

TÜRKİYE 2003 ENERJİ VİZYONU

Prof. Dr. VURAL ALTIN

ÖZET

Bu bildiri, Enerji ve Doğal Kaynaklar Paneli tarafından hazırlanmış bulunan bir enerji teknolojileri öngörü raporunun özet sunumudur. Panel, TÜBİTAK koordinasyonunda, “teknolojik gelişmeleri toplumsal ve ekonomik faydaya dönüştürme yeteneği kazanmış bir refah toplumu yaratmak” hedefine odaklı olarak yürütülen Vizyon 2023 çalışmaları içerisinde yer alan ‘Teknoloji Öngörü Projesi’ kapsamında, alanıyla ilgili stratejik teknoloji alanlarının saptanarak önceliklendirilmesiyle görevlendirilmiş olan panellerden birisidir. Panelin çalışmaları, TÜBİTAK tarafından belirlenip sunulmuş olan ‘Panellerin Görev Tanımı’ çerçevesine uygun bir şekilde yürütülmüş ve bir sonuç raporu hazırlanmıştır.

Panel 14.08.2002 tarihinde başlayıp, sonuç raporunun teslim edildiği 24.07.2003 tarihine kadar sürdürdüğü faaliyetleriyle; dünya geneli için bir enerji değerlendirmesi yaptıktan ve Türkiye için bu alanda bir durum tesbitinde bulunduktan sonra, ülkemiz için 2023 yılına yönelik bir enerji vizyonu önermiştir. Daha sonra, bu 20 yıllık vizyonu erişilebilir kılacak sosyoekonomik hedeflerle, bu hedeflerin gerçekleştirilmesi için yetkinlik kazanılması gereken teknolojik faaliyet konularını ve bunları destekleyen teknoloji alanlarını belirlemeye, bir yandan da bu vizyonun gerçekleşmesi açısından Türkiye’nin taşıdığı güçlü ve zayıf yanlarla, önünde bulunan tehditlerle fırsatları ortaya koymaya çalışmıştır.

1. DÜNYA GENELİ

1999 yılı itibarıyla, dünyadaki 6 milyar insanın enerji tüketim hızı, yılda 420 EJ’u ($\text{Exa Joule}=10^{18}\text{J}$) aşmış bulunuyor. Bu tüketimin %68’i, dünya nüfusunun %15’ini oluşturan sanayileşmiş ülkelerin 0.9 milyar insanı, kalan %32’si ise, dünya nüfusunun %85’ini oluşturan gelişmekte olan ülkelerin 5.1 milyar insanı

tarafından gerçekleştirilmiş. Dolayısıyla kişi başına ortalama tüketim, 63 GJ kadar. Fakat bu rakam gelişmiş ülkeler için 250, dünya nüfusundaki %5'lik payıyla enerji tüketiminde %25 paya sahip olan ABD için 400 GJ'ü buluyor. Sonuç olarak, dünya nüfusunun %85'i, kişi başına yılda ortalama sadece 25 GJ (Türkiye'de 54 GJ) tüketiyor.

1999 yılı itibariyle 8.58 milyar ton petrol eşdeğeri enerji tüketilmiş ve bu tüketimin %75'i fosil yakıtlardan sağlanmış bulunuyor. Petrol, doğalgaz ve kömürün payları sırasıyla %39.4, %23.0 ve %22.4. 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.

Tablo 1.1: Dünya birincil enerji arzının kaynaklara göre dağılımı (2000)

	Dünya	ABD ve Kanada
Toplam birincil enerji arzı (mtep)	9,200	2,600
Yaklaşık %paylar: petrol	39	38
Kömür	26	22
Doğal gaz	23	24
Hidrojen	2	2
Nükleer	7	9
Güneş, rüzgar, jeotermal ve diğer	3	4

(Kaynak: 'World Energy Outlook, 2002, IEA')

Birincil enerji üretiminin yaklaşık %30'u elektrik üretiminde kullanılmış ve üretilen 12.5 trilyon kWh elektriğin yaklaşık %80'i, %15 nüfus payına sahip olan sanayileşmiş ülkelerde, %28'i ise, %5 nüfus payına sahip olan ABD'de tüketilmiş.

Tüketilen birincil enerjinin %25 kadarı, petrolünse yarıdan fazlası dış ticarete konu teşkil ederken, fosil yakıt olarak yılda yaklaşık; 5.1 milyar ton kömür, 3.1 milyar ton petrol, 2.4 trilyon metreküp doğalgaz tüketiliyor. Bu üç fosil yakıt halen dünya birincil enerji tüketiminin %85'ini, ticaretinin de %90'ını sağlıyor. Özetle insanlık, sanayi devrimiyle birlikte ve 1850'li yıllardan itibaren girmiş bulunduğu 'fosil yakıt çağı'nda emin adımlarla ilerliyor ve 20. yüzyılda, daha önceki tüm zamanlarda tükettiğinin 10 katı kadar enerji tüketmiş bulunuyor.

TABLO 3-TÜRKİYE ELEKTRİK ENERJİSİ TALEP PROJEKSİYONU ve YENİLENEBİLİR KAYNAK KULLANIMI (*)

Yıllar	Birim	TOPLAM	TOPLAM	DİĞER KAYNAKLARDAN ELEKTRİK ÜRETİMİ								↓	YENİLENEBİLİR KAYNAKLI			
		TALEP TAHMINİ	ÜRETİM TAHMINİ	TOPLAM	TERMİK KAYNAKLAR (→)					Hidrolik	ELEKTRİK ÜRETİMİ					
					TOPLAM	Linyit	İth. Kömür	Petrol	Ür. Doğal Gaz		Hidrolik	Hidrolik	Rüzgar	Toplam		
2005	Miktar (GWh / yıl)	180.000	180.000	163.900	119.400	41.100	6.700	12.700	58.900	44.500	55.000	10.500	5.600	16.100		
	Konuğu Güç (MW)	37.000	44.400	39.500	29.305	10.087	1.844	3.117	14.456	10.595	13.095	2.650	2.000	4.650		
2006	Miktar (GWh / yıl)	205.000	205.000	181.800	131.340	50.473	6.700	12.700	61.467	50.460	63.860	13.400	9.800	23.200		
	Konuğu Güç (MW)	42.800	51.360	44.660	32.810	12.763	1.844	3.117	15.086	12.050	15.250	3.300	3.500	6.700		
2007	Miktar (GWh / yıl)	230.000	230.000	202.400	146.080	52.018	10.694	16.298	67.171	56.320	72.720	16.400	11.200	27.600		
	Konuğu Güç (MW)	48.100	57.720	49.020	36.427	13.341	2.600	4.000	16.486	13.393	17.293	3.600	4.000	7.900		
2008	Miktar (GWh / yıl)	260.000	260.000	227.800	165.820	55.160	18.742	18.335	73.283	62.280	81.580	19.300	12.900	32.200		
	Konuğu Güç (MW)	54.400	65.280	55.000	41.236	14.150	4.800	4.500	17.986	14.844	18.444	4.600	3.200	7.800		
2009	Miktar (GWh / yıl)	280.000	280.000	243.100	174.960	54.448	20.220	20.898	79.394	68.140	90.440	22.300	14.600	36.900		
	Konuğu Güç (MW)	58.800	70.560	60.060	43.865	14.150	5.129	19.486	16.195	21.495	26.300	3.200	2.000	5.600		
2010	Miktar (GWh / yıl)	300.000	300.000	258.800	184.700	55.203	21.211	22.780	85.506	74.100	99.300	25.200	16.000	41.200		
	Konuğu Güç (MW)	63.100	75.328	64.020	46.377	14.450	5.350	5.591	20.986	17.643	23.643	5.000	5.700	11.700		
2011	Miktar (GWh / yıl)	320.000	320.000	274.500	194.540	55.740	24.402	22.780	91.618	79.960	108.160	28.200	17.300	45.500		
	Konuğu Güç (MW)	67.400	80.880	67.980	48.967	14.750	5.655	5.591	22.486	18.998	25.698	6.700	2.200	12.900		
2012	Miktar (GWh / yıl)	340.000	340.000	289.700	204.280	56.229	26.385	23.937	97.729	85.420	117.020	31.600	18.700	60.300		
	Konuğu Güç (MW)	71.700	86.040	71.840	61.566	15.050	5.855	5.875	23.986	20.274	27.774	7.600	6.700	14.300		
2013	Miktar (GWh / yıl)	360.000	360.000	304.900	213.920	56.994	29.160	23.937	103.829	90.980	125.880	34.900	20.200	55.100		
	Konuğu Güç (MW)	76.000	91.200	75.700	64.063	15.350	7.355	5.875	25.463	21.837	28.837	8.300	7.200	15.500		
2014	Miktar (GWh / yıl)	380.000	380.000	320.200	223.760	57.366	31.689	24.764	109.940	96.440	134.740	38.300	21.500	59.800		
	Konuğu Güç (MW)	80.400	96.480	78.000	66.760	15.650	8.055	6.078	26.983	22.914	32.014	9.700	7.700	18.800		
2015	Miktar (GWh / yıl)	400.000	400.000	335.400	233.400	58.113	33.696	25.679	116.092	102.000	143.600	41.600	23.000	64.600		
	Konuğu Güç (MW)	84.700	101.840	83.540	70.780	15.960	8.355	6.278	28.483	24.274	34.174	10.800	9.200	18.100		
2016	Miktar (GWh / yıl)	420.000	420.000	350.600	243.140	58.625	35.623	26.728	122.164	107.160	152.160	45.000	24.400	69.400		
	Konuğu Güç (MW)	89.000	108.920	87.400	71.048	16.250	8.655	6.560	29.963	25.552	36.252	11.500	10.300	19.400		
2017	Miktar (GWh / yıl)	445.000	445.000	372.100	257.880	59.607	41.308	28.790	128.275	114.220	161.320	47.200	25.800	72.900		
	Konuğu Güç (MW)	94.300	113.160	92.700	75.509	16.550	10.500	7.068	31.483	27.181	38.381	12.300	11.200	20.400		
2018-2020 Ortalama		470.000	470.000	395.500	282.400	60.856	43.900	30.000	134.500	119.000	170.000	50.000	28.000	78.000		
2020-2025 Ortalama		500.000	500.000	420.000	300.000	65.000	48.000	33.000	145.000	125.000	185.000	55.000	30.000	85.000		

Şekil 1: Dünya birincil enerji arzı. 1850-1999

Birincil enerji kaynakları arzı, mali tutar olarak 1.5 trilyon doları aşıyor ve dünya genelinde, ülkelerin GSMH'lerinin yaklaşık %6-7'sini oluşturuyor. Öte yandan dünya kurulu enerji arz sisteminin yatırım değeri, 10 trilyon doların üstünde ve yenilenme süresi yaklaşık 30 yıl. Dolayısıyla enerji ticareti ve ilave yatırımlarının yıllık değeri, 2 trilyon doları aşıyor. Enerji tüketen ekipman da bu resme dahil edildiğinde, sözkonusu rakamlar misliyle katlanıyor ve tüm sektörler vazgeçilemez bir girdi sağlayan bu sektör, ekonomik gelişmelere paralel olarak büyüyor. Dolayısıyla enerji, hem dünya genelinde hem de ülkeler bazında, ekonomik büyüme için olduğu kadar, barışın tesisi açısından da stratejik bir öneme sahip bulunuyor.

Bu yüzyılın ikinci yarısına kadar; dünya nüfusunun hiç artmadığı, gelişmiş ülkelerin kişi başına tüketimlerini yarıya indirdiği, dünyanın kalan kısmının onları yüz yıl geriden takiple ve yıllık ortalama %4.7 büyüme hızıyla yakaladığı varsayılacak olsa, dünya enerji üretiminin şimdiki 420 EJ'dan, 2050 yılına kadar %80 artarak 750 EJ'a çıkması gerekiyor. Daha gerçekçi görünen bir başka senaryoya göre ise; dünya ekonomisinin yılda ortalama %3 büyüdüğü, ekonomilerin enerji yoğunluğunun yılda ortalama %1 azaldığı varsayımıyla, dünya enerji talebi 2023 yılına kadar %54 kadar artarak, 650 EJ'a ulaşmış olacak. Bu artışın en büyük kısmı, %60'tan fazlası, geçmiş 150 yıldakinden farklı olarak, Asya, Afrika ve Güney Amerika'nın gelişmekte olan ülkelerinde yer alacak. Dünya nüfusunun %80'ini oluşturan ve enerji arzının üçte birini tüketen bu ülkelerin çoğu sanayileşmelerini, tıpkı Kuzey ülkelerinin daha önce

yaptığı gibi, fosil yakıtlara dayandırmayı planlıyor. Dolayısıyla 2023 yılı civarında bu ülkelerin, toplam enerji tüketiminde ve karbondioksit emisyonlarında, sanayileşmiş ülkeleri geçmesi bekleniyor.

Ekonomilerin fosil yakıt yoğunluğunun şimdiki eğilimler çerçevesinde, yılda %0.2-0.4 civarında azalması halinde, bu yakıtlar 2023 yılına kadarki artışın %95'ini karşılayacak ve o zamanki talebin üçte ikisini sağlıyor olacak. Buna rağmen 1960'larda hakim olan 'kaynaklar tükeniyor' endişesi azalmış durumda. Çünkü dünyanın '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. Öte yandan 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. Enerji fiyatlarının ekonomikliği ve temin güvenliği açılarından ise, arz ve talep dengeleri çok parametrelili dinamik süreçler izliyor.

Kömüre olan talep, hızla doğal gazla yönelen batılı ülkelerde azalırken, başta Çin ve Hindistan olmak üzere, gelişmekte olan ülkelerde artacak. 2023 yılına kadar beklenen net talep artışı, 1.5 milyar ton miktarla %40 olacak. Ancak kömürün arzı esnek. Dolayısıyla, beklenen talep artışını, ciddi fiyat artışları yaşanmaksızın, rahatlıkla karşılayabilecek.

Çok kullanışlı ve çok amaçlı bir yakıt olan petrolde ise durum sıkıntılı. Çünkü dünya petrol talebinin %1.6 ortalama yıllık artış hızıyla, 2000 yılındaki 75mv/g veya 3,500 mt/y düzeyinden, 2030 yılında 120 mv/g veya 5,600 mt/y düzeyine ulaşması bekleniyor. Halbuki, petrol için üretim platosu 2020'lerde başlıyor ve arz esnekliğini kaybediyor. Talepse katı; çünkü petrol tüketiminin önemli bir kısmı ulaştırma ile petrokimya sektörlerinde ve bu sektörler fiyatlara fazla duyarlı değil. Öte yandan ulaştırma sektörü dünya genelinde, enerji talebi açısından ortalama yıllık %2.2 oranla, en hızlı büyüyen sektör. 2020 yılına kadarki talep artışının dörtte üçünden sorumlu olacak ve bu tarihten sonra en büyük son kullanıcı haline gelecek. Kullandığı yakıtın ise hemen tamamı petrol ürünlerinden oluşuyor. Dolayısıyla, petrol fiyatlarında 2020'lerden sonra ciddi artışlar beklenebilir.

Dünya petrol rezervlerinin üçte ikisi, Orta Doğu'da bulunuyor ve ihracata konu olabilecek üretim fazlası esas olarak hala, OPEC'in Orta Doğulu üyelerinin elinde.

Siyasi istikrarsızlık taşıyan Körfez ülkeleri halen, dünya petrol ihracatının yarısını sağlıyor ve 2023 yılı civarında bu oranın, %75'e çıkması bekleniyor. Dolayısıyla bu bölge, jeopolitik ilgi ve dengeler açısından hassasiyetini koruyacak. Öte yandan, gelişmekte olan ülkelerin petrol taleplerindeki olası hızlı büyümelerin, petrol piyasalarının uluslararası güvenlik boyutlarını daha da karmaşıkleştirması kaçınılmaz görünüyor. Örneğin Çin 1993 yılından itibaren, petrol ihraç eden bir ülke olmaktan çıkıp, petrol ithalatına başlamış durumda ve halen günde 600,000 varilden fazla petrol ithal ediyor. Bu rakamın 2010'da kolaylıkla 3 milyonu bulması, 2025'te ise 10 milyona ulaşarak, ABD'nin şimdiki ithalat düzeyini aşması mümkün görülüyor. Artan petrol bağımlılığı Çin'i, dış politikasını ve savunma perspektifini değiştirmeye, geniş petrol ve doğal gaz rezervleri barındırdığına inanılan Güney Çin Denizi alanları üzerindeki hak iddialarını daha güçlü biçimlerde dile getirmeye zorlayabilir. ABD'nin talep ve ithalat tahminleri ise, geçmişe oranla olumsuz geliyor. Dolayısıyla, Kafkaslar ve Orta Asya'daki petrolün dünya piyasalarına bir an önce bağlanması, olası gerginlikleri hafifletebilmek açısından önem taşıyor.

Doğal gaz, petrol üzerindeki bu 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 veya petrole dayalı olanlardan daha yüksek. Doğal gaz talep tahminleri 2020'ye kadar her yıl %3.2 artarak, 4.6 trilyon metre-küplük bir hacme veya dünya enerji talebinde %25'lik bir paya ulaşıyor ve bu artışın %60'ından doğal gaza dayalı güç santrallerinin sorumlu olacağı sanılıyor. Yoldaki kapsamlı üretim projeleri eğer zamanında gerçekleştirilebilirlerse, bu talebe yanıt verebilecekler. Bağlantılar 20-25 yıl gibi uzun vadelerle yapıldığından, fiyatlarda 2020'lere kadar diğer fosil yakıtlarinkine bağlı olarak, fakat petrolünkine oranla daha fazla istikrar bekleniyor. Ondan sonrası, üretim platosuna girilmiş olduğundan, alternatif kaynakların fiyatlarına bağlı. Yakın rakibi petrole endeksli olduğu için, doğalgazda reel olarak hafif artışlar beklenebilir.

Hidro ve diğer yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektrik üretiminin, 2020'lere kadar her yıl %2 artması, buna rağmen bu kaynakların toplam enerji tüketimi içindeki payının şimdiki %9'dan %8'e, hatta bazı tahminlere göre %4'e inmesi bekleniyor. Bu eğilim ancak, kamu müdahalesi ve sübvansiyonlar aracılığıyla değiştirilebilir nitelikte olup; bu durumda da, 2020 yılında payları %12'ye kadar çıkartılabilecek (Türkiye'de halen %13). Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimindeki artışın büyük kısmı, Çin ve Hindistan gibi gelişmekte olan Asya ülkelerindeki

büyük hidroelektrik santralleri şeklinde. OECD ülkelerinde ise aynı dönemde, başta rüzgar ve biyokütle olmak üzere, hidro dışı yenilenebilir kaynakların, hem de yılda ortalama %3.3 gibi yüksek oranlarla artması hedefleniyor.

Nükleer santrallardan elde edilen elektriğin ise; şimdiki 2.4 TWh'dan, 2015'e kadar 2.6 TWh'a çıkması, bundan sonra 2020'ye kadar hafifçe azalması ve sonuç olarak, dünya birincil enerji ve toplam elektrik üretimindeki paylarının, 2000'de %7 ve %17 iken, 2030'da %5 ve %9'a düşmesi bekleniyor. Başlangıçtaki artışın nedeni, gelişmekte olan ülkelerdeki kapasite genişlemesi. Sonraki azalmanın nedeniyse gelişmiş ülkelerin, kamuoyu baskısı karşısında, eskiyen nükleer santrallerini devre dışı bırakıp, üzerinde çalışılan yenilikçi tasarımlar olgunlaşana kadar 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 davranabiliyor. Çünkü nüfusları fazla artmıyor ve enerji piyasaları belli bir doyuma ulaşmış durumda. Hatta bazı sektörlerde gerileme var.

Halbuki dünya nüfusunun, gelişmekte olan ülkelere yaşıyan dörtte birinden fazlası halen elektrikten yoksun. Çeşitli üretim imkanlarını da beraberinde getiren bu enerji türünün gelişmekte olan ülkelere kullanımının hızla artması gerekiyor. Bu nedenledir ki, dünya elektrik tüketiminin yılda ortalama %2.4 artarak, 2030 yılına kadar iki misline katlanması, toplam enerji tüketimi içindeki payının %18'den %22'ye ulaşması bekleniyor. Buna rağmen 2030'da 1.4 milyar insan hala elektrik kullanamıyor olacak.

Kısacası, yüzyılın ilk yarısı için dünya enerji arzında yetersizlikler beklenmemekle beraber, temin güvenliği ve fiyatların ekonomikliği açılarından ciddi belirsizlikler var. Yüksek enerji fiyatlarının zararı ise, gelişmiş ülkelere çok gelişmekte olanlar üzerinde yoğunlaşıyor. Çünkü bu ülkeler, gelirlerinin daha büyük bir kısmını enerjiye harcıyorlar ve artan enerji faturasını karşılamak veya enerji verimliliğini arttıracak yatırımlar açısından kapasiteleri sınırlı. Hem de, ekonomik durgunluktan daha ağır etkileniyorlar. Öte yandan, arz yeterliliği, fiyat istikrarı ve temin güvenliği sorunları aşılabilsede dahi, bir de fosil yakıt bağımlılığının yol açtığı yerel, bölgesel ve küresel çevre sorunları var.

Dünya genelinde enerji kaynaklı olarak atmosfere, 1999 yılında 6.144 milyar ton karbon eşdeğeri, yani 22.5 milyar ton karbondioksit salınmış bulunuyor. Petrol, kömür ve doğal gazın payları %44, 35 ve 21. Ülke bazında ABD, Çin, Rusya, Japonya

ve Hindistan bu alanda ilk beşi oluşturuyor ve toplam emisyon hacminin %51'inden sorumlular. Arkadan gelen beşli, toplam %12 payla; Almanya, İngiltere, Kanada, İtalya ve Fransa. Bu emisyonlar, eğer hakim beklentiler gerçekleşecek olursa; 2010 yılında 7.8, 2020 yılında da 9.8 milyar ton karbon eşdeğerine yükselecek. Gelişmekte olan ülkelerin payının ise; ilk onyıldaki artışta %81, ikinci onyılda %76 olacağı tahmin ediliyor. Halbuki Kyoto Protokolü ve uzantıları çerçevesinde, bu emisyonların sınırlandırılması gerekiyor. Gerçi protokol hükümlerinin henüz bağlayıcı bir yönü yok, fakat başta Almanya olmak üzere önde gelen AB ülkeleri, öngörülerinin gerçekleştirilmesi konusunda kararlı görünüyor.

Bu değerlendirmelerin ışığında, önümüzdeki 20 yıllık dönem itibariyle, dünya enerji sektöründeki olası gelişme ve değişimler şöyle özetlenebilir:

- Dünya genelinde hakim olan, ekonomik büyüme yoluyla refahın artırılıp yaygınlaştırılması yönündeki ihtiyaç ve kararlılık, dünya birincil enerji arzının %1.7 gibi, geçmiş 30 yıldakinden (%2.1) daha mütevazı bir ortalama yıllık büyüme hızıyla, 2023 yılına kadar %40'tan fazla arttırılmasını gerektiriyor.
- Bu artışın %85'e yakınının fosil yakıtlar tarafından sağlanması gerekeceği yönündeki öngörüler; her ne kadar 'tükenecek' endişeleri yüzyılın sonuna ertelenmiş olsa da, enerji piyasalarının istikrarlı bir seyir izleyebilmesi açısından; başta petrol ve doğal gaz olmak üzere, bu yakıtların bilinen rezervlerinin genişletilmesi ve son kullanım verimliliklerinin yükseltilmesi ihtiyacını doğuruyor.
- İhracata konu olan ihtiyaç fazlası petrolün halen %50'sini sağlamakta olan OPEC'in Orta Doğulu üyelerinin payının, dönem boyunca artarak %75'e çıkması gerekeceği yönündeki tahminler, bölgenin stratejik önemini ve istikrar ihtiyacını giderek artırıyor. Kuzey Denizi ve ABD'deki petrol üretimi azalır ve buna paralel olarak gelişmiş ülkelerin petrol ithalatı artarken, Çin gibi hızlı büyüyen ekonomilerin ithalat taleplerinin 2020 yılına kadar günde 10 milyon varil düzeylerine ulaşacak olması ihtimali, piyasalardaki rekabetin sertleşeceği ve uluslararası güvenlik risklerinin artacağı yönünde ciddi endişelere yol açıyor.
- Aynı dönem içinde doğal gaz üretiminin de yaklaşık ikiye katlanması bekleniyor; üretimin yaklaşık üçte birinin ESB¹ ülkelerinde olacağı, kalanın diğer bölgelere dağılacığı tahmin ediliyor.

¹ Eski Sovyetler Birliği ülkeleri

- Bugünkü tüketim düzeyi temel alındığında 200 yıllıktan fazla bir rezerv potansiyeline sahip olan kömürde ise bir sorun yaşanması beklenmiyor.
- Ancak petrol ve doğal gaz fiyatlarında kömürden farklı olarak, 2010’lu yıllardan itibaren artış olacağı tahmin ediliyor.
- Enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve kullanımda olanların yedeklenmesi arayışı, uluslararası enerji bağımlılığının ve bu nedenle doğabilecek gerginliklerin azaltılması açısından da zorunlu görülüyor.
- Mevcut enerji arz sisteminin bakımı, onarımı, işletmesi ve hacminin büyü-tülmesi için gereken yatırımlar yılda 1 trilyon doları aşıyor ve bu durum; ilgili taahhüt, temin ve montaj sektörlerinde yoğun bir uluslararası pay alma yarışının yaşanacağına işaret ediyor. Yeni arz tesisi yatırımlarının büyük bir kısmının gelişmekte olan ülkelerde planlanıyor olması, gelişmiş ülkelere bu ülkelere büyük miktarda kredi akışı gerektiriyor.
- Değişen koşulların ve politikaların tetikleyeceği sinyallere daha dinamik şekil-lerde yanıt verilebilmesi için, piyasaların kademeli olarak serbestleştirilmesi suretiyle, enerji sektöründeki mevcut ataletin azaltılması hedefleniyor.
- Çevrenin korunması çabaları da dünya genelinde artarak devam ediyor. CO₂ emisyonlarının yılda %2.1 artarak, 2030 yılında 1990 yılı seviyesinin iki katına ulaşacağı, AB’de 1990 seviyesinden %18, ABD’de ise %50 fazla olacağı; geliş-mekte olan ülkelerin 1990 yılında %30 olan dünya CO₂ emisyonlarındaki payının da %50’leri aşacağı tahmin ediliyor².
- Böyle bir gelecek tablosu karşısında, hem ülkelerin hem de AB gibi blokların geliştirmekte oldukları politika ve stratejiler, toplumların refahı açısından stra-tejik bir girdi teşkil eden enerjinin, ihtiyaç duyulan miktarlarda ve ani artışlar göstermeyen karşılanabilir fiyatlarla sağlanmasını, temininde darboğazlar yaşanmamasını ve tüketiminin “sürdürülebilir kalkınma” kavramı çerçevesinde doğayla uyumlu şekilde başarılmasını hedefliyor. Bu stratejilerin ana hatlarını şu dört madde altında toplamak mümkün:
- Enerji tasarrufu ve verimliliğinin artırılması ile artan enerji talebinin bir bölü-münün karşılanması, dolayısıyla talepteki artış hızının yavaşlatılması,

² World Energy, Technology and Climate Policy Outlook 2030 – WETO-, European Commission, Directorate-General for Research Energy, 2003.

- Fosil yakıtların, gelişmiş ve geliştirilmekte olan daha temiz ve çevreyle uyumlu teknolojilerle değerlendirilmesi,
- Yenilenebilir enerji kaynaklarına ağırlık verilmesi,
- Halen üzerinde çalışılmakta olan “kendiliğinden güvenli” tasarımlar vb. teknolojik gelişmeler sonucunda, nükleer enerji ile ilgili toplumsal endişelerin giderilerek, enerji arz yelpazesinde belirli bir ağırlıkta yer almasının sağlanması.

2. TÜRKİYE

Ülke nüfusu 1990-99 arası %1.9 artarak, 2000 yılında 67.8 milyona ulaşmış. Toplam nüfus tahmini 2010’da 78, 2020’de 88 milyon.

GSMH 1980-2001 döneminde, reel olarak yılda ortalama %3.65 dolayında büyürken, 1980 yılında 1,570 dolar olan kişi başına milli gelir, yıllık ortalama %1.5 artışla, 2001 yılında 2,900 dolara ulaşmış. Bu arada ekonomik yapı önemli oranda değişmiş ve tarımın payı azalırken, hizmet sektörlerinin payı artmış. 2001 yılı GSMH’sının %13’ünü tarım, balıkçılık ve ormancılık, %26’sını sanayi ve inşaat, %61’ini hizmet sektörleri oluşturuyor.

Tablo 2.1: Nüfus, ekonomi ve enerji

Yıl	Nüfus Bin kişi	GSMH 1990 fiyatlı. Milyar \$	Kişi başına GSYİH \$/kişi	Enerji talebi mtep	Elektrik talebi TWh	Kişi başına enerji talebi kep/kişi	Kişi başına elekt. talebi kWh/kişi
1973	38,072	75.9	1,994	24.5	12.4	644	326
1990	56,098	150.0	2,674	53.0	56.8	945	1,013
1995	62,171	177.9	2,861	63.7	85.6	1,025	1,376
1998	65,244	215.5	3,303	74.7	114.0	1,145	1,747
2000	67,804	214.1	3,158	81.3	128.3	1,199	1,892
2001	68,618	193.9	2,826	76.0	126.9	1,108	1,849
2010(*)	78,459	421.0	5,366	153.9	286.6	1,962	3,653
2020(*)	87,759	812.7	9,261	282.2	566.5	3,216	6,455
2023(*)	90,345	821.2	9,090	329.9	675.1	3,652	7,472

(Kaynak: ETKB/APK)

(*) Bu projeksiyonlar 2002 yılına ait olup, yeni planlama çalışmaları devam edilmektedir.

GSMH artışıyla birlikte, toplam birincil enerji arzı (TBEA) 1973-95 arasında yılda %4.4, 1990-2000 arasında %4.4 artarak (IEA Avrupa ortalaması %0.8), 1990'da 53 mtep'den, 2001'de 76 mtep'e ulaşmış. 2001 yılındaki talebin en büyük kısmını, 30.9 mtep'lik hacim ve %40.7 payla petrol karşılarken, 1970'e kadar var olmayan doğal gaz aynı yıl, 14.87 mtep'le %19.6 oranına ulaşmış. Talebin kalan %15.7'lik kısmı linyit, %9.3'ü taşkömürü, %8.2'si ticari olmayan ve %3.8'i diğer yakıtlardan, %2.7'si de hidroelektrik kaynaklardan karşılanmış. Nüfus artışı ve ekonomik büyüme eğilimleri göz önünde bulundurulduğunda, TBEA'nın 2010'da 154 mtep'e ulaşması bekleniyor.

Kişi başına enerji tüketimi 1990'da 945 kep'den, 2000'de 1,199 kep'e yükselmiş. Türkiye bu durumuyla, dünya nüfusunda %1.1'lik, enerji tüketiminde ise %0.86'lık bir paya sahip. Dolayısıyla kişi başına dünya ortalamasının dörtte üçü kadar (54GJ) enerji tüketiyor ve bu açıdan AB üyeleri, hatta daha geniş kapsamda Avrupa ülkeleri ve OECD üyeleri arasında sonuncu geliyor.

Tablo 2.2: Türkiye birincil enerji arzı ve üretimi.

	Toplam Enerji Arzı				Birincil Enerji Üretimi			
	1990 mtep	1990 % Pay	2001 mtep	2001 % Pay	1990 mtep	1990 % Pay	2001 mtep	2001 % Pay
Petrol	23.901	44.5	30.936	39.6	3.902	14.9	2.679	9.8
Linyit	9.765	18.2	13.091	16.8	9.524	36.3	12.772	46.6
Taşkömürü	6.150	11.4	7.060	9.0	2.080	7.9	1.255	4.6
Doğal gaz	3.110	5.8	14.868	19.0	193	0.7	284	1.0
Hidro	1.991	3.7	2.065	2.6	1.991	7.6	2.065	7.5
Ticari olmayan	7.208	13.4	6.211	7.9	7.208	27.5	6.211	22.7
Diğer	1.591	3.0	3.955	5.1	1.309	5.0	2.141	7.8
Toplam	53.716	100.0	78.185	100.0	26.207	100.0	27.407	100.0

(Kaynak: ETKB/APK)

Enerji üretimi 1990'da 25.48 mtep düzeyinde iken, 2001 yılında 25.17 mtep olarak gerçekleşmiş. Petrol ve doğal gaz üretimi nisbeten az olup, esas yerli enerji kaynağını, çoğu linyit olmak üzere, kömür oluşturuyor. Linyit üretimi 1980'lerin başlarında artarak, 1999 yılında 12.24 mtep (65mt) ile en yüksek seviyesine ulaştık-

tan sonra, 2001 yılında 11.61 mtep'e (59.5 mt) gerilemiş. Mevcut öngörüler linyit üretiminin artık bir dengeye ulaştığı yönünde. Taşkömüründe ise, 1990'da 2.7 milyon ton olan üretim, 2001'de 2.4 milyon tona gerilemiş. Sonuç olarak 2001 yılındaki birincil enerji üretiminin %51.1'i kömürden, %11.7'si petrol ve doğal gazdan, %8.2'si hidrojan, %24.7'si de ticari olmayan kaynaklardan sağlanmış.

2001'de, hidroelektrik hariç yenilenebilir enerji üretimi 7.27 mtep'i bulmuş ve bunun esas kısmı olan 4.88 mtep'i odun, 1.33 mtep'i hayvan ve bitki atıkları, 0.76 mtep'i jeotermal, kalan 0.29 mtep'i de güneş enerjisi oluşturmuş.

Hidroelektrik üretimi ise son yirmi yılda anlamlı artışlar göstermiş. 1990-2000 arasında yılda %2.9 artarak, 1990'daki 23.148 TWh (1.99 mtep) düzeyinden, iyi bir üretim yılı olan 2000'de 30.942 TWh (2.66 mtep) düzeyine ulaşmış.

1990-2000 yılları arasında, yenilenebilir enerji üretiminin toplam enerji üretimi içindeki payı, yaklaşık %40'la aynı kalırken, toplam arz içindeki payı %18.23'den %12.42'ye gerilemiş. 2010 yılında hidroelektriğin 6.7 mtep'e ulaşması beklenirken, jeotermal ısı enerjisi için 5.7 mtep hedefleniyor.

Ekonomi hızla büyürken enerji üretiminin dengeye varması, enerji ithalatının hızla artmasına yol açmış. Net enerji ithalatı 1973-95 arasında yılda yaklaşık %7, 1990-2000 arasında da %6 artmış ve 1990'da 30.94 mtep iken, 2000'de 56.28 mtep'e ulaşmış. İthalat 1973'te TBEA'nın %36'sını oluştururken, 1990'da %57.6'sını, 2000'de ise %68.11'ini oluşturmuş. Daha önceki öngörüler, linyit üretimini arttırmak suretiyle bu oranı koruyabilmek yönünde iken, son 20 yıldaki siyasi iradelerin izlediği doğal gaz ağırlıklı enerji politikalarının linyite yönelik yatırımları frenlemesi sonucu bu üretimin geçen on yılda kararlı bir seyre ulaşmış olması nedeniyle, ileriye yönelik üretim tahminleri de geri çekilmiş.

Enerji ithalatının bileşimine bakıldığında, 2000 yılında; ham petrol ve petrol ürünleri ithalatı 33.22 mtep ile toplam enerji ithalatının %59.1'ini, doğal gaz 13.49 mtep ile %24'ünü, kömür ve kömür ürünleri ithalatı 9.25 mtep ile %16.4'ünü ve elektrik 0.33 mtep ile %0.6'sını oluşturmuş. 2001 yılında 16.4 milyar m³ olarak gerçekleşikten sonra, 2002 yılında da 17.7 milyar m³'e tırmanan doğal gaz ithalatının, imzalanan uluslararası doğal gaz alım anlaşmaları nedeniyle artarak devamı ve 2003 yılında 23 milyar m³'e ulaşması bekleniyor.

Özetle Türkiye, enerji kaynakları açısından net ithalatçı bir ülke. 2000 yılı itibarıyla yılda tükettiği yaklaşık 80 milyon ton kömürün %85'ini kendi üretirken, 31

milyon ton ham petrolün %91'ini, 15,1 milyar metreküp doğal gazın %96'sını ithal etmiş. Keza, tükettiği 128 TWh'lık elektriğin 3 TWh'ını Bulgaristan ve Gürcistan gibi komşularından sağlamış.

Enerji yoğunluğu toplam birincil enerji arzı/GSMH (TBEA/GSMH) olarak hesaplandığında (1990 kurlarıyla), 1973 yılından beri aynı kalmış, toplam yakıt tüketimi/GSMH (TYT/GSYH) şeklinde hesaplandığında ise biraz azalmış. 1990-2000 arasındaki dönemde enerji yoğunluğunun keza, her iki ölçüye göre de pek değişmediği görülüyor. Elektrik yoğunluğu ise hızla artmış olup, bu durumu elektrik kullanımının konut sektöründeki yaygınlaşmasıyla açıklamak mümkün.

Tablo 2.3: Ekonominin enerji ve elektrik yoğunluğu* (nominal dolar değerleriyle)

	Arz/GSMH		Nihai Tüketim/GSMH	
	1990	2000	1990	2000
Enerji yoğunluğu	0.353 kep/\$	0.380 kep/\$	0.277 kep/\$	0.283 kep/\$
Elekt. yoğunluğu	0.383 kWh/\$	0.584 kWh/\$	0.304 kWh/\$	0.449 kWh/\$

*Tablo 2.1.2, 2.1.3, 2.1.8 ve 2.1.12 verilerinden hareketle hesaplanmıştır.

Arza ve tüketime göre hesaplanan yoğunluklar arasında ciddi bir fark gözlemleniyor ve bu durum, arzın tüketime dönüşene kadar ciddi kayıplara uğradığına işaret ediyor. Nitekim, ulaşım sektöründe, elektrik iletim ve dağıtımında, binalarda ciddi enerji kayıpları var ve Türkiye'de enerji verimliliğini arttırmak için bu kayıpların azaltılması gerekiyor.

Enerji yoğunluğu IEA-Avrupa'ya göre yüksek ve AB ortalamasının iki misli düzeyinde. Bu durum, ekonominin kısmen kayıtsız olmasından ve/veya TL kurunun düşük olması ihtimalinden dolayı GSMH'nin düşük görünmesinden kaynaklanıyor olabilir. Nitekim, GSMH'nin hesaplanmasında satın alma paritesi (SAP) kullanıldığı takdirde, enerji yoğunluğu IEA-Avrupa'dan düşük çıkıyor. Enerji yoğunluğunun 2005 yılına kadar hızla artması ve bu tarihten sonra hafif azalması, elektrik yoğunluğunun ise, bu enerji türünün kullanımının artmasıyla birlikte artışını sürdürmesi bekleniyor.

Türkiye en ciddi sıkıntıları elektrik enerjisi alanında yaşıyor ve yılda %10'ları aşan düzeylerde artan talebi karşılayabilmek için gereken yatırımlar güçlükle sürdürülebildiğinden, ülke zaman zaman kesintilerin eşiğine geliyor. Sıkıntılar

hem üretim, hem de iletim ve dağıtım aşamasındaki sorunlardan kaynaklanıyor. Türkiye’de üretim birimleri çoğunlukla güney ve güneydoğuda, tüketim merkezleri ise kuzeybatıda olduğundan, iletim hatları uzun; dolayısıyla iletim kayıpları %3.1 civarında. Bu rakam OECD ortalaması olan %2.5’un üzerinde. Mevcut iletim hatlarının 11,600 km’lik kısmı 380kV ve 25,000 km’lik kısmı ise 154 kV’luk olup, bu alandaki iyileşme 380kV’luk iletim payının arttırılmasıyla mümkün. Fakat esas elektrik kayıpları, dağıtım aşamasında gerçekleşiyor ve kaçak kullanım oranları kesin olarak bilinmemekle beraber, dağıtım kayıplarının %10’un üzerinde olduğu tahmin ediliyor. Bu oranın OECD ortalaması olan %3.5’lar düzeyine indirilmesi için, şehir içi dağıtım şebekelerinin kapsamlı bir şekilde yenilenmesi gerekiyor.

Öte yandan; 2001 yılı itibariyle kurulu güç 28,332 MW olup, bu gücün %41.2’si hidroelektrik ve %58.7’si termik iken, %0.1’i jeotermal ve rüzgara dayalı. 2001 yılında üretilen 123 TWh’ın yaklaşık %19.5’i hidroelektrik, %31.2’si taşkömürü ve linyit, %40.3’ü doğalgaz, %7.9’u petrolden üretilmiş. Kurulu güç kapasitesiyle üretilen enerjinin, kapasiteye oranla 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 ise ekonomik ömürlerini doldurduktan sonra devre dışı bırakılarak yerlerine yenilerinin inşası gerekli. Yani Türkiye, hala rantabl olan santrallerini yenileştirmek, rantabil olmayanları da yeni ünitlerle değiştirmek durumunda. Kişi başına yıllık elektrik tüketimi 2001 yılı itibariyle 1850 kWh’a ulaşmış iken, dünya ortalaması 2300kWh’ı geçiyor. TEAŞ 2010 yılına kadar, 23.6 GW’lık ilaveyle, bugün 28.3 GW olan üretim kapasitesinin neredeyse iki misline çıkartılmasını, 80 milyonluk bir nüfus için 280 TWh civarında üretim yapılmasını hedefliyor.

Türkiye bu hedeflerini, yerli ve yenilenebilir kaynaklara öncelik tanıyarak gerçekleştirmek istiyor. Fakat enerji doğal kaynakları açısından fazla zengin bir ülke değil. Bu alandaki en büyük doğal kaynaklarını hidrolik ve linyit oluşturuyor.

Türkiye’nin teknik olarak değerlendirilebilir hidrolik enerji potansiyeli 216 Milyar kWh ve bunun 126 milyar kWh’ı ekonomik olarak değerlendirilebilir durumda. Bu potansiyelin geliştirilmesi, son yirmi yılın öncelikli tercihi olmuş. Halen işletmede bulunan 129 hidroelektrik santral 12,177 MW’lık bir kurulu güce ve 44,035 GWh’lık yıllık ortalama üretim kapasitesine sahip. 3,397 MW’lık kurulu güce ve toplam potansiyelin %9’una karşılık gelen 11,188 GWh’lık yıllık üretim kapasitesine sahip bulunan 36 hidroelektrik santral inşa halinde. Geriye kalan 70,605

GWh/yıl'lık potansiyeli kullanabilmek için, toplam 19,908 MW gücünde 386 santralin daha yapılması gerekiyor. Bunlarla birlikte, toplam hidroelektrik santral sayısının 551'e ve toplam kurulu gücün 35,482 MW'a ulaşması, halen %35'i değerlendirilmiş bulunan bu potansiyelin, 2020 yılında %90'dan fazlasının değerlendirilmiş olması bekleniyor. Bunun için de 30 milyar doları aşan maddi kaynağa ihtiyaç var.

Türkiye, 7,339 milyon tonu görünür olmak üzere, toplam 8,375 milyon ton linyit rezervine sahip. Mevcut rezervin %68'i, 4.18-8.36MJ/kg gibi düşük bir ısı değere sahip olduğundan, üretilen linyitler ağırlıklı olarak termik santrallerde tüketiliyor. Bu rezervlerin, yaygın olarak bulundukları yörelerde temiz yakma teknolojilerine dayalı 100-150 MW'lık linyit santrallerinin kurulmasıyla güç üretiminde kullanılmalarına devam edilebilir.

Son yıllardaki seyrine bakıldığında linyit üretiminin 1998-1999 yıllarında 65 milyon ton ile en yüksek düzeyine ulaştığı, 2001 yılında ise 59.6 milyon tona gerilediği görülüyor. Üretimin büyük bir kısmı halen, Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) ve Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ) gibi kamu kuruluşları tarafından gerçekleştiriliyor. 2001 yılı linyit üretiminde TKİ'nin payı %56.4, EÜAŞ'nin payı %30.5, özel sektörün payı ise, Çayırhan dahil olmak üzere, sadece %13.1. Bugünkü verilere göre linyitten elektrik üretim kapasitesi, yılda 116 Milyar kWh civarında ve yerli kaynaklara tanıyan öncelik çerçevesinde, bu değere 2018 yılında ulaşılması hedefleniyor. Ancak, kaynak çeşitlendirme ihtiyacına paralel olarak doğal gaz ve diğer kaynakların elektrik üretimindeki payı arttıkça, linyitin payında azalmalar bekleniyor. Son yıllarda talebin beklenenden az gerçekleşmesi, alım garantili doğalgaz santrallerinin daha fazla çalıştırılmasına, bu durum da linyit santrallerinin kapasite kullanım oranlarının düşmesine neden olmuş görünüyor.

Türkiye taşkömürü rezervi, 560 milyon tonu görünür olmak üzere, toplam 1.35 milyar ton civarında. Isıl değeri 13.8-28.4 MJ/kg arasında. Üretimi Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) tarafından, Zonguldak havzasındaki 5 işletmede sürdürülüyor. Bu işletmelerden Kozlu, Karadon ve Üzülmüş'de koklaşabilir, Amasra ve Armutçuk'ta ise koklaşmaya uygun olmayan niteliklerde kömür üretimi yapılıyor. Kurumun 1990'da 2.75 milyon ton olan üretimi, 2001'de 2.36 milyon tona gerilemiş. Üretimde en önemli sorunu, doğal şartlar nedeniyle havzada karlı bir işletmecilik yapılmasının mümkün olmayışı oluşturuyor. Dolayısıyla, ülkede tüketilen taşkömürünün büyük bir bölümü ithal ediliyor. Özellikle, demir çelik fabrikalarında kullanılan yüksek ısı değerli taşkömürü bu yolla karşılanıyor. 2001 yılındaki ithalat miktarı 8 milyon

ton, değeri ise 288 milyon dolar. Ve bu durum, yeni rezerv arayışlarına hız verilmesi gerektiğine işaret ediyor.

Ham petrol üretimi ise, son yıllarda yeni sahaların keşfedilememesi ve mevcut sahaların da eski olması nedeniyle, sürekli olarak düşüyor. Üretim 2001 yılında, 2000 yılına göre %7.2 azalarak, 2.6 milyon ton düzeyinde gerçekleşmiş. Arama çalışmalarından olumlu sonuçlar alınamaması halinde, üretimin önümüzdeki yıllarda da azalarak seyretmesi bekleniyor. 2001 yılı ham petrol ithalatı, ortalama 24.5 dolar/varil fiyatla, 23.1 milyon ton olarak gerçekleşmiş.

Doğal gaz üretimi, Kuzey Marmara sahasının 1997 yılında devreye alınmasıyla birlikte önemli ölçüde artarak, 2000 yılında 639 milyon m³'e ulaşmış. Ancak kullanılabilir rezervin azalması nedeniyle, 2001 yılında %51 azalarak, 312 milyon m³'e inmiş.

Özellikle petrol aramaları, zor coğrafyalarda ve yüksek maliyetli olduklarından ciddi ihmale uğramış durumda. Doğal gazla birlikte petrol aramalarına çok daha fazla kaynak ayırmak gerekiyor.

Türkiye, dünyadaki jeotermal ısı kullanımı ve kaplıca uygulamalarında; Çin, Japonya, ABD ve İzlanda'nın ardından 5. sırada geliyor. İspatlanmış termal kapasitesi 3,173 MWt, muhtemel potansiyeli ise 31,500 MWt dolayında. Kullanım halen; şehir, konut, termal tesis, sera vb. uygulamalardaki toplam 665 MWt'lık 61,000 konut eşdeğeri merkezi ısıtma ve, 327 MWt'lık 195 adet kaplıca kullanımı olmak üzere, toplam 992 MWt doğrudan ısı kullanımı ve 17.5 MWe'lik elektrik üretimi şeklinde.

Türkiye, 36-42 °N enlemleri arasında yer alan coğrafi konumuyla, güneş kuşağı ($\pm 40^\circ$) içerisinde bulunuyor. Yüzeyine yılda düşen güneş enerjisi miktarı 977×10^{12} kWh kadar. Teknik potansiyeli 500, ekonomik potansiyeli ise 25 mtep/yıl olarak tahmin ediliyor. Güneş enerjisinden toplayıcılar vasıtasıyla ısı üretiminde önde gelen ülkeler arasında. Ancak bu potansiyel, elektrik üretiminde henüz kullanılmıyor.

Türkiye'nin rüzgar enerjisi açısından yaklaşık 400 milyar kWh/yıl brüt ve 120 milyar kWh/yıl teknik potansiyele sahip olduğu tahmin ediliyor. Ancak bu rakamların kesinleşmesi için ayrıntılı rüzgar haritalarının tamamlanması gerekiyor. Halen, Çeşme, Çeşme-Alaçatı ve Çanakkale-Bozcaada'da kurulu toplam 19MW gücünde 3 adet rüzgar türbini çiftliği bulunuyor. 2002 yılı sonu itibariyle Türkiye'de rüzgar enerjisinden elektrik üretimine yönelik yapılan başvuru sayısı 62, bunların toplam kurulu gücü yaklaşık 1.8 GW kadar.

Türkiye’de biyokütle enerjisinin kullanımı, ağırlıklı olarak klasik yöntemlerle gerçekleştiriliyor ve modern yöntemlerin bu alandaki payının artırılmasına çalışılıyor.

Bu değerlendirmelerin ışığında ve OECD ülkeleri arasında yapılan kıyaslamalı bir çalışmanın sonuçlarına dayanarak şu tesbitlerde bulunmak mümkün:

- Türkiye 2001 yılı itibarıyla; dünya nüfusunda %1.10, ekonomisinde %0.68, enerji tüketiminde %0.86 paya sahip. Dolayısıyla ve açıkça, kişi başına az üretebiliyor ve az enerji tüketiyor. Ekonomisini büyütmesi, bunun için de enerji tüketimini arttırması gerekiyor. Türkiye’nin kişi başına elektrik tüketimi de keza, OECD ülkeleri arasında sonuncu geliyor. Dolayısıyla Türkiye’nin ekonomisi büyürken, elektrik enerjisi tüketiminin de artması gerekiyor.
- Öte yandan Türkiye, ekonomik üretim açısından, enerjiyi ve elektriği verimli kullanamıyor. Ekonomisinin enerji ve elektrik yoğunluğu yüksek olduğu gibi, artmaya da devam ediyor. Ancak ekonomisi büyümekçe, Türkiye’nin bu yoğunlukları azaltabilmesi mümkün görünmüyor. Çünkü ekonomilerin enerji yoğunluğu ile, kişi başına gelir arasında güçlü bir ters bağlantı var.
- Türkiye kalabalık nüfusuna rağmen ekonomisi küçük olduğu için, karbondioksit emisyonları açısından, hem toplam, hem de kişi başına yıllık değerleriyle, OECD ülkeleri arasında arka sıralarda yer alıyor. Halbuki ekonomik üretimini temiz yapamıyor ve birim GSMH başına fazla kirleticı yayıyor. Türkiye’nin daha temiz üretebilmek için de keza, ekonomisini büyütüp kişi başına gelirini arttırması gerekiyor. Çünkü, ekonomilerin karbon yoğunluğu ile, kişi başına gelir arasında güçlü bir ters bağlantı var. Ancak Türkiye’nin, kişi başına GSMH’sı artsa dahi, kişi başına karbon emisyonunu düşürmesi mümkün değil. Çünkü bu iki değişken arasında, yok denecek kadar zayıf bir bağlantı var.

Sonuç olarak Türkiye, her birim üretimini daha verimli ve temiz yapabilmek için, daha fazla üretmek zorunda. Bunun sonucunda da çevreye, tüm gelişmiş ülkelerde olduğu gibi, toplum geneli için toplam olarak veya kişi başına daha fazla enerji kaynaklı kirleticı yaymak durumunda. Ekonomik gelişmenin kaçınılmaz bir gereği olan bu eğilimin boyutlarının küçültülmesi ancak, temiz yakma teknolojilerinin geliştirilip uygulanmasıyla mümkün.

Güçlü ve zayıf yanlar, fırsatlar ve tehditler

Kömür rezervlerinin çokluğu, hidrolik kaynakların zenginliği, temiz ve yenilenebilir enerji potansiyelinin yüksekliği, yeni enerji teknolojilerinde yararlanılabilecek

bor vb. stratejik kaynakların varlığı, Türkiye'nin enerji kaynakları açısından güçlü yanlarını oluşturuyor. Genç ve dinamik nüfus yapısı, yetişmiş insan gücü, girişimci sanayi yapısı ve enerji tasarruf potansiyelinin yüksekliği diğer güçlü yanlar.

Buna karşılık finansman yetersizlikleri, bürokratik engeller ve hukuki altyapı eksiklikleri, kurumlar arasındaki eşgüdüm ve işbirliğinin zayıf olması, enerji planlarının uygulanmasındaki istikrarsızlıklar, toplumsal değerlerdeki bozulma, Ar-Ge kültürünün zayıflığı ve bu alana yönelik kaynak ve teşviklerin yetersizliği, tarafsız ve uzman kurumların eksikliği, teknoloji üretim ve uygulamaları için gerekli ara elemanların eğitiminin yetersizliği gibi, aslında tüm sektörleri etkileyen önemli ve tümü ekonomik ve yapısal nitelikte olan zayıflıklar, enerji sektörünün de zayıf yanları olarak ortaya çıkıyor. Bu zayıf yanlara sektör özelinde, petrol ve doğalgaz rezervlerinin azlığını da eklemek gerekiyor.

Bu yetersizlik sonucu enerji alanında oluşan dışa bağımlılığın giderek artması, ülke için ciddi bir tehdit unsuru olarak görülüyor. Enerji sektörü açısından diğer tehdit unsurları;

- Türkiye'nin yer aldığı coğrafyadaki olumsuz gelişmeler,
- dış müdahalelere açık olunması,
- iç ekonomik ve siyasi istikrarsızlıklar,
- hızlı nüfus artışı, iç göç ve plansız kentleşme,
- toplumsal dengelerin ve iç huzurun inşasında yaşanan güçlükler,
- gelir dağılımında ve eğitimde dengesizlik,
- genç nüfusa yeterli eğitim verilememesi

şeklinde sıralanıyor. Dünya enerji pazarlarındaki tekelleşme, enerji sektörünün karşısındaki diğer bir tehdidi oluşturuyor.

Buna karşılık, bir tehdit unsuru olarak ortaya çıkan jeopolitik konum, aynı zamanda fosil kaynaklara ve büyüyen pazarlara yakınlığı dolayısıyla, Türkiye'ye "enerji köprüsü" olmak gibi bir fırsat sunuyor. Yenilenebilir enerji teknolojilerinde yetkinleşerek bölgede öncü konuma yükselmek imkanı, ülkemizin önündeki diğer bir fırsat olarak görülüyor. Öte yandan, enerji alanında yeni teknolojilerin belirmiş olmasının, bunları önceden görerek zamanında harekete geçmek kaydıyla, Türkiye'ye henüz yeni gelişmekte olan bu alanlara girme ve bir teknolojik üstünlük

kazanma fırsatı vereceği düşünülüyor. Ancak bu fırsatları değerlendirebilmek için, teknolojik önceliklerimizi bugünden belirleyerek, hazırlanacak kapsamlı ve koordineli programlarla bu alanlardaki teknolojik faaliyetlere ivme kazandırmak gerekiyor. Avrupa Birliği genişleme sürecinde yer almak ve Türkiye'nin mevcut teknoloji birikimi ile sanayi potansiyeli de bu çabaları destekleyecek diğer önemli fırsatları oluşturuyor.

Enerji vizyonu ve sosyoekonomik hedefler

Panel, dünyadaki eğilimleri ve ülkemizin mevcut durumunu değerlendirerek, Türkiye için enerji ve doğal kaynaklar alanında bir vizyon önermiş ve bu vizyonu gerçekleştirmeye yönelik bazı sosyoekonomik hedefler belirlemiş bulunuyor.

Enerji ve doğal kaynaklar alanındaki 2023 yılına yönelik vizyon;

“Dünyanın ileri gelen ülkeleri arasında yer alacak bir gelişmişlik ve gönenc düzeyini sağlamak üzere;

- serbest, şeffaf ve istikrarlı piyasa koşulları içinde ulusal kaynaklarına öncelik veren, bu kaynakların aranmasında ve istenen kaliteyle, güvenli ve ekonomik olarak üretiminde ileri teknolojileri kullanan ve geliştirebilen;
- gereksinim duyduğu enerjiyi, güvenli, güvenilir, ekonomik, verimli ve çevreye duyarlı teknolojilerle üreten, ileten, depolayan ve kullanan;
- uluslararası enerji pazarında yarışabilecek enerji teknolojileri geliştirebilen ve uluslararası enerji yatırımlarında etkin rol alabilen,

bir Türkiye” olarak öneriliyor.

Bu vizyonu gerçekleştirecek sosyo-ekonomik hedefler ise şöyle sıralanıyor:

- Türkiye'nin, AB üyeliğinin kazandırabileceği ivmeler bir yana, en azından kendi imkanlarıyla gerçekleştirebileceği azami, yılda ortalama %7 gibi bir büyüme hızıyla, şimdiki 200 milyar dolarlık GSYİH'sını 2023 yılına kadar dört misline katlayarak 800 milyar dolara ve böylelikle, o zamanki 90 milyonluk nüfusu için kişi başına gelir düzeyini 8900\$'a çıkarmak, buna paralel olarak;

- 80 mtp'e düzeyindeki 2001 yılı toplam enerji arzını, enerji verimliliğini %25 arttırmak ve ekonomisinin enerji yoğunluğunu düşürmek kaydıyla, 320 mtep'e ve böylelikle o zamanki 90 milyonluk nüfus için kişi başına enerji tüketimini 3.5 tep'e (Güney Kore, Avusturya 1999) çıkarmak,

- 127 TWS düzeyindeki 2001 yılı elektrik arzını, ekonomisinin elektrik arzı yoğunluğunu düşürmek kaydıyla, 480 TWS'a ve kurulu gücünü de 2001 yılındaki 28 GW'lık düzeyinden, bu üretim düzeyinin gerektirdiği asgari 100 GW'a, böylelikle o zamanki 90 milyonluk nüfus için kişi başına elektrik tüketimini 5300 kWh/y'a (Güney Kore, İrlanda 1999) çıkarmak,
- oluşan arz kompozisyonunu; ülkenin her tarafından erişilebilir, yüksek emre amadeliğe sahip, fiyatça tahammül edilebilir bir etkinlikle sunmak,
- enerji arzı döngüsündeki arama, çıkarma, üretim, taşıma, tüketim vb. tüm faaliyetlerde çevreyi (hava, toprak, su vb.) korumak; yerel, bölgesel veya küresel çevre kirliliğine katkı artışı sınırlamak; bu konudaki AB adaylığı/üyeliği çerçevesindeki AB mevzuatını ve uluslararası sözleşmeleri dikkate alan ve fakat ekonomik, çevresel ve stratejik ulusal çıkarları da kollayan mevzuatları hazırlamak,
- enerji güvenilirliği açısından dışa bağımlılığı kabul edilebilir düzeylerde tutmak amacıyla; arama, çıkarma ve kullanım açısından yerli kaynaklara öncelik tanımak,
- her durumda artması kaçınılmaz görünen enerji ithalatında;
 - ithal bileşenlerini, birbirlerinin yerini alabilen kaynaklar ve coğrafyalar arasında, ekonomik açıdan mümkün olabildiğince dağıtmak suretiyle, başta doğal gazınki olmak üzere, temin güvenliği risklerini kabul edilebilir düzeylerde tutmak,
 - 'Avrasya enerji koridoru' tasarımını gerçekleştirmek suretiyle temin güvenliğini artırmak,
 - temin güvenliğini artırmaya ek olarak, ithalat faturasını da daha rahat karşılayabilmek için; yurt dışındaki arama ve üretim faaliyetleriyle bütünleşmeye yönelik girişim ve ortaklıklar geliştirmek suretiyle, uluslararası enerji piyasalarında aktif rol almak,
- ulusal ve uluslararası içerikli enerji Ar-Ge konularına daha fazla kaynak ayırmak,
- jeopolitik sorunlar, kartelleşme, enerji fiyatlarının aşırı derecede yükselmesi, doğal afetler ve çevresel baskılar gibi enerji güvenliğini tehdit eden risk konularını belirleyerek enerji senaryoları oluşturmak ve bu olası sorunlara yönelik eylem planlarını hazırlamak (risk yönetimi).

Enerji sektöründeki teknolojik öncelikler:

Panel daha sonra, yukarıdaki sosyoekonomik hedefleri gerçekleştirmeye en etkin şekilde hizmet edecek olan teknolojik faaliyet konularını belirlemeye yönelmiştir. Bu arayış sırasında, o konudaki bilimsel ve teknolojik gelişmelerin; ülkenin bilim, teknoloji ve yenilik düzeyine, ulusal katma değerine, uluslararası pazarlardaki rekabet gücüne ve yaşam kalitesinin artmasına en çok katkıda bulunabilme, fakat aynı zamanda çevrenin korunmasını ve enerji verimliliğinin en üst düzeye çıkartılmasını sağlayabilecek olma nitelikleri kıstas olarak göz önünde bulundurulmuştur. Sonuç olarak varılan liste şöyledir:

1. Ülkemiz linyitlerinden elektrik enerjisi üretimi.
2. Ulaşım araçlarında kullanılacak yakıt pilleri üretimi.
3. Rüzgar enerjisinden elektrik üretimi.
4. Güç üretim tesislerinde kullanılacak yakıt pilleri üretimi.
5. Hidrojen yakma teknolojilerinin geliştirilmesi.
6. Güneş enerjisi kullanılarak elektrik üretimi.
7. Enerjinin depolanması.
8. Hidrolik kaynaklardan elektrik üretimi.
9. Nükleer enerji üretimi.
10. Güç sistemleri kontrolü.
11. Elektronik cihazlarda kullanılacak yakıt pilleri üretimi.
12. Sanayideki proseslerde enerji tasarrufu sağlayan teknolojilerin kullanılması.
13. Yapıların enerji gereksinimlerinin yenilenebilir kaynaklardan sağlanması.

Bu aşamada, listelenmiş bulunan teknolojik faaliyet konularını bir öncelik sıralamasına tabi tutmak amacıyla, TÜBİTAK'taki Proje Ofisi tarafından bir Delfi sorgulaması gerçekleştirildi. Bu amaçla düzenlenen ankette, panelin belirlemiş olduğu teknolojik faaliyet konuları çerçevesinde hazırlanan ve her biri birer teknolojik gelişmeyi anlatan 47 Delfi ifadesi, sorgulama aracı olarak kullanıldı. İki aşamalı olarak uygulanan anket 615 katılımcı tarafından yanıtlandı ve uygulama sonucunda, ifade başına ortalama 105 yanıt alındı. Sonuç olarak, her Delfi ifadesi için, anket sonuçlarından hareketle birer önem ve mevcut durumda yapılabilirlik endeksi hesaplandı.

Ancak bu endekslerin ortalamaları, tüm teknolojik faaliyet konuları için birbirine çok yakın değerlerde çıktı. Bu durum büyük olasılıkla; enerji sektörünün şimdiki haliyle çok yönlü iyileştirmelere ihtiyaç duyuyor olması ve değişik alanlardaki iyileştirmelerin eşdeğer düzeyde mümkün görünmesi, öte yandan sektörün; ekonomik büyüme ihtiyacına paralel olarak hızla büyürken, yapısal olarak AB standartlarına doğru uyum sağlaması ve kaynak çeşitliliğinin artırılması suretiyle dışa bağımlılığının azaltılması gerekleri gibi anlaşılabilir nedenlerden kaynaklanıyor. Hal böyle olunca, panel MAM bünyesinde yürüttüğü ilave sorgulamaların da yardımıyla, sözkonusu teknolojik faaliyet alanlarını yukarıdaki sıralamaya tabi tuttu.

Bu sıralamaya ulaşılırken yapılan değerlendirmelerde iki temel husus göz önüne alınmıştır. Bunlardan birincisi, ülkenin hedeflenen refah düzeyine erişmesi sürecinde kaçınılmaz olarak artacak olan enerji talebinin karşılanmasında, öz kaynaklardan azami ölçüde yararlanılması ilkesidir. Böylelikle, enerji açısından dışa bağımlılık kabul edilebilir düzeylere çekilebilecek ve ülkenin enerji temin güvenliği artırılmış olacaktır. Bu öncelik, kuşkusuz ki sürdürülebilirlik ilkeleri çerçevesinde ve çevresel riskleri azaltacak şekilde hayata geçirilmek durumundadır. Dolayısıyla, öncelik sıralamasında göz önünde bulundurululan ikinci temel husus; ülkemize bugünün ve geleceğin pazarlarında rekabet üstünlüğü sağlayacak daha temiz ve ileri teknoloji alanlarında yetkinlik kazanılması hedefi olmuştur.

Panel son olarak, öncelik sıralamasına tabi tutulmuş bulunan teknolojik faaliyet alanlarını ilgilendiren teknoloji alanlarını ayrıntılı olarak dökümlenmiş ve bu alanlarda yapılacak olan ar-ge çalışmaları için yol haritaları belirlemiştir. Ayrıca her bir teknoloji alanındaki çalışmaların desteklenmesine yönelik, bilim-teknik ve diğer politika önerilerinde bulunmuştur.

Çalışmanın ayrıntılarını, TÜBİTAK sitesinde Vizyon2023 başlığı altında sergilenen sonuç raporunda görmek mümkündür.

3. SONUÇ

Raporda belirlenmiş olan teknolojik faaliyetler, Türkiye'nin enerji politikasının oluşturulmasına yönelik olmayıp, bu alanlarda yapılması gereken "Araştırma ve Teknolojik Geliştirme" çalışmaları ile sınırlıdır. Özetle, bu alanlarda yapılacak Ar-Ge çalışmaları sayesinde Türkiye'nin en geç 2023 yılında öncü teknolojik ülkelere birisi konumuna gelmesi, böylece kendi iç pazarına hakim olduğu kadar, dünya enerji teknolojisi pazarlarında da söz sahibi olması hedeflenmektedir.

Panelin yaptığı çalışma sonucunda oluşturulan teknoloji alanları listesi, ayrıntılı bir döküm olmaktan ziyade kalın çizgilerden ibaret kalmıştır. Bunun esas nedeni, ülkemizin teknolojik düzeyinin henüz, ayrıntılı ve özgün teknolojiler üzerinde odaklanabilecek kadar gelişmemiş olmasıdır. Öte yandan, ekonomik düzey de zaten, ancak birden fazla sektöre hizmet sunabilecek olan yaygın teknoloji alanlarında araştırma geliştirme yatırımlarına imkan verebilmektedir. Ancak, ekonomik ve teknolojik gelişmeye paralel olarak, daha ince ayrımlara doğru yönelmek imkanı ve ihtiyacı giderek artacaktır.

Sonuç olarak yerli linyitlerimizden, hidrojenden ve yakıt pillerinden, rüzgardan, güneşten ve su kaynaklarından elektrik enerjisi üretimi konuları ön sıraları almıştır. Ancak, sanayi proseslerinde enerji tasarrufu ve yapıların enerji gereksiniminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, her ne kadar ön plana çıkmamışlarsa da, ekonomik ve çevresel getiri açısından büyük potansiyel taşımaktadır. Bütün bu teknolojik faaliyet konuları temiz enerji ile özdeştir ve özellikle yerli linyit alanında kastedilen, linyiti temiz bir enerji kaynağı şeklinde kullanabilen teknolojilerdir.

Söz konusu teknolojik faaliyet alanlarında yapılacak olan Ar-Ge çalışmalarının, isabetle odaklanmış güdümlü projelerle desteklenmesi ve bu amaca yönelik fonların oluşturulması gereği vardır.

Raporda tanımlanan teknolojiler ve bunlarla bağlantılı Ar-Ge çalışmaları bu günün verileriyle oluşturulmuştur. Oysa bilindiği gibi değişim kaçınılmazdır. Bu nedenle değişimi henüz eğilim aşamasında iken isabetle algılamak ve gerekli Ar-Ge değişikliklerini yapmak üzere bir sistematığın oluşturulması da, ayrıca büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Vizyon 2023 Teknoloji Öngörü Projesi Enerji ve Doğal Kaynaklar Paneli Raporu, 24 Temmuz 2003, Ankara.
- [2] “Türkiye Enerji Teknolojileri Araştırmaları Programı”, TÜBİTAK, Ağustos 2002.
- [3] EIA 2002: Energy Information Administration, U.S. Department of Energy, “International Energy Outlook 2002”, (Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 2002.
- [4] Selçuk N., Arabul, H., Elektrik Enerjisinde Ulusal Politika, Ankara Sanayi Odası ve İstanbul Sanayi Odası yayını, Ekim 2000.
- [5] Dooley, J.J., “Energy R&D in the United States”, Pacific Northwest National Laboratory, BATTELLE Memorial Institute for U.S. Department of Energy, Nisan 1999.

- [6] Runci, P. J., "Energy R&D in the European Union", Pacific Northwest National Laboratory, BATTTELLE Memorial Institute for U.S. Department of Energy, May 1999.
- [7] DOE 1997: U.S. Department of Energy. Interlaboratory Working Group on Energy-Efficient and Low-Carbon Technologies, "Scenarios of U.S. Carbon Reductions: Potential Impacts of Energy-Efficient and Low-Carbon Technologies to 2010 and Beyond", (Washington, DC: DOE, 1997).
- [8] ASE 1997: Alliance to Save Energy, American Council for an Energy-Efficient Economy, Natural Resources Defense Council, Tellus Institute, and Union of Concerned Scientists, Energy Innovations: "A Prosperous Path to a Clean Environment", (Washington, DC: Alliance to Save Energy, 1997).
- [9] EIA 1997a: Energy Information Administration, U.S. Department of Energy, "1996 Annual Energy Review", (Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1997).
- [10] EIA 1997b: Energy Information Administration, U.S. Department of Energy, "Annual Energy Outlook 1997", (Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1997).
- [12] Schock et al. 1997: Robert M. Schock, William Fulkerson, Merwin L. Brown, and Robert L. San Martin, "How Much Is Energy R&D Worth?", paper for the 32nd Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, Honolulu, 27 July - 1 August 1997.
- [12] UNEP 1997: United Nations Environment Programme, "UNFCCC Convention on Climate Change", (Geneva, Switzerland: UNEP, 1997).
- [13] British Petroleum 1996: British Petroleum, "BP Statistical Review of World Energy", (London: 1996).
- [14] Calder 1996: Kent E. Calder, "Asia's Empty Gas Tank", Foreign Affairs, Vol. 75, No. 3 (March/April 1996), pp. 55-69.
- [15] Dooley 1996: J. J. Dooley, "Trends in US Private-Sector Energy R&D Funding 1985-94", Report PNNL-11295 (Washington, DC: Battelle Pacific Northwest Laboratory for the USDOE Office of Planning and Analysis, September 1996).
- [16] Economics and Statistics Administration, U.S. Department of Commerce, "Statistical Abstract of the United States 1996", (Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1996).
- [17] IPCC 1996a: Intergovernmental Panel on Climate Change, "Climate Change 1995: The Science of Climate Change", (Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1996).
- [18] IPCC 1996b: Intergovernmental Panel on Climate Change, "Climate Change 1995: Impacts, Adaptations, and Mitigation of Climate Change", (Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1996).
- [19] NSB 1996: National Science Board, "Science and Engineering Indicators 1996", (Arlington, VA: National Science Foundation, 1996).
- [20] EIA 1996: Energy Information Administration, U.S. Department of Energy, "International Energy Annual 1995", (Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1996).
- [21] SEAB 1995: Secretary of Energy Advisory Board, Task Force on Strategic Energy R&D, "Energy R&D: Shaping Our Nation's Future in a Competitive World", (Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1995).

- [22] WEC 1995: World Energy Council and International Institute for Applied Systems Analysis, "Global Energy Perspectives to 2050 and Beyond", (London: WEC, 1995).
- [23] CBO 1994: Congressional Budget Office, "Rethinking Emergency Energy Policy", December 1994.
- [24] Johansson et al. 1993: Thomas B. Johansson, Henry Kelly, Amulya K. N. Reddy, and Robert H. Williams, eds., "Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity", (Washington, DC: Island Press, 1993).
- [25] Nadiri 1993: M. I. Nadiri, "Innovations and Technological Spillovers", National Bureau of Economic Research Working Paper 4423 (Cambridge, MA: NBER, 1993).
- [26] Smith 1993: Kirk R. Smith, "Fuel Combustion, Air Pollution, and Health: The Situation in Developing Countries", Annual Review of Energy and the Environment, Vol. 18 (1993), pp. 529-566.
- [27] WEC 1993: World Energy Council, "Energy for Tomorrow's World", (New York: St. Martin's Press, 1993).
- [28] IPCC 1990: Intergovernmental Panel on Climate Change, "Climate Change: The IPCC Scientific Assessment", (Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1990).
- [29] Smith 1987: Kirk R. Smith, "Biofuels, Air Pollution, and Health", (New York, NY: Plenum, 1987).