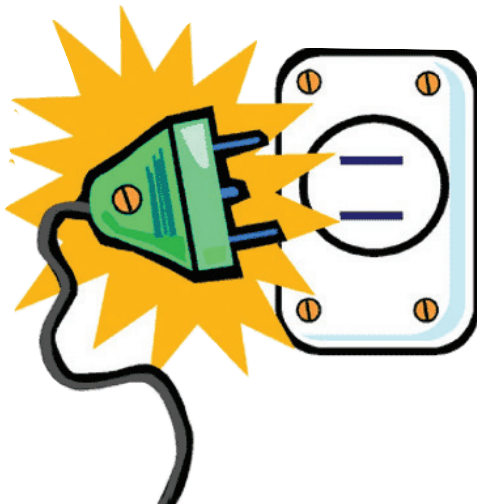
2006 yılı için hedeflenen 173,1 GWh'luk toplam üretimin; 39'u hidroelektrik, 134,1'i termik kaynaklardan sağlanacak. Bu termik üretimin; 75,8'i doğalgaza, 10,2'si ithal kömüre, 5'i motorine, 2,9'u nafta ve LPG'ye olmak üzere; 93,9 GWh'u ithal kaynaklara dayalı olacak. Bu durumda, 134,1 GWh'luk termik üretimin %70'i, 173,1 GWh'luk toplam üretimin ise %54'ü ithal kaynaklardan sağlanmış oluyor. Linyit, taşkömürü, yenilenebilir atık ve diğer 'yerli termik' kaynaklarımızdan yapılacak üretim 40,2 GWh'la sınırlı kalmakta ve ithal termik üretimin ancak %43'üne karşılık gelirken, termik üretimin %30'unu, toplam üretimin ise %23'ünü oluşturmakta. Yerli kaynaklar, yani termik ve hidro birlikte, 79,2 GWh'lık üretimle, toplam üretimin %46'sını karşılıyor. Toplam elektrik üretiminin kalan %54'ü dış kaynaklı.

## Gelecekteki Elektrik

Yandaki tabloda 2010-2015-2020 yılları için, alt ve üst senaryolara göre

|         |            | Elektrik tüketimi (2006) |                             | Kurulu güç (2006)                        |             | Gayrisafi Hasıla (2006) |                       |                            |
|---------|------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|-------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------|
|         |            | *Nüfus, Milyon           | *Toplam, GkWh, (milyar kWh) | *Kişi başına ortalama yıllık, kWh, (b/a) | *Toplam, GW | *Kişi başına, W, (d/a)  | *Toplam, Milyar ABD\$ | *Kişi başına, ABD\$, (f/a) |
| Dünya   |            | 6.400                    | 14.300                      | 2234                                     | 3641        | 569                     | 35.000                | 5.470                      |
| Türkiye | Miktar     | 72                       | 173,1                       | 2400                                     | 38,8        | 539                     | 360                   | 5.000                      |
|         | Dünya payı | %1,12                    | %1,21                       | %1,07                                    | %1,07       | %0,95                   | %1,03                 | %91                        |
|         |            |                          |                             |                                          |             |                         |                       | %117                       |

%1,21'lik elektrik üretimi payları'nın, %1,03'lük 'ekonomik üretim payı'nın üzerinde olması, ekonomisinin elektrik yoğunluğunun, dünya ortalamasına göre yüksek olduğuna işa-



la, rezerv kapasite oranı %35'i aşmış durumda ve hedeflenen %20'nin çok üzerinde.

Yandaki tabloda 2006 yılı için, kurulu güç bileşenlerinin kapasiteleri ve üretmeleri hedeflenen enerji

kurulu güç öngörülerinin kaynak türleri arasındaki dağılımı veriliyor.

## Yerli Kaynaklar Kömür:

Halen 7,131 GW düzeyindeki yerli linyite dayalı gücün; 2020 yılına kadar en az 5,650 ve en fazla 11,530 GW kapasite eklenmesiyle, en az 12,781 ve en fazla 18,861 GW'a çıkarılması öngörülmüş. Üst senaryoda öngörülen güç %70 emre amadelikle, yani yılın 8760 saatinin  $8760 \times 0.7 = 6132$  saatinde çalıştırılabilirdiği takdirde,  $18,861 \times 6132 = 116$  GkWh elektrik üretebilir. Bu,  $1,16 \times 10^{11}$  kWh x (3600s/h) =  $4,176 \times 10^{14}$  kJ elektrik enerjisi demektir. Isıl enerjiyi elektrige dönüştüren termodinamik döngünün yaklaşık üçte bir verimle çalıştığı varsayılacak olursa, bunun üç misli, yani  $1,253 \times 10^{15}$  kJ'lük ısı enerjisi gerekmektedir.

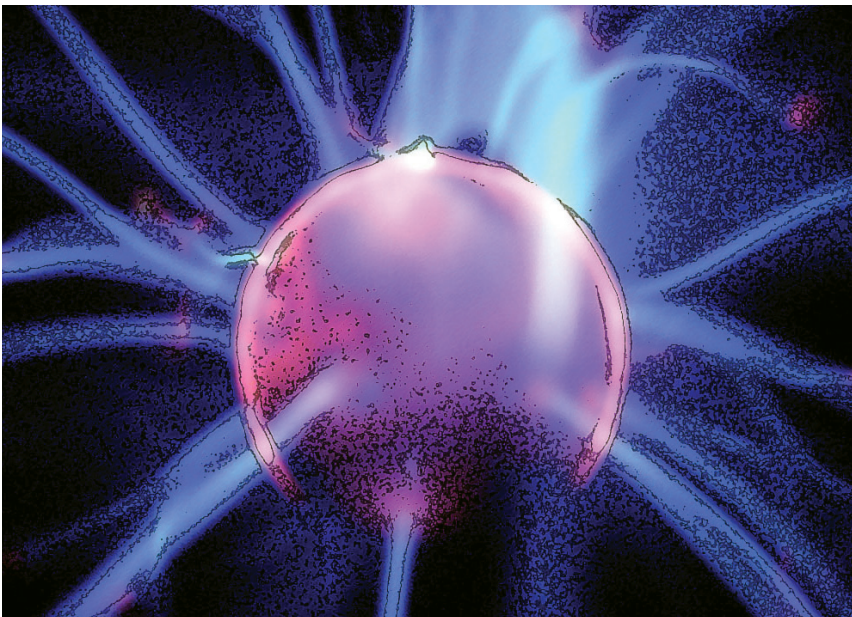
Ekonomik olarak işletilebilir linyit rezervlerimizin kütleli enerji yoğunluğu hayli değişken. Örneğin, bu rezervlerin %57'sini oluşturan Afşin-Elbistan havzasındakilerin 6,3 MJ/kg'dan az iken; %23'ünün 6,3-10,5 MJ/kg, %18'inin 10,5-14,7 MJ/kg arasında. %2'sinin de 14,7 MJ/kg'dan fazla. Yandaki tabloda verilen bu değerlerin ağırlıklı ortalaması 7,84 MJ/kg veya 1876 kcal/kg civarında. O halde,  $1,253 \times 10^{15}$  kJ ısı enerjisi,  $1,253 \times 10^{15}$  kJ / (7.84 kJ/kg) =  $1,60 \times 10^{11}$  kg yerli linyitten elde edilebilir. Kısacası, yılda 160 milyon

| *Kaynak türlerine göre 2007-2020 kurulu güç öngörüler, MW                  |        |         |        |        |        |        |
|----------------------------------------------------------------------------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|
| Kaynaklar                                                                  | 2010   |         | 2015   |        | 2020   |        |
| Linyit                                                                     | 8.261  | 8.261** | 10.901 | 13.141 | 12.781 | 18.661 |
| Taşkömürü                                                                  | 555    | 555     | 555    | 555    | 555    | 1.755  |
| İthal kömür                                                                | 1.602  | 1.602   | 1.602  | 1.602  | 1.602  | 6.102  |
| Doğalgaz                                                                   | 13.697 | 16.497  | 19.847 | 22.497 | 27.947 | 27.947 |
| Fuel oil+motorin                                                           | 3.307  | 3.307   | 3.307  | 3.307  | 3.307  | 3.307  |
| Nükleer                                                                    | 0      | 0       | 1.500  | 4.500  | 4.500  | 4.500  |
| Rüzgar                                                                     | 1.788  | 1.788   | 2.413  | 2.413  | 3.038  | 3.038  |
| Hidrolik                                                                   | 15.903 | 16.446  | 18.655 | 23.257 | 29.299 | 31.038 |
| TOPLAM                                                                     | 45.473 | 48.816  | 58.780 | 71.272 | 80.029 | 96.348 |
| *9. Kalkınma Planı Genel Enerji Özel İhtisas Komisyonu Taslak Raporu       |        |         |        |        |        |        |
| **İlk sütundaki rakamlar alt, ikinci sütundakiler üst senaryo verileridir. |        |         |        |        |        |        |

ton linyit üretimi gerekmektedir. Bu düzeyde üretimi gerçekleştirmek zor görünüyor. Çünkü Türkiye'nin 1998'de 64,5 milyon tonla en yüksek düzeyine ulaşmış olan linyit üretimi, sektörün yeniden yapılandırılması çalışmaları sonucunda, 2004 yılında 44,8 milyon tona inmiş durumda. Öte yandan, yıllardır karlı çalıştırılmadığından kaynak yaratamamış, sübvansiyonlarla

| Linyit rezervlerimizin kütleli enerji yoğunluğu ve rezerv payları |        |
|-------------------------------------------------------------------|--------|
| kJ/kg, (kcal/kg)                                                  | Pay, % |
| <6,3 (1500)                                                       | 57     |
| 6,3-10,5 (1500-2500)                                              | 23     |
| 10,5-14,7 (2500-3500)                                             | 18     |
| >14,7 (3500)                                                      | 2      |
| Ağırlıklı ortalama 7,84 MJ/kg veya 1.872 kcal/kg                  |        |

ayakta tutulmuş olan linyit filomuzun %70 emre amadelikle çalıştırılabilmesi, daha da zor görünüyor. Çünkü, örneğin 2006 Ocak ayı itibarıyla EÜAŞ'a bağlı toplam 6,081 GW kapasiteli kömür yakıtlı termik santralin yalnızca 3,236 GW'lık bölümü kullanılabilir halde. 150 MW'lık güç revizyonda, 1,665 GW güç arızalı, 160 MW güç bakımında ve 870 MW güç de, soğuk yedek olarak atıl durumda. Bu santrallerin revizyon, bakım ve onarım çalışmalarının hızla sonuçlandırılması, atıl durumdaki kapasiteler devreye alınarak, kömüre dayalı termik santrallerin emre amadeliliğinin yükseltilmesi gerekiyor. Halbuki elektrik sektörünün yeniden yapılanması sürecinde yaşanan belirsizlikler, yatırımları aksatmış durumda. Öte yandan Türkiye'nin gelecekte, AB'ye uyum süreci sırasında, karbondioksit salımları açısından, Kyoto Protokolü'ne vücut veren IPCC çalışmaları kapsamında bazı kısıtlamalarla karşılaşması söz konusu. Dolayısıyla, görece düşük enerji yanında yüksek kirlenici safsızlık içeren yerli linyitlerimize uygun temiz ve verimli yakma tekniklerinin geliştirilip yaygınlaştırılması gerekmekte. Bu açıdan uygun görünen 'akışkan yataklı yakma tekniği'ne göre tasarlanmış ilki olan 320 MW'lık Çan termik santrali nihayet faaliyete geçti. Ancak, yerli linyitlerimizin yakılmasıyla ilgili, yol açtığı curufu ısı iletimini aksatan kirecin ve enerji verimini düşüren nemin yüksek oranlarda olması gibi ciddi bazı 'yakma sorunları' var. Bu sorunları en iyi şekilde, rezervlerimizi en yakından tanıyan kendi teknik kadrolarımız çözebilir.



Dolayısıyla, linyit santrallerimizin, %70 yerine, halen başardıkları ortalama %51,7 emreamadilikle çalışmaya devam etmeleri büyük olasılık. Ki bu durumda, üretilen elektrik enerjisi miktarı 85,7 GkWh'a, bunun için gereken linyit üretimi de 114 milyon tona iner. Yerli taşkömürüne dayalı kapasite, 2020 yılı için 1,755 GW'la sınırlı tutulmuş. Bilinen taşkömürü rezervlerinin az olması, yeraltı işletmeciliği gerektirmesi, damarların inceliği, kıvrımlı ve faylı olmaları gibi olumsuz etkenlerin pahalı kıldığı bu kaynak için isabetli görünen bir düzey. Ortalama %70 veya %50 emre amadilikle, 10 veya 7,7 GkWh'lik üretim mümkün. Sonuç olarak, hem linyit ve hem de taşkömürü için üst senaryo kapasite değerlerinin %70 emre amadilikle çalıştırılabileceğini varsayarsak, yerli kömür kaynaklarımızdan sağlayabileceğimiz elektrik enerjisi, yılda en fazla; 116'sı linyit, 10'u taşkömürü olmak üzere; toplam 126 GkWh'la sınırlı kalıyor. 8,38 milyar tonluk bilinen linyit rezervlerimizin, termik santrallarda kullanım amacıyla üretimi ekonomik olan %65'ini oluşturan 5,45 milyar tonunun o zamana kadar geride kalacak olan 4,05 milyar tonunu, izleyen 25 yıl içerisinde tüketmek pahasına... Yaklaşık 1.25 milyar tonluk taşkömürü rezervlerimizi de benzer bir sürede...

## Hidroelektrik:

Yine 2020 yılına kadar, şimdiki 12,906 GW'lık hidrolik kapasitenin, yüksek senaryoya göre 18,132 GW eklenerek, 31,038 GW'a çıkarılması öngörülmüyor. DSİ bugün için, yıllık ortalama teknik hidroelektrik potansiyelimizi, 216 GkWh olarak belirlemiş durumda. Fakat bu teknik potansiyelin, 129,9 GkWh'lik kısmının ekonomik olduğu düşünülüyor. Bu ise 79,924 GkWh'lik güvenilir üretime karşılık gelmekte. 129,9 GkWh'lik yıllık ortalama ekonomik üretim potansiyelinin



45,930 GkWh'lik %35'i halen işletmede. 10,518 GkWh'lik %8'i inşa halinde. 73,459 GkWh'lik %57'si ise; ilk etüt ve ön inceleme, master plan, planlama ve kesin tasarım olmak üzere çeşitli aşamalardan oluşan projeler düzeyinde.

Öte yandan, santral sayısı ve güç açısından bakılacak olursa; 129,9 GkWh'lik yıllık ortalama ekonomik potansiyele karşılık gelen 36,652 GW gücündeki 747 adet hidroelektrik santralin, 12,906 GW gücündeki 142'si halen işletmede. Kalanların 40'ı inşa halinde ve 565 adedi proje seviyesinde. Atatürk, Keban ve Karakaya gibi büyük baraj imkanı artık kalmadığından, bundan sonrakiler görece küçük barajlar olmak zorunda. Dolayısıyla, 2020'nin yüksek senaryo hedefi olan 31,308 GW, ekonomik olan potansiyel hidro gücümüzün %84,6'sına ve aynı senaryonun o yıl için öngördüğü 96,348 GW'lık toplam gücün %32,5'ine karşılık geliyor. Geçmişteki veriler, hidroelektriğin toplam elektrik üretimine katkısının, ortalama olarak, toplam güç içindeki payının yarısı kadar olabildiğini göstermekte. Buna göre, yüksek senaryonun 2020 için öngördüğü 491,318 GkWh'lik güvenilir üretimin, %32,5/2 = %16,25'inin, yani 81 GkWh'inin hidro kaynaklı olması beklenebilir. Dolayısıyla, 2020'den sonrası için geriye, sadece 129,9-81 = 48,9 GkWh'lik ekonomik hidropotansiyel

kalıyor. Gerçi özel sektöre yapılan incelemeler, DSİ'nin teknik hidropotansiyel olarak belirlediği 216 GkWh'in 200'ünün ekonomik olabileceği görüşünde. Ki o durumda, kalan potansiyel 119 GkWh'e çıkıyor.

Rüzgar gücü için yüksek senaryonun 2020 hedefi olan 3,038 GW, ortalama %25 verimle çalışacak olsa, yaklaşık 7 GkWh üretir. Aslında 2020 için, örneğin 10 GW rüzgar gücü hedeflenebilir. Halen EPDK'dan lisanslı 1454 MW tutarında 39 proje var. Fakat bunlardan, yalnızca 30 MW'lık bir tanesi %63 ilerleme kaydetmiş. Diğerleri ise, proje sahiplerinin yasa ile getirilen desteği yetersiz bulmaları nedeniyle %5'ten öte ilerleme sağlayamamış durumda. Jeotermal, güneş ve biyokütle gibi diğer yenilenebilir kaynaklardan üretilebilecek elektriğin 5 GkWh kadar olabileceği düşünülüyor. Yerli kaynaklarla sağlanabilen bu kadar. Yani, linyitten ve taşkömüründen, o da %70 emreamadeliğin başarılması halinde, 116 ve 10 GkWh, hidroden 81 GkWh, rüzgardan 7 GkWh ve diğer yenilenebilir kaynaklardan 5 GkWh olmak üzere, yerli toplam 219 GkWh. Yüksek senaryonun üretim öngörüsü olan 491,318 GkWh'i üretmek için, 272,318 GkWh daha lazım. Türkiye'nin yerli ve yenilenebilir kaynaklarının toplamı, kendi ihtiyacını karşılamaya yetmiyor. Türkiye elektrik üretimi için kaynak ithal etmek zorunda. Bu ithalatın hacmini asgaride tutabilmek için, yerli kaynaklar açısından yüksek senaryo verilerinin hedeflenmesi gerekiyor. Bu kaynaklar için yüksek senaryo verilerinin kullanılmış olması bu yüzden. Bundan sonrası; ithal kömür, doğal gaz ve nükleere, ağırlıklı olarak da doğal gaza kalıyor.

| 2007-2020 Güvenilir üretim planlaması ve talep, GkWh (milyar kWh) |         |         |         |         |         |         |
|-------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                                                                   | 2010    |         | 2015    |         | 2020    |         |
| <b>Termik</b>                                                     | 180,146 | 199,802 | 248,327 | 302,687 | 338,574 | 414,757 |
| <b>Hid. +diğ. yen.</b>                                            | 44,562  | 45,666  | 51,073  | 60,226  | 67,123  | 76,560  |
| <b>Toplam</b>                                                     | 224,708 | 245,468 | 299,400 | 362,913 | 405,697 | 491,318 |
| <b>Talep</b>                                                      | 217     | 242     | 294     | 356     | 406     | 499     |

\*İlk sütundaki rakamlar alt, ikinci sütundakiler üst senaryo verileridir.

# İthal Kaynaklar

## Kömür, motorin+fuel oil:

Yüksek senaryoda 2020 için, ithal kömüre dayalı 6,102, motorin+fuel oil için de 3,307 GW güçler öngörülmüş. Toplam 9,409 GW'lık bu güç, %70 emreamadelikle yılın 8760 saatinde  $9409 \times 0,7 \times 8760 = 57,7$  GkWh üretebilir. Yerli kaynaklardan gelen 219'la birlikte, 276,7 GkWh...

## Doğal gaz:

Doğal gaz kullanımı son 20 yılda, dünya birincil enerji tüketimindeki payını hızla artırarak yılda 2,8 trilyon metreküpe ulaştı. Bu eğilimin devam etmesi ve yıllık artış hızının; kömürde %1,9 ve petrolde %2,0 iken, doğal gazda %2,3 düzeyinde seyretmesi bekleniyor. Artışın yarıya yakını, elektrik üretimine yönlendirilmekte. Bunun nedenleri; doğal gaz santrallerinin ilk yatırım maliyetlerinin görece düşüklüğü, elektrik üretimi sırasında oluşan artık ısının değerlendirilmesine imkan tanıyan 'bileşik' ('kombine') çevrim santrallerinin toplam veriminin %50-60'lara varan düzeylerde yüksek olması ve santrallerin yapımlarının 1-2 yıl gibi kısa bir sürede tamamlanabilmesi. Türkiye de bu eğilimin içinde olarak, 2005 yılı itibarıyla, 26,865 'milyar metreküp' (Gmk) doğal gaz tüketmiş. Bunun %57,4'üne karşılık gelen 15,42 Gmk'ünü elektrik üretiminde kullanıp, aynı yıl tükettiği 160,3 GkWh elektriğin %45'ini oluşturan 72,135 GkWh'ini üretmiş. Yani, metreküp başına 4,68



santrallerdeki artık ısının bir kısmı, ısınmada ve süreç ısısı üretiminde kullanılıyor. Öte yandan, Türkiye 2006 yılında, 12,275 GW'lık doğal gaz dayalı gücüyle, 75,8 GkWh üretmeyi planlıyor. Bu ise,  $75,8 \times 10^{12} \text{ Wh} / (12,275 \times 10^6 \times 8760) = \%70,5$  emreamadelığın hedeflendiğine işaret etmekte.

Doğal gaz santralleri genelde, yük değişimine hızlı ayak uydurabildiklerinden, talep zirvesini karşılamakta tercih edilirler ve temel yükü ('baz yükü') karşılamak açısından pahalı sayılırlar. Fakat Türkiye'de temel yükü omuzlamaya başladıkları anlaşıyor. Nitekim, 2020'ye yönelik alçak ve yüksek senaryoların her ikisi de, toplam

27,947 GW'lık doğal gaza dayalı güç öngörmüş. Bu kadarlık güç, %70,5 emre amadelikle yılda  $27,947 \times 0,705 \times 8760 = 172,7$  GkWh üretebilir. Bunun için, yukarıdaki 4,68 kWh/m<sup>3</sup>'e karşılık gelen %43,2'lik çevrim verimiyle  $172,7 / 4,68 = 36,9$  Gmk doğal gaz tüketilmesi gerekir. Bu kadar doğal gazla üretilmesi hedeflenen 172,7 GkWh, diğer kaynaklara dayalı yüksek senaryo elektrik üretimlerinin toplamı olan 276,7 GkWh'a eklendiğinde, toplam 449,4 GkWh oluyor. Bu rakam, 2006 yılı için planlanan 173,1 GkWh tüketim düzeyinin, her yıl %7 oranında artarak 2020 yılına kadarki 14 yıl içerisinde ulaşacağı  $173,1 \times (1,07^{14}) = 446,3$  GkWh düzeyine denk. Aynı zamanda, yandaki tabloda 2020 için verilen alt ve üst senaryo talep öngörülerini oluşturan 406 ve 499 GkWh'lik değerlerin arasında bir yerde. Dolayısıyla, nükleer hariç diğer kalemlerde yüksek senaryo verileriyle çalışıldığı takdirde, alt senaryonun talep öngörüsü karşılanmış oluyor. Fakat, üst senaryo talep öngörüsünün 499-449,4 = 49,6 GkWh altında kalıyor. 4,5 GW'lık nükleer gücün de ilavesi halinde,  $4,5 \times 0,7 \times 8760 = 27,6$  GkWh'i daha karşılanmış olur. Geride hala 49,6-27,6 = 22 GkWh, yaklaşık 3 GW güç karşılığı açık var. Tahminlerin hata payı içinde kalabilecek kadar küçük bir miktar...

Sonuç olarak, 2020 yılında Türkiye, 96,348 GW'lık kurulu gücünün 27,197 GW'ını, yani %28,2'sini doğal gaza dayandırmış olacak ve tükettiği toplam 446,3 GkWh elektriğin, yaklaşık  $172,7 / 446,3 = \%38,7$ 'sini bu kaynaktan üretecek. 2006 için doğal gaza dayalı kurulu gücün ve elektrik üretiminin toplam içindeki payları, sırasıyla  $12,275 / 38,800 = \%31,6$  ve  $75,8 / 173,1$



kWh. Doğal gazın hacimsel enerji yoğunluğu 39 MJ/m<sup>3</sup> olarak alınırsa, bu; elektrik üretimi açısından  $4,68 \times 1000 \text{ (W/h)} \times 3.600 \text{ s} / (39 \times 10^6 \text{ J}) = \%43,2$ 'lik bir çevrim verimi demek. Bu, kombine çevrim santrallerinin kuramsal olarak başa-rabilmesi gereken %50-60'a varan verim düzeyinin altında olmakla beraber, yalnızca buhar gücüyle elektrik üreten termik santrallerin üçte bir civarındaki veriminden daha yüksek. Kaldı ki, bu

| 2007-2020 kurulu güç öngörüler, bin MW                                    |         |         |         |         |         |         |
|---------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                                                                           | 2010    |         | 2015    |         | 2020    |         |
| Zirve güç talebi                                                          | 35      | 39      | 48      | 57      | 67      | 79      |
| Beklenen kurulu güç                                                       | 45      | 49      | 59      | 71      | 80?     | 96?     |
| Rezerv kapasite, MW                                                       | 10      | 10      | 11      | 14      | 13      | 17      |
| (Oranı, %)                                                                | (%22,2) | (%20,4) | (%18,6) | (%19,7) | (%16,3) | (%17,7) |
| *İlk sütundaki rakamlar alt, ikinci sütundakiler üst senaryo verileridir. |         |         |         |         |         |         |



### Türkiye'nin Doğal Gaz Altyapısı



| Mevcut Anlaşmalar                     | Miktar (Plato) (Milyar m <sup>3</sup> /yıl) | İmzalanma Tarihi | Bağlama Tarihi-Süresi-Bitiş | Süre (Yıl) | Durumu  |
|---------------------------------------|---------------------------------------------|------------------|-----------------------------|------------|---------|
| <a href="#">Rus. Fed. (Batı)</a>      | 6                                           | 14 Şub. 1986     | 1987-25-2012                | 25         | Devrede |
| <a href="#">Cezayir (LNG)</a>         | 4                                           | 14 Nis. 1988     | 1994-20-2014                | 20         | Devrede |
| <a href="#">Nijerya (LNG)</a>         | 1.2                                         | 9 Kas. 1995      | 1999-22-2021                | 22         | Devrede |
| <a href="#">İran</a>                  | 10                                          | 8 Ağu. 1996      | 2001-25-2026                | 25         | Devrede |
| <a href="#">Rus. Fed. (Karadeniz)</a> | 16                                          | 15 Ara. 1997     | 2002-25-2027                | 25         | Devrede |
| <a href="#">Rus. Fed. (Batı)</a>      | 8                                           | 18 Şub. 1998     | 1998-23-2021                | 23         | Devrede |
| <a href="#">Türkmenistan</a>          | 16                                          | 21 May. 1999     | 2005-30-2035                | 30         | 2005    |
| <a href="#">Azerbaycan</a>            | 6.6                                         | 12 Mart 2001     | 2005-15-2020                | 15         | 2005    |
|                                       | 67,8                                        |                  |                             |            |         |

=%43,8'i buluyor. 2020 oranları bugüne göre küçülmüş olmakla birlikte, tek bir kaynağa bağımlılık açısından, hala yüksek değerlerde. Bu senaryoya göre; yerli kaynakların payı, 446,3 GkWh'lik toplam içerisinde 216 GkWh. Dolayısıyla, elektrik üretiminin yerli kaynaklardan karşılanma oranı, 2006 yılındaki %46 düzeyinden, 2020'de %48,4'e tırmanmış olacak. Buna karşılık, doğal gaz santrallerinin yüksek emre-amadeliliği, Türkiye'nin halen %35'i aşmış bulunan rezerv kapasitesinin, yandaki tablodan görüldüğü gibi, uzun vade için hedeflenen %20 düzeylerine geri çekilmesine imkan sağlayacak.

Türkiye'nin 2020 yılında doğal gaz santrallerine biçtiği 172,7 GkWh'ı üretmek için, 4,68 kWh/m<sup>3</sup>'ten, 172,7/4,68 =36,9 Gmk doğal gaz gereksinimi var. Eğer o zaman tükettiği toplam gazın, şimdi olduğu gibi %57,4'üyle elektrik üretiyor olursa, yıllık gaz gereksinimi, toplam olarak 64,3 Gmk olacak. Türkiye 2020 yılı için buna yakın miktarda gaz bağlantısını şimdiden yapmış durumda. Yandaki tabloda, yapılmış olan doğal gaz alım anlaşmalarının, başlama tarihleriyle birlikte, süre ve bitiş yılları veriliyor. Altta-ki tablolarda ise, BOTAŞ'ın yıllara göre, doğal gaz talep tahminleri ve aktif olan bağlantılarının toplam hacimleri var.

Örneğin 2010 yılında, yüksek senaryoda öngörüldüğü gibi 16,497 GW'lık güç doğal gaza dayandırılırsa, o yıl bu santrallerin tüketeceği gaz miktarı, 2020'nin 27,197 GW'lık yüksek senaryo öngörüsüne göre tüketilecek olan 36,9 Gmk'ün, 16,497 / 27,197 =%60,7'si kadar, yani 22,4 Gmk olacak. Doğal gazın hala %57,4'ünün elektrik üretimine yönlendirildiği varsayımıyla, toplam gaz tüketimi, 22,4 / 0,547 =41 Gmk oluyor. Halbuki, 2010 yılında aktif olan doğal gaz bağlantılarının tutarı 51,058 Gmk. Arada 10 Gmk gibi önemli bir fark var. Doğal gaz piyasaları, petrol piyasaları gibi henüz oturmuş olmadığından, anlaşma hükümleri genelde gizli tutulmakta. Fakat eğer bağlantılar "al, ya da öde" türündense, Türkiye önümüzdeki yıllarda, tüketmekte zorlanacağı miktarlarda doğal gazın alım taahhütleriyle karşı karşıya kalabilecek. Gerçi bedeli ödenip de tüketilemeyen gaz, daha sonra alınabiliyor. Fakat yine de, paranın zaman değeri nedeniyle zarara uğramak söz konusu. Bu yüzden olsa gerek, Türkiye birkaç yıl için, 'Şah Denizi Hattı' olarak da bilinen Bakü-Tiflis-Erzurum boru hattındaki yılda 3 Gmk'lük kota hakkını Gürcistan ve İran'la paylaşmak üzere bu ülkelerle anlaştı.

Halbuki, yüksek senaryonun 2015 yılı için öngördüğü 22,497 GW'lık doğal gaza dayalı güç-ten hareketle yapılan yukarıdaki benzer bir hesap, elektrik üretiminde kullanılan doğal gaz miktarının 30,5 Gmk olacağını gösteriyor. Bu miktarın yine toplam tüketimin %57,4'ünü oluşturacağı varsayımıyla, toplam tüketim miktarı 30,5 / 0,547 = 55,8 Gmk oluyor. Bu miktar, 2015 yılındaki aktif bağlantı tutarı olan 40,7 Gmk'ün altında kaldığından, Türkiye bu yıldan sonra yeni doğal gaz alım taahhütleri açısından

| Doğal Gaz Talep Tahmin ve Doğal Gaz İhracat Miktarları (milyar metreküp, Gmk), BOTAŞ |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Yıl                                                                                  | 2006   | 2007   | 2008   | 2009   | 2010   | 2015   | 2020   |
| Türkiye doğal gaz talep miktarları                                                   | 29,505 | 32,288 | 34,430 | 38,300 | 43,297 | 53,616 | 62,468 |
| Doğal gaz ihracat miktarları (Yunanistan)                                            | 0,021  | 0,492  | 0,737  | 0,737  | 0,737  | 0,737  | 0,737  |
| Toplam doğal gaz talep miktarları                                                    | 29,526 | 32,780 | 35,167 | 39,037 | 44,034 | 54,353 | 63,205 |
| Not : *TEİAŞ'ın ilave elektrik üretimi için doğal gaz talepleri dikkate alınmıştır.  |        |        |        |        |        |        |        |
| ** İç Tüketim Dahil edilmiştir.                                                      |        |        |        |        |        |        |        |

| Kontrata Bağlanmış Arz Miktarları (milyar metreküp, Gmk), BOTAŞ                               |              |              |              |              |              |              |              |              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Yıl                                                                                           | 2005         | 2006         | 2007         | 2008         | 2009         | 2010         | 2015         | 2020         |
| Rusya Fed.                                                                                    | 5,000        | 6,000        | 6,000        | 6,000        | 6,000        | 6,000        | 0            | 0            |
| 1. LNG (M.Ereğlisi) Cezayir                                                                   | 4,444        | 4,444        | 4,444        | 4,444        | 4,444        | 4,444        | 0            | 0            |
| 1. LNG (M.Ereğlisi) Nijerya                                                                   | 1,338        | 1,338        | 1,338        | 1,338        | 1,338        | 1,338        | 1,338        | 1,338        |
| İran                                                                                          | 6,689        | 8,600        | 9,556        | 9,556        | 9,556        | 9,556        | 9,556        | 9,556        |
| Rusya Fed. (ilave)(Batı)                                                                      | 8,000        | 8,000        | 8,000        | 8,000        | 8,000        | 8,000        | 8,000        | 8,000        |
| Rusya Fed. (Karadeniz hattı)                                                                  | 6,000        | 8,000        | 10,000       | 12,000       | 14,000       | 16,000       | 16,000       | 16,000       |
| Türkmenistan (*)                                                                              | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| Azerbaycan (**)                                                                               | 0            | 0            | 2,000        | 3,000        | 5,000        | 6,600        | 6,600        | 6,600        |
| Toplam arz                                                                                    | 30,938       | 35,766       | 40,638       | 43,587       | 47,519       | 51,058       | 40,791       | 40,791       |
| Rusya Federasyonu payı, Gmk olarak miktar ve % pay                                            | 19,000 %61,4 | 22,000 %61,5 | 24,000 %59,1 | 26,000 %59,7 | 28,000 %58,9 | 30,000 %58,7 | 24,000 %58,8 | 24,000 %58,8 |
| (*) : Doğal gaz alımı belirsizliğini korumaktadır.                                            |              |              |              |              |              |              |              |              |
| (**): Yıllık kontrat miktarları gaz teslimatlarının başlangıç tarihine göre değişebilecektir. |              |              |              |              |              |              |              |              |

rahatlamış olacak ve hatta daha öncesinden, yenilerini aramak zorunda kalacak. Ancak, bu arada elektrik üretimi dışındaki miktarın kullanıma sunulabilmesi için, kentlere dağıtım şebekesini yeterince hızlı bir şekilde yaymak zorunda. Öte yandan, bu denli bağımlı bir hale geldiği kaynağı depolama kapasitesinin düşük olması, teminde aksama olasılıkları karşısında sıkıntı yaratıyor. Rusya'nın Gazprom şirketiyle Tuz Gölü'nün altının doğal gaz depolama amacıyla kullanılmasına yönelik çalışmalar var. Ancak bu, pahalı bir depolama yöntemi. Daha ucuz bir yöntem, tükenmiş petrol ve doğal gaz sahalarına depolamak. Fakat Türkiye'de bu imkan, yok denecek kadar sınırlı.

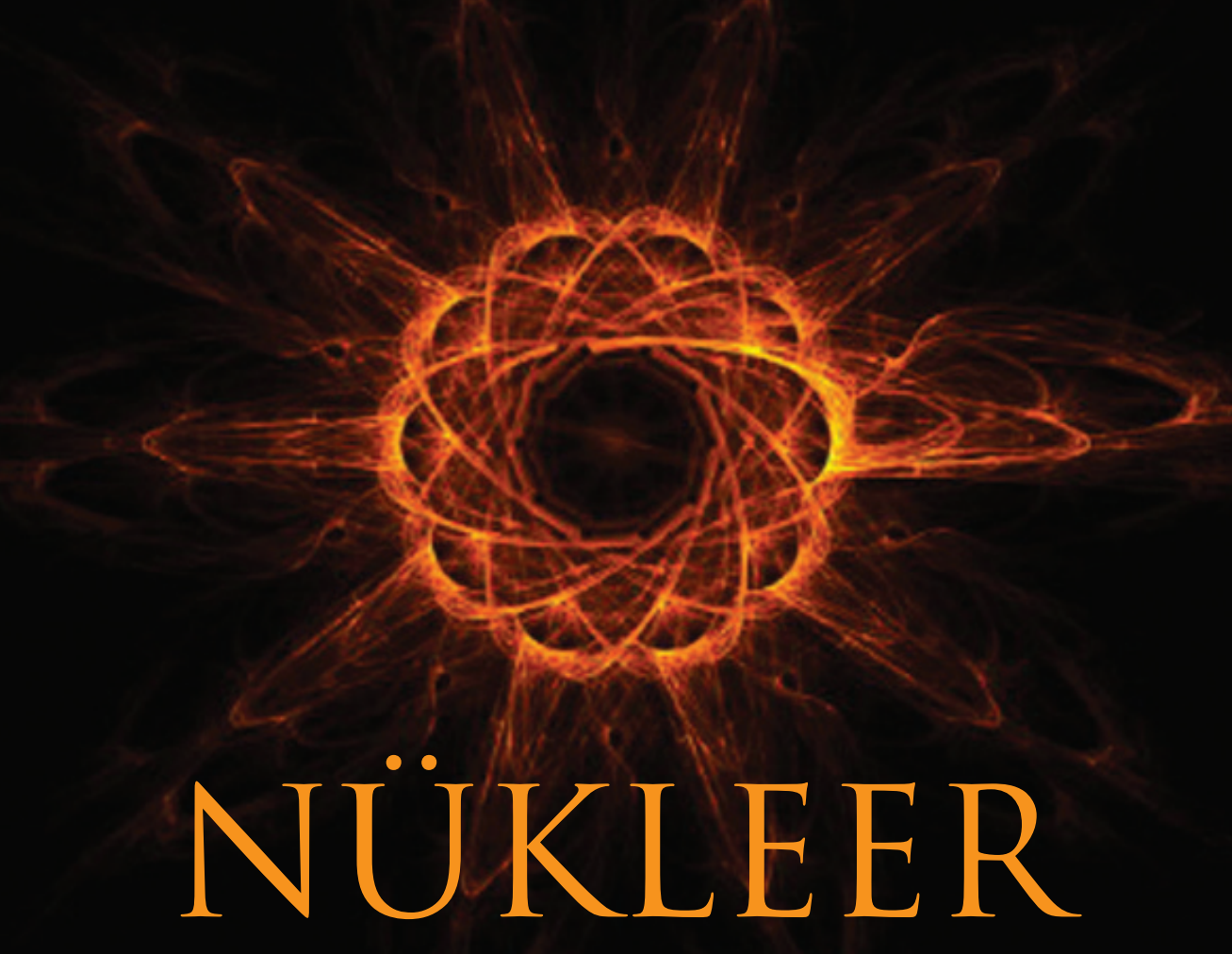
Türkiye'nin doğal gaz alımlarıyla ilgili tedirginlik yaratan bir diğer husus, bu açıdan Rusya Federasyonu'na %60'ı aşan yüksek oranlarda bağımlı olması. Dolayısıyla, tek bir kaynağa karşı geliştirilmiş olan bağımlılığın hiç değilse farklı coğrafyalar arasında dağıtılmasına çalışılıyor. Bu yönde, Hazar Denizi üzerinden Türkmen, Akdeniz üzerinden de Mısır gazına bağlanıp, Marmara üzerinden Yunanistan'a ve oradan da Avrupa'ya gaz geçişine aracı olma yönünde tasarımlar var. Yandaki haritada, 'Nabuko Projesi' olarak adlandırılan bu tasarımın şeması görülmüyor. Aslında, Türkiye'nin dünyadaki eğilimlere paralel olarak doğal gaza yö-

nelmiş olması; kaynaklara yakınlığı itibarıyla ekonomik, transit enerji koridoru olmaya yatkın coğrafyası nedeniyle de stratejik yönden anlamlı bir tercih. Fakat, bu açıdan Rusya coğrafyasına bağımlılığın frenlenmesi isteniyor. Son olarak; elektrik talebinin karşılanması için gerekli yeni elektrik üretim tesislerine yapılması gereken yatırımların tutarı, 9. Kalkınma Planı Genel Enerji Özel İhtisas Komisyonu Raporu'na göre; 2006-2010 döneminde yılda 2.6 milyar dolar, 2010-2015 ve 2016-2020 dönemlerinde de her yıl, sırasıyla 4 ve 10.2 milyar olmak üzere, toplam 84 milyar dolar düzeyinde.

Görüldüğü üzere, Türkiye gibi, gelişmekte olup da kendi enerji kaynakları yetersiz görünen bir ülkenin enerji gereksinimini karşılamak, aynı



anda birden fazla ipte cambazlık yapmaya benziyor. Türkiye'nin bu alandaki kısıtlarını gevşetebilmek için, seçeneklerinin arasına yenilerini katması lazım. Nükleer santrallerin bu bağlamda önemli bir rol üstlenebileceği, bir yandan da, Türkiye'nin temel yük santralleri filosunun genişletilmesine ve halen fazla yüksek olan rezerv kapasite oranının düşürülmesine olumlu katkıda bulunacağı düşünülüyor. Güvenli ve ekonomik bir şekilde işletilmelerinin mutlaka sağlanmasını en öncelikli hedef olarak almak kaydıyla. Bunu başarmak, toplumda ağırlıklı bir düşünce birliği ve kararlılığın oluşması halinde mümkün olacağından, karşılıklı ikna süreçlerinin çalışmasına yeterli zamanın tanınması gerekmektedir.



# NÜKLEER ENERJİ

Nükleer enerjiden elektrik üretimi halen, ağır çekirdeklerin parçalanmasına, yani 'fizyon'a dayalı olarak gerçekleştirilmekte. Başlangıç yakıt hammadresi olarak doğal uranyum kullanılıyor. Doğal uranyum; sayıca %0,72 oranında U-235, yaklaşık %99,3 oranında da U-238 izotopu içerir. Bunlardan U-235 izotopu, doğadaki, hem yavaş ve hem de hızlı nötronlar tarafından parçalanabilen yegane 'fisol' izotop. Yavaş nötronlarla daha kolay parçalanabildiğinden, çalışması sırasında kalbinde ağırlıklı olarak böyle nötronların dolaştığı 'termal' reaktörlerin yakıtında kullanılır. Ancak, normal suyla soğutulan termal reaktörlerde, kritikliğin başarılabilmesi için, yakıttaki U-235 oranının, %2-4 oranına yükseltilmiş olması gerekir. 'Düşük düzeyde zenginleştirilmiş uranyum' ('Low Enrichment Uranium, LEU') kullanan bu tür reaktörlere, 'basıncı su reaktörü' (PWR) deniyor. Kanada'nın ağır suyla çalışan CANDU tipi termal reaktörleri ise, doğal uranyumu doğrudan yakıt olarak kullanabilmekte. Bunlara ise, 'ba-

sıncı ağır su reaktörü' (PHWR) deniyor.

Termal reaktörler çoğunlukla, 'tek geçişli yakıt çevrimi'ne dayalı olarak çalıştırılıyor. Yani, kalbe konan yakıt, içerdiği U-235 oranı belli bir düzeyin altına inene kadar kullanıldıktan sonra çıkartılıp, içinde kalan plutonyumla birlikte süresiz beklemeye alınıyor. Dolayısıyla, termal reaktörler esas olarak, doğal uranyumdaki çekirdeklerin yalnızca %0,72 kadarını oluşturan U-235 izotoplarının parçalanmasıyla enerji üretimine yöneliktirler. Halbuki U-238, kendisi fisil olmamakla birlikte, hızlı bir nötron yuttuktan sonra bozunup, fisil bir çekirdek olan Pu-239'a dönüşebilir. Gerçi, bu süreç termal reaktörlerde de dolaylı olarak yer alır ve üretilen gücün üçte birine yakını, işletme sırasında yakıtta oluşan plutonyumun termal fizyonu ile sağlanır. Fakat, yüksek enerjili nötronların ağırlıkta olduğu 'hızlı reaktör'lerde, U-238'in daha büyük bir kısmını plutonyuma dönüştürmek mümkündür. Hatta, uygun şekilde tasarlanmış 'hızlı üretken' reaktörler, tükettikleri fisil çekir-

dek sayısından daha fazlasını üretebilirler. Nitekim, biri Fransa'da, ikisi Rusya Federasyonu'nda aktif olan üç hızlı reaktör bunu yapmakta ve bir yandan U-235 tüketirken, diğer yandan, tükettiği U-235'ten %15 kadar daha fazla plutonyum üretmektedir. Çıkarılan yakıt daha sonra kimyasal işlemlere tabi tutulup, içindeki plutonyum ayrıştırılarak, hızlı veya termal reaktörlerde yakıt olarak kullanılabilir. Bu sürecin art arda birkaç kez tekrarlandığı 'kapalı yakıt çevrimi'yle, doğal uranyumun birim ağırlığından, 'tek geçişli yakıt çevrimi'ne göre, kuramsal olarak 60 misli daha fazla enerji elde etmek mümkündür. Ayrıca, Avrupa'daki 32 termal reaktör, kullanılmış termal reaktör yakıtlarından ayrıştırılan plutonyumun ve uranyumun oksitlerinin karışımından imal edilen yakıtları kullanıyor. 'Metal oksitleri, MOX' adı verilen ve aynı zamanda, imhasına karar verilen nükleer başlıkların içerdiği plutonyumun yakılmasında kullanılan bu teknoloji, Dünya nükleer enerji üretiminin %10 kadarını karşılamakta.

# Dünya'daki Durum:

Dünya'da ticari olarak elektrik üreten, yaklaşık 370 GW gücünde 443 nükleer santral var. Ayrıca, 9 ülkede 26 tanesi inşa halinde. Halen çalışanların üçü, görece yüksek enerjili nötronlarla çalışan 'hızlı', kalan 440'ı, yavaş nötronlarla çalışan 'termal' reaktör. Öte yandan, mevcut 440 adet termal reaktörün 268'i, 'basınçlı su reaktörü' (PWR) tipinde. 1 GW(e) gücünde bir termal reaktör yılda, örneğin %3,6 oranında zenginleştirilmiş 20 ton kadar yakıt tüketir. Bu yakıt, 200 ton kadar doğal uranyumdan üretilebilir ve doğal uranyumla çalışan bir termal reaktörün yıllık yakıt gereksinimi de keza bu düzeydedir. (Bknz. Bir Nükleer Santralin Yakıt Gereksinimi.) O halde, Dünya'daki toplam 370 GW(e)'lik kurulu nükleer gücün doğal uranyum gereksinimi,  $370 \times 200 = 74.000$  ton kadardır. Bunun %10 kadarı, imha edilmekte olan nükleer başlıklardaki plutonyumdan sağlanıyor. Dolayısıyla, net doğal uranyum gereksinimi halen 68.000 ton düzeyinde.

|              | ton U     | % Dünya |
|--------------|-----------|---------|
| Avustralya   | 1.074.000 | 30      |
| Kazakistan   | 622.000   | 17      |
| Kanada       | 439.000   | 12      |
| Güney Afrika | 298.000   | 8       |
| Namibya      | 213.000   | 6       |
| Brezilya     | 143.000   | 4       |
| Rusya Fed.   | 158.000   | 4       |
| ABD          | 102.000   | 3       |
| Özbekistan   | 93.000    | 3       |
| Dünya toplam | 3.537.000 |         |

OECD NEA & IAEA, 'Uranium 2003: Resources, Production and Demand, updated 2005.'

## Rezervler:

Üstteki tabloda Dünya'nın, 80\$/kg'ın altında maliyetle üretimi mümkün görülen, 'oldukça garantili' doğal uranyum rezervlerinin ülkelere göre dağılımı var. Toplam, yaklaşık 3,5 milyon ton. Bu rezerv, tahmini rezervler ve askeri stoklar gibi ikincil kaynaklarla birlikte, 4,8 milyona tona çıkartılabilir. Yani mevcut santral filosuna, yılda 68 bin tondan, yaklaşık 70 yıl yetecek kadar. Nükleer enerji halen, Dünya elektrik üretiminin %16'sını sağlıyor ve bu, Dünya genel enerji tüketiminin, yaklaşık %6,5'ine karşılık gelmekte. İklim değişikliği endişeleri nedeniyle, Kyoto Protokolü doğrultusunda, fosil yakıt kullanımından uzaklaşma çabaları malum. Nükleer enerjinin bu açıdan anlamlı bir katkıda bulunabilmesi için, elektrik ve genel enerji üretimindeki payının, en az 2-3 misline katlanması gerekir. Ki bu, söz konusu rezervlerin yeterlilik süresini 35-23 yıla indirir. Fazla uzun değil.

Doğal uranyum rezervlerinin yetersizliği endişesi, 1970'li yılların başında, çok sayıda nükleer reaktörün kurulmaya başlandığı sırada da vardı. Nitekim, Soğuk Savaş'ın imelendirdiği askeri alımların yavaşlaması nedeniyle daha önce düşmüş olan uranyum talebi hızla artarak, uranyumun ticari formu olan  $U_3O_8$ 'ın fiyatını, 80 \$/kg'ın üzerine tırmandırdı. Bu yüzden, hızlı gelişmesini sürdürceği düşünülen nükleer enerji programında, termal reaktörlerin yanında, bir de hızlı üretken reaktör ayağının yer alması planlanmıştı. Ancak, yükselen fiyatların uranyum aramalarına hız kazandırması ve sonuç olarak, başta Kanada ve Avusturalya'da olmak üzere, büyük yeni rezervler bulunması, uranyum piyasalarını rahatlatmıştı. 1974 petrol ambargosunun tetiklediği ekonomik kriz ve 1979 yılındaki Üç Mil Adası kazasından sonra nükleer enerji sektörü durgunluğa girince, fiyatlar gerilemeye başladı ve 1981 yılında 25 \$/kg'a indi. Giderek, 1986 Çernobil kazasından sonra yeni ihalelerin neredeyse tümüyle kesilmesi, uranyum madenciliğinde kapasite fazlalığına ve aramaların durmasına yol açtı. Bu arada, hızlı üretken reaktör programı, kalbin soğutulmasında karşılaşılan teknik sorunlar ve 'yakıtı yeniden işleme'nin yüksek maliyeti nedenlerle, umulan gelişmeyi kaydedememişti. Sonuç olarak, düşük zenginlikte uranyum kullanan 'tek geçişli yakıt çevrimi' ile 2000'lere kadar gelindi. Gerçi bu arada Batı'da yeni reaktörler kurulmamış, fakat eskileri daha yüksek kapasite kullanım faktörleriyle çalıştırılmaya başlanmıştı. Dolayısıyla, fiyatlar 2000 yılında, 20\$/kg'ın altındaki en düşük düzeyine indikten sonra, mevcut nükleer santrallerin süregiden talebinin rezervler üzerindeki baskısı nedeniyle, hızlı bir artış eğilimine girdi. 'Sarı pasta' olarak da adlandırılan  $U_3O_8$ , halen 70\$/kg civarında fiyatla satılıyor. Gerçi, nükleer elektrik üretiminde yakıt, kWh başına üretim maliyetinin %10 kadarını oluşturduğundan belirleyici değil. Öte yandan, fiyat artışlarının uranyum aramalarını hızlandırarak rezerv artışlarına yol açacağına kesin gözüyle bakılabilir. Fakat yine de, yakıt temini açısından, 2020'ye doğru bir darboğazın yaşanması mümkün. Bu nedenle, 3. Nesil reaktör tasarımları; pasif güvenlik önlemleri içerenin ve daha hızlı inşaya yatkın modüler yapılara sahip olmanın yanında, %30-35 ısı verimle çalışan 2. Nesil reaktörlerden daha yüksek, %45-50 verim düzeylerini öngörüyor. Bu yeni tasarımların yaygınlaşması, verim farkı nedeniyle, doğal uranyum gereksinimini %30 oranında azaltıp, rezervlerin yeterlilik süresini 1,4 faktörle uzatabilir.

## Bir Nükleer Santralin Yakıt Gereksinimi:

1 GW(e)'lik bir nükleer santral, yılın 8760 saatinde sürekli çalıştırılırsa,  $109W \times 8760h \times 3600(s/h) = 3,15 \times 10^{16}$  J elektrik enerjisi üretir. Kullandığı termodinamik çevrimin verimi %34 olarak alınacak olursa, bu miktarda elektrik,  $3,15 \times 10^{16} J / 0,34 = 9,28 \times 10^{16} J$  ısı enerjisi gerektirir. Bu kadar ısının üretimi için, her biri



200 MeV, yani  $2 \times 10^8 \times 1,6 \times 10^{-19} J = 3,2 \times 10^{-11} J$  enerji açığa çıkartan çekirdek parçalanmalarından,  $9,28 \times 10^{16} J / 3,2 \times 10^{-11} J = 2,9 \times 10^{27}$  tanesinin gerçekleşmesi lazımdır. Üretilen enerjinin yaklaşık 1/3 kadarı, plutonyuma dönüşen U-238 çekirdeklerince sağlandığından, parçalanmış U-235 çekirdeklerinin sayısının  $(2/3) \times 2,9 \times 10^{27} = 1,9 \times 10^{27}$  olması yeterlidir. Bu sayıda U-235 atomunun kütlesi, molü 235 gramdan;  $(1,9 \times 10^{27} / 6,025 \times 10^{23}) \times 235 = 0,74 \times 10^6 g$ , yani 0,74 tondur. Bu miktarda U-235, bu çekirdeği %0,72 oranında içeren doğal uranyumun  $0,74 / 0,0072 = 102,8$  tonunda bulunur. Zenginleştirilmiş yakıt kullanıldığı takdirde, doğal uranyum gereksinimi artar.

Zenginlik oranı, tipik bir değer olan %3,6 ise; 0,74 ton U-235 içeren yakıtın toplam kütlesi,  $0,74 / 0,036 = 20,6$  ton olmak zorundadır. Ancak, zenginleştirme işlemi sırasında, doğal uranyumun bir kısmındaki U-235 oranı yükselirken, kalanı, tipik bir değer olan %0,3'e kadar fakirleşerek, 'atık' haline gelir. Dolayısıyla, örneğin m kg doğal uranyumdan %3,6 oranında zengin 1 kg yakıt elde edilmişse, kalan m-1 kg'ı atıktır. Bu durumda, başlangıçtaki m kg doğal uranyumun içerdiği U-235 çekirdeklerinin, sonuçtaki 1 kg'lık zenginleştirilmiş yakıt ile m-1 kg'lık atık malzemesi arasında paylaşılmış olması gerekir. Yani,  $0,72xm = 1 \times 3,6 + (m-1) \times 0,3$  eşitliği sağlanmak zorundadır. Bu eşitliğin bize verdiği  $m = 7,86$  kg değer, %3,6 oranında zenginleştirilmiş yakıtın 1 kg'ının eldesi için gereken doğal uranyumun kütlesidir. Dolayısıyla, %3,6 oranında zenginleştirilmiş 20,6 ton uranyum yakıt, %0,72 zenginliğe sahip doğal uranyumun,  $7,86 \times 20,6 = 161,9$  tondan elde edilebilir. Fireler de hesaba katılırsa, sonuç olarak; %3,6 oranında zenginleştirilmiş yakıt kullanan 1 GW(e) gücündeki bir santral, yılda yaklaşık 20 ton zengin yakıt tüketir ve bu yakıtın üretimi, yaklaşık 200 ton doğal uranyum gerektirir. Uranyum metalinin yoğunluğu  $18,9 g/cm^3$ , su soğutmalı reaktörlerde kullanılan uranyumdioksitinki  $10,8 g/cm^3$ 'tür. Dolayısıyla, 20 tonluk zenginleştirilmiş uranyumdioksit kütlesi,  $20 \times 10^6 / 10,8 = 1,85 \times 10^6 cm^3$  veya  $0,185 m^3$  hacim kaplar. Malzeme yakıt elemanı haline konduğunda, bu hacim yaklaşık  $1 m^3$ 'e çıkar. Yani, yılda 20 ton zengin yakıt kullanan bir hafif su reaktörünün 50 yıllık yakıtını  $4m \times 4m \times 4m$  boyutlarında bir odada depolamak mümkündür.

# TÜRKİYE'DE NÜKLEER ENERJİ



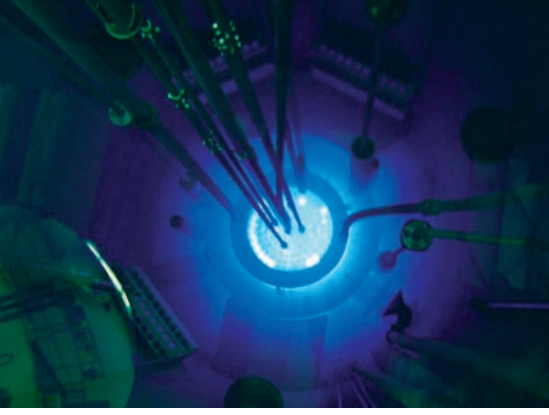
**Amaç:** Türkiye'nin nükleer enerji alanına girişteki asıl amacının, güvenli ve ekonomik elektrik üretimi olması gerekir. Çünkü, elektrik üretim filusunun, yılın büyük bir kısmında aksa maksızın çalışarak, görece ucuz, güvenli ve sürekli elektrik üretebilecek sert bir çekirdeğe ihtiyacı var. Bu çekirdek oluşturulmadan, geleceğe güvenle bakmak imkansız. Gelişmenin motoru niteliğindeki bu işlev halen, doğal gaz santrallerine kaymış durumda. Bundan sonraki kapasite genişletmelerine çeşitlilik katılması gerekiyor. Bu açıdan, olağan koşullar altındaki çalışma karnesi hayli güven telkin eden nükleer enerjinin, Dünya'nın geleceğinde olduğu gibi, Türkiye'nin geleceğinde de var olması zorunlu görünüyor.

**Tip:** Her ne kadar ihale koşulları arasına genellikle, "en az bir örneğinin kurulmuş ve en az bir yıldır çalışıyor olması" gibi bir koşul konulursa da, tip seçimi konusunda, şimdiden aktif hale gelmiş bulunan 3. Nesil reaktör tasarımlarının da göz önünde bulun-

durulmasında yarar var. Çünkü bunlar, halen en yaygın ve en oturmuş durumdaki PWR teknolojisine dayalı olup, en gelişkin pasif güvenlik önlemlerini bir arada barındıran tasarımlar. Önde gelenleri arasında, Fransız-Alman ortaklık firması Areva'nın 'Avrupa Basıncılı Su Reaktörü' (EPR) ile, ABD'nin Westinghouse firmasının 1100 MW(e)'lik 'İleri Basıncılı Su Reaktörü' (AP1000) bulunuyor. Bunlardan, EPR, beşinci reaktörünü kurmaya karar veren Finlandiya tarafından, Olkiluoto santralına ilave edilecek 1600 MW(e) gücündeki yeni birim olarak tercih edildi. Fransa, 2007 yılında Flamanville'deki bir birimle başlayarak, 2020'ye kadar, mevcut 19 santralındaki 58 reaktörünü bu tiple yenilemeyi planlıyor. AP1000 ise, ABD'nin nükleer denetim kuruluşu olan NRC'den lisans almış durumda. Öte yandan, Kanada'nın doğal uranyumla çalışan CANDU tipine yönelmek, teknoloji transferi açısından görece kolaylık sağlar. Güney Afrika'nın 'çakıl yataklı' tasarımı, 'kendiliğinden güven-

li'lik gibi çekici bazı unsurları barındırmakla birlikte, henüz ticari etkinlik kazanmış değil. 4. Nesil reaktör tasarımları ise; güvenlik ve ekonomiklik açılarından daha gelişkin olmaktan ziyade; bazıları yakıt tasarrufuna yönelik 'hızlı', bazıları yüksek sıcaklıkta çalışarak hidrojen üretmeyi hedefleyen ve genelde nükleer silahların yayılması olasılığına karşı yalıtımlı kılınmaya çalışılmış sistemler olup, en erken 2020 yılından sonra sahneye çıkabilecek. Dolayısıyla, yakın gelecek için gündeme gelmeleri gerekmiyor.

Burada bir seçenek, gelecekteki nükleer santral filosunu, olabildiğince aynı tipin çatısı altında toplamaya çalışmak. Fransa'nın izlemekte olduğu bu yaklaşımın, hızlı deneyim kazanmak, bakım onarım ve yedek parça temini açısından açık avantajları var. Ancak, teknoloji ufkunu tekil yaklaşımlarla sınırlamak da sakıncalı olabiliyor. Bu açıdan yol gösterici temel ilke, her yeni girişimi kendi içinde ayrı bir ekonomik proje olarak değerlendirmek olabilir. Konuyla ilgili tartışmalarda sezilen bir yanılgı, Türkiye'nin bir nükleer santral kurması halinde, nükleer teknolojinin bugünkü biçimiyle, neredeyse ebedi bir 'Katolik evliliği'ne girmiş olacağı şeklinde. Halbuki teknoloji projeleri, bir 'maliyet-yarar' analizi çerçevesinde, belli bir ekonomik ömür hedef alınarak planlanır ve bu ömür tamamlandığında, o projeden umulan yararlar zaten sağlanmış olur. Sistem umulanları vermeye devam ediyorsa, ömrü uzatılabilir. Ya da, yola bir başka teknolojiyle devam kararı alınır. Yani; teknolojik gelişme uzun soluklu bir uğraş, bir bakıma zamana karşı çok aşamalı bir yarıştır. Bu yarışta aslanan, her an için yolda olmak ve yarışın her ayağını, o an için elde bulunan en zinde atla koşturmak. Duraklardan birinde oturup da, her bakımdan en iyi 'mükemmel' bir teknolojinin, bir 'mehdi' misali çıkıp gelmesini



beklemek değil. Öte yandan, işe yarar teknolojilerin, illa da yepyeni olması gerekmiyor. Tekerlek 4000 yıl önce keşfedildi, ama hala kullanılmakta. “Bu artık eskidi, ‘çöp’e atıp, dikkörtgenini yapalım” gibi bir görüş ileri sürülürse eğer, bunu ciddiye almak mümkün değildir.

**Yakıt:** Yine her ne kadar, nükleer santral ihalelerinde ‘yakıt temini garantisi’ zaten aranır da, bu konuyu netleştirmekte yarar var. Çünkü, Türkiye’nin başlatmaya çalıştığı nükleer enerji programının yakıt gereksiniminin yerli kaynaklarca sağlanabileceği yönünde görüşler mevcut. Hatta bu görüş, nükleer enerjiye yönelişin haklılık gerekçelerinden biri olarak gösterilmeye çalışılmakta. Halbuki bu, asıl gerekçelerini bulandıran bir durum. Türkiye’nin bilinen doğal uranyum rezervleri, 9100 ton kadar. Yani yılda 200 tondan, 1 GW(e)’lik tek bir reaktörün yakıt gereksinimini, diyelim 45 yıllık bir çalışma süresi boyunca ancak karşılayabilecek kadar. Anlamlı bir rakam değil. Yeni rezerv aramalarına ağırlık verilmesi lazım. Öte yandan sık sık, Türkiye’nin 300 bin tonu aşan toryum rezervlerine sahip olduğu söylenmekte. Halbuki Dünya’daki, kayda değer toryum rezervlerine sahip ülkelerin listesinde Türkiye’nin adı geçmiyor. Çünkü, öne sürülen rezervlerin tenörü çok düşük. Kamuoyunda zaten, periyodik bir şekilde; “enerji kaynağı olarak bor”, yapay bir element olduğundan doğada bulunmayan “neptün-yumun rezervleri”, tümüyle hayal ürünü olan “feomidium

hazineleri” gibi ‘bilgi kirlilikleri’ sıkça dolaşıyor. Öte yandan, toryum yakıt çevrimi, özellikle Hindistan’ın 360 bin tonu aşan yüksek nitelikli toryum rezervlerini değerlendirebilmek amacıyla üzerinde çalıştığı, ekonomikliği henüz netleşmemiş bir konu. Biraz da bu alanda karşılaştığı zorluklar nedeniyle olsa gerek, ABD ile nükleer teknoloji alanında, kapsamlı bir işbirliğine yöneldi. Türkiye’nin durumu buna benzeriyor. Dolayısıyla, ‘yakıt temini güvenliği’ ön planda tutulmak zorunda.

**İnsan gücü:** Bir nükleer santral ihalesinin hükümleri arasında, santralin işletilmesine yönelik ‘personel eğitimi programı’ ayrıntılı olarak yer alır. İşletme belli bir süre için yabancı ortak(lar)la birlikte götürüldükten sonra, yerli ortak(lar) tarafından devralınır. Öte yandan, Nükleer Silahların Yayılmamasına Karşı Anlaşma’ya (‘Nuclear Non-Proliferation Treaty’, aslında ‘NNPT’, fakat yaygın kullanımda ‘NPT’) üye ülkeler için; ki Türkiye üyedir; işletme güvenliği ve yakıt kullanım süreçleri, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı’nın aralıklı denetimlerine tabidir. Türkiye’nin altyapısı, hedeflenen nükleer enerji programının gereksi-

nimleri doğrultusunda geliştirilmek zorunda. Gelişme diye buna deniyor. Nükleer alandaki eğitilmiş insan gücünün uzun sürmüş olan bir atalet döneminde aşınmaya uğradığı bir gerçek. Fakat, her yeni projenin gerçekleştirilme süreci, altyapı planlamasının bir parçası olan eğitim planlamasıyla birlikte yürütülür. Başta TAEK olmak üzere, ilgili kurumlar bu yönde çalışmalar yapıyor. Üniversitelerimiz de herhalde, takviye insan gücünün yetiştirilmesi açısından duyarsız kalmayacaktır. Altyapı ve eğitim konularında sergilenen duyarlılıklar, genelde yerinde ve sağlıklı. Ancak, “biz şunu yapabiliriz, bunu yapamayız” türünden değerlendirmeler, Türkiye toplumunu ikinci sınıf olarak damgalayıp, öyle kalmaya mahkum eden aciz yaklaşımların ürünü olmaktan öteye geçmiyor. “Teknoloji transferi ve özümsemişi”ne gelince, bu biraz farklı.

**Teknoloji transferi:** Öncelikli amacı güvenli ve ekonomik bir şekilde ticari elektrik üretmek olan yüzlerce MW gücündeki bir reaktörün, nükleer teknolojiyi geliştirme çabalarının ön cephe laboratuvarı olabirmiş gibi algılanmaması lazım. Ne de olsa, teknoloji bir bütündür. Belli bir alandaki hızlı gelişme çabaları, geri kalmış diğer bileşenlerin gadrine uğrayabiliyor. Nükleer enerji üretiminin ise, maceralara hiç tahammülü yok. Bu, nükleer teknolojide yetkinlik kazanma niyetinden vazgeçilmesi gerektiği anlamına gelmiyor. Türkiye’nin, pek çok diğer teknoloji alanında olduğu gibi, bu alanda da, önder ülkelerin geçmişte yürümüş olduğu yolu biraz çiğnemesi gerektiğini söylemek mümkün. Bu bağlamda işe, örneğin grafit veya ağır su yavaşlatıcılı, doğal uranyumla çalışan bir araştırma reaktörünün yerli inşasıyla başlamak mantıklı görünüyor. Kısacası, teknoloji geliştirme çabalarını, ta ki güven garantileyici düzey başarılarına dek, ticari etkinliklerden ayrı tutmak lazım. Türkiye’nin, bir nükleer santral projesinin ağırlıklı bölümünü oluşturan inşaat ve montaj sektöründe saygın birikimi var. Programın ilk aşamalarda bunlara ağırlık verilebilir.



**Proje biçimi:** Kamu uzun bir zamandır, enerji üretiminden çekilme sürecine girmiş durumda. Sürecin ağır fatu-ralarının büyük bir kısmı ödendi. Bu süreci şimdi frenlememek lazım. Dolayısıyla, nükleer santral projesinin ağırlıklı olarak, bir özel sektör konsorsiyumunun önderliğinde gerçekleştirilmesi yerinde olur. Böylelikle, ilgili kamu kuruluşları denetim görevlerini daha bağımsız bir şekilde yürütebilecek, kendi elini taşın altına sokmuş bulunan özel sektör de, bu açıdan üzerine düşeni memnuniyet ve zaruretle yerine getirecektir. Ancak tabii, bu durumda, öze sektörün 'lisans altında çalışma alışkanlığı' nedeniyle, teknoloji transferine yönelik çabalar zaafa uğrayabilir. Projenin gerçekleştirilme aşaması ve sonrasındaki 'kamu-özel sektör işbirliği çerçevesi'ne gelince, bu; taraflar arasında halen sürdürülen diyalogun konusu. Henüz belirlenmemiş olan ayrıntılarına girmek mümkün değil. Ama oluşturulmasına çalışılan yaratıcı formüller ümit verici.

**Yer seçimi:** Bir nükleer enerji programının arefesinde olduğunu açıklayan bir ülkenin, lisanslı tek bir santral yerinin olması, en azından hazırlıksız yakalanmak. Mersin-Akkuyu'daki bu yerin, ciddi girişimlerin başlatıldığı yönünde işaretlerin verildiği bir sırada, halen yer lisansı olmayan Sinop'a kaydırılması ise, alelacele bir programın oluşturulmaya çalışıldığı izlenimini uyandırıyor. Çünkü, yerin önceden belirlenip lisansın sonradan verilmesini, olağan karşılamak zor. Nitekim kamuoyunda, "lisanssız bir yer seçilerek, ilk gecekondur nükleer santral mı kurulacak" şeklinde eleştiriler duyuluyor. Sinop'un, gecikmiş olan lisanslama sürecinin bir an önce tamamlanmasına paralel olarak, 'yer belirleme' çalışmalarının genişletilip, lisanslı yer sayısının arttırılması lazım. Nitekim, bu yönde yoğun çalışmalar sürdürülmekte. Öte yandan, Mersin-Akkuyu, lisanslandığı zaman 1. dereceden turistik bölge değildi. Hala da değil. Yakın bölge turizmini olumsuz etkileyeceği yönündeki görüşlere katılmış görünmek, nükleer santralların uzak durulması gereken tehlikeli tesisler olduğu savını baştan kabul anlamına geliyor. Gerçi yer seçimi konusunda yaşanmış olan ikilemler, tamiri imkansız çatlaklar değil. Fakat, iyi hazırlanmış net bir programın,

güvenli adımlarla uygulanmakta olduğu izlenimi önemli. Halbuki şimdi, Akkuyu'da yıllardır yapılmış olan hazırlıkların, nükleer karşıtı grupların yöredeki etkinlikleri sonucunda terk edilmiş olduğu kanısı yaygın. Tabii ki, karşılıklı ikna süreçlerinin çalıştırılması, yöre halkıyla diyaloga önem verilmesi lazım. Fakat bunu yaparken, devletin dizlerinin titriyor görünmemesi de... Çünkü, "benim arka bahçemde değil" psikolojisinin ('Not In My Back-Yard', NIMBY) yayılması, yönetim erkini sıkıntıya sokar. Nitekim, benzeri karşı çıkışlar şimdi de Sinop üzerinde yoğunlaşmış halde. Bu tartışma süreçleri doğal, her zaman olacak.

**Atık yakıtlar:** Atık yakıt sorunu kamuoyu nezdinde, nükleer enerjinin ana sorunlarından birisi olarak algılanıyor. Halbuki, kabul edilebilir çözümler yok değil; var. Nitekim, Finlandiya, düşük ve orta düzeyli radyoaktif atıkları için yeraltı depolama sistemini oluşturmuş halde, 1992'den beri kullanıyor. Yüksek düzeyliler için daha derin bir galeri sisteminin, 2012'de inşasına, 2020'den itibaren de kullanımına başlamayı planlamakta. ABD, benzeri 'Yucca Dağı tasarımı'nda kararlı. Türkiye ise bu konuda şimdiden, hiç değilse ön çalışma niteliğinde alternatif bazı tasarımlar oluşturmaya başlayabilir. Bilindiği üzere, atık yakıtlar yeniden işlemeye tabi tutulsa bile, bu işlemi yapan ülkelerin, yabancı kaynaklı radyoaktif atıkların kendi toprakları üzerinde depolanmasına karşı yasaları var. Oluşacak atıklarla ne yapılacağı sorununun yanıtsız kalması, kullanılmış yakıt çubuklarının reaktör alanında geçici depolanmasına sürekli çözümmüş gibi bakıldığı izlenimini uyandırmakta. Programın giderilmesi gereken eksik bileşenlerinden birisi de bu.

**Uluslararası ilişkiler:** Bu açıdan, Türkiye'nin nükleer teknolojiye yönelme kararının, yalnızca enerji üretimi amacından kaynaklandığı konusunda en ufak bir kuşkunun dahi doğmasına meydan verilmemesi lazım. NPT üyesi bir ülke olarak Türkiye'nin hakları ve sorumlulukları malum. Hakları açısından tedirginliğe gerek olmadığı gibi, sorumluluklarına karşı her zaman göstermiş olduğu titizliğin de özenle devam ettirilmesi büyük önem taşıyor. Onca gecikmeden sonra, girişimin zamanlama açısından maalesef, uluslara-



rası dikkatlerin İran'ın çelişkili sinyaller veren nükleer programının üzerinde odaklandığı bir döneme rast geldi. Ülke kamuoyunda nükleer enerjiyi, nükleer güç edinmeye yönelik bir sıçrama tahtası olarak algılayanların az olmadığı kanısıyla, şu notu düşmekte yarar var: Bir ülkenin nükleer enerji üretimine başlaması, Dünya'ya bir güç yansıtır, bu doğrudur. Giderek, nükleer silah edinmesi, yansıtılan gücü misliyle katlar; bu da doğru. Fakat bir ülke için, güç yansıtmak açısından, bundan çok daha saygın ve etkin bir konum daha var. O da, nükleer teknolojiye tümüyle hakim olup, silah yapmama: Hollanda, İsveç, Almanya, Japonya, Belçika, Kanada örneklerinde olduğu gibi. Hatta Güney Afrika, ürettiği nükleer başlıkları yok etti. Bizim ülke olarak yıllar önce ortaya konmuş, ama sanki bugünler için söylenmiş olan rehber bir ilke var zaten: "Yurtta sulh, cihanda sulh."

İnsanlar gibi toplumlar da, neleri düşünüyor, neleri teneffüs ediyorlarsa odurlar. Bizim de kendimizi; üretime, bilim ve teknolojiye, çocuksu bir tutkuyla kaptracağımız günlerin yakın olması dileğiyle...

Prof. Dr. Vural Altın  
Bilim ve Teknik Dergisi Yayın Kurulu Üyesi

#### Kaynaklar

- Vizyon2023 Teknoloji Öngörüsü Projesi, Enerji ve Doğal Kaynaklar Paneli Raporu, TÜBİTAK, Ocak 2003.
- Birincil Enerji Kaynakları Üretimi, ETKB, <http://www.enerji.gov.tr/enerjiuretimi.htm>
- Birincil Enerji Kaynakları Üretimi, ETKB, <http://www.enerji.gov.tr/enerjiuretimi.htm>
- Hidroelektrik Santraller, EIE Projeleri, Şubat 2006.
- Doğal Gaz Anlaşmaları, BOTAŞ, [http://www.botas.gov.tr/dogalgaz/dg\\_alim\\_ant.asp](http://www.botas.gov.tr/dogalgaz/dg_alim_ant.asp)
- Doğal Gaz Arz ve Talep Senaryoları, BOTAŞ, [http://www.botas.gov.tr/dogalgaz/dg\\_arztaleb\\_sen.asp](http://www.botas.gov.tr/dogalgaz/dg_arztaleb_sen.asp)
- MIT 2003 The Future of Nuclear Power: An Interdisciplinary MIT Study, Massachusetts Institute of Technology, 2003.
- 21. Yüzyıla Giderken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi, TÜSİAD Enerji Raporu, <http://www.tusiad.org/turkish/rapor/enerji/html/index.html>
- Generation IV Nuclear Energy Systems Initiative, Office of Nuclear Energy, Science and Technology U. S. Department of Energy, February 2004.
- Country Analysis Briefs, Turkey, EIA, H

# Türkiye'nin Bilim Çeşmesi:

## www.biltek.tubitak.gov.tr

# Yenilendi!

**BİLİM  
TEKNİK**  
DERGİSİ

Bilim ve Teknik Kulübü Bilim&Teknik Dükkanı Gökbilim Fotoğraf Oyunlar Sandık Odası

**Bilim Postası**  
Bilim ve teknoloji konularında yazışmak isteyenler için

**Matematik Bir Oyundur**  
Matematiğin büyüklüğü dünyasında bir gezintiye ne dersiniz?

**Bir Buluşum Var**  
Matematik alanında kaydettiğiniz bulguları gönderin, sizin için değerlendirelim.

**Kendinizi Yapalım**  
Elektronik bilginizi ürüne dönüştürmek ister misiniz?

**Psikoloji**  
Kendinizi tanımak mı istiyorsunuz? Psikolojiye ilgi her şey...

**Sanat Sergisi**  
BİLİM ve TEKNİK sizin için ürettiği fotoğrafların sergilenmesi için **sanat fotoğrafları sergileri** düzenliyor!

**Teknoloji**  
Ayakları yere basan, uygulanabilir yaratıcı fikirler için paylaşım köşesi...

**Sonsuz Takvim**  
Doğum tarihiniz haftanın hangi gününe denk geliyor?

**Haydi Çeviri**  
Ağırlığınız kaç pound?

**Sınırsız Sayılar**  
On, yüz, bin, milyon, milyar, ya da sonsuz! Yazın, sizin için okuyalım.

**Orada Saat Kaç?**  
Dünyanın farklı yerlerinde saatin kaç olduğunu öğrenmek için

**İklimimiz Değişiyor**  
Sizce de yollar daha bir sıcak, yağışlar daha bir az, ani hava değişiklikleri daha bir artmış gibi geliyor mu? O zaman yalnız olmadığınızı bilmek hakkınız!

**Akıllı Kumalar Yaşamımızda**  
Yakın bir gelecekte, gördüğümüz ışık, üzerindeki nanosensörler sayesinde kalp atışlarımızı, vücut sıcaklığımızı, kan şekeri düzeyimizi kontrol ederek, istenmeyen bir durum olduğunda bizi ya da doktorumuzu haberdar edebilecek.

**Bilimin Kutsal Hazine**  
Bilim tarihinde insanın ilerlemesine katkıda bulunan pek çok gelişme oldu. Bu gelişmelerin andan olan nesneler bugün de hatırlanmaya değer.

**Başvuran ekipler ve kuraları için tıklayın...**  
**SON BAŞVURU**  
31 ARALIK 2006  
hidromobil 07

**DIKKAT**  
Formula-G 2007 için başvuru yapan takımların akademik danışmanlarının ad ve iletişim bilgilerini, Hidromobil 2007 için başvuru yapan takımların da Sorumlu Akademik Danışman ad ve iletişim bilgilerini 31 Aralık 2006 tarihine kadar [rast.purdilek@tubitak.gov.tr](mailto:rast.purdilek@tubitak.gov.tr) adresine göndermeleri gerekmektedir. Akademik danışmanlarını bildirmeyen takımların başvuruları kabul edilmeyecektir.

**SON BAŞVURU**  
31 ARALIK 2006  
Fotografılar, Başvuru koşulları, Başvuran Takımlar, Kurallar, ve diğer ayrıntılar için tıklayın.

**Merak Ettikleriniz**  
■ Simbiyöz ilişkiler lise ders kitaplarında, beslenme ilişkileri başlığı altında yer almaktadır. Sizce türler arası ilişkilerde ele alınması daha doğru olmaz mı? (Şeref Ünlü) [tıklayın...](#)  
■ RNA virüsleri nelerdir? Nasıl çoğalırlar? (Seda Avaz) [tıklayın...](#)  
■ Solunum yapmayan canlı var mı? (Sait Şimşek) [tıklayın...](#)

**Bilim ve Teknoloji Haberleri**  
■ Yabancı Güneşte Dev Parlama  
İyi ki Güneşimiz yavaş yavaş başını almasın, kararı bir yıldız. Arada sırada tepesi atmıyor değil. Ama "parlama" dediğimiz bu güç gösterileri, 135 ışık yılı uzaklıkta kendinden daha küçük bir komşusunda meydana gelen...

**EN ÇOK MERAK EDİLENLER**  
(Cevaplar için, üzerlerine tıklayınız)

**Atom Bombası**  
Nasıl yapılır?

**Beynimin % kaçını kullanıyorum?**

**CAM**  
Katı mıdır?

**Kuş gribi NEDİR?**

**Boyum daha Uzar mı?**

**Genel görecilik**

**Özel görecilik**

**F**

**Einstein'ın kütleçekim kuramı**

**Einstein'ın göre ışık, zaman**

**Sürtünme kuvveti NEDİR?**

**Devr-i daim makineleri neden çalışmaz?**

**KENeden ne kadar korkmalıyız?**

**Bilgi Paketleri**  
Ders kitaplarında okuduğunuz zihninizde canlandıramıyorsanız Bu köşe sizin için...

**Dünyamız**

**Örme**

**Hücreye Yolculuk**

**Genler ve DNA**

**Klonlama**

**Canlılar Dünyası**

**Periyodik Tablo**

**Temel Kimya**

**Ekosistem**

**Jeolojik Devirler**

**Robotik**

**Maddenin Yapısı**

**Nerede Ne Var?**  
Üniversitemizin İktisadi Kurum ve Kuruluşlarının, demek, vakıf ve meslek odalarının düzenlediği etkinlikler.

**Bilim İnsanları**  
Tarih boyunca bilime katkı yapanlar... Geçmiş ve günümüz Türk bilim insanları...

**Poster ve Kitapçıklar**  
Bilim ve Teknik Dergisi'nin eki olarak verilen Poster ve Kitapçıklar.

**Hava Durumu**  
Türkiye Hava ve Toz Raporu Resmi Web Sayfasından sizler için...

**Mesaj Panosu**  
Birbirine ilemek