

## ENERJİ ÜRETİMİNDE NÜKLEER ENERJİ ALTERNATİFİ

Adem Şahin

İ.Ü. İktisat Fakültesi

### GİRİŞ

Üretimi artıran, dolayısıyla büyümeyi gerçekleştiren enerji, ekonominin ve son çeyrek yüzyılda çevrenin en önemli unsurlarından biri olmayı sürdürmektedir.

Ekonomik büyümeyi sürdürülebilir halde tutmaya çalışırken, çevresel tehditler minimum düzeye indirme çabası; enerjinin tedariki, kullanımı ve temiz olması noktasında yeni enerji politikalarının belirlenmesini ve acilen uygulamaya geçilmesini gündeme getirmektedir.

Özellikle nüfus artış hızının yüksekliği, daha fazla "büyüme" ihtiyacı ile birlikte enerji talebini artırmakta, bu da sınırlı (yenilenemez) enerji arzının hızlı bir şekilde tükenmesine sebebiyet vermektedir. 1970-1990 yılları arasında sanayileşmiş ülkelerde enerji kullanımı artış hızı ortalama % 1.3, sanayileşmekte olan ülkelerde ortalama % 4.5 olmuştur<sup>1</sup>. Aynı yıllarda nüfus artış hızı ise sanayileşmiş ülkelerde ortalama % 0.7, sanayileşmekte olan ülkelerde ise ortalama % 2.4 olmuştur<sup>2</sup>. Görüldüğü gibi enerji kullanım hızı, nüfus artış hızının üzerinde seyretmektedir.

Dünya genelinde ise enerji üretim ve tüketim artış hızları neredeyse başabaş seyretmektedir. 1970-1991 yılları enerji üretimindeki ortalama artış hızı % 3.3

<sup>1</sup> Lee Schipper, "Energy Efficiency, Lessons From The Past and Strategies For The Future, "Annual Conference on Development Economics - 1993, The World Bank, 1994, p. 398.

<sup>2</sup> World Development Report - 1994, Infrastructure For Development, Published for The World Bank, Oxford University Press, 1994, p. 210-211.

iken, enerji tüketimi % 3.2 olarak gerçekleşmiştir<sup>3</sup>.

Enerji ile ilgili diğer bir tehdit de çevresel nitelik arz etmektedir. Özellikle yenilenebilir olarak sınıflandırdığımız fosil enerji kaynaklarının kullanımından doğan CO<sub>2</sub> emisyonu, dünya atmosferinde meydana getirdiği sera etkisi ile iklimsel değişikliklerin oluşmasına sebebiyet vermektedir.

İklimsel değişimin büyük riskleri ve muhtemel felaketler (sera etkisi ile dünyanın ısınması, kuraklık, deniz seviyesinde artış, türlerin tükenmesi, ekolojideki çeşitliliğin kaybolması gibi) karşısında dünya ülkeleri ortak bir stratejiyi belirleme aşamasına gelmiş bulunmaktadır. Bu noktada ülkeler, bir taraftan enerjinin etkinliği ve tasarrufunu sağlamak, yenilenebilir kaynakların gelişmesine yönelik programlar hazırlayacak bilinen önlemleri alırken, diğer taraftan karşı karşıya gelinen iklimsel değişikliklerin neticelerine ülkelerinin en iyi şekilde intibakını tartışmaya başlamışlardır.

Bu çerçevede iklim değişiklikleri karşısında uygulanacak uluslararası politikaları belirlemek amacıyla çeşitli uluslararası toplantılar yapılmıştır: 1988 yılında Birleşmiş Milletler Genel Kumlu, iklim değişikliğini insanlığın ortak kaygısı olarak kabul etti. Aynı yıl UNEP (United Nations Environmental Program) global iklim değişikliğinin kapsam, önem ve etkilerini araştırmak ve politik önerilerde bulunmak üzere Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPPC) kurdu.

IPPC'nin çalışmaları Ağustos 1990'da bir rapor halinde yayınlanarak, aynı yıl düzenlenen İkinci Dünya İklim Konferansı'nda tartışıldı. Daha sonra 3-14 Haziran 1992 tarihlerinde Rio'da düzenlenen BM Çevre ve Kalkınma Konferansında diğer adıyla Dünya Zirvesinde İklim Değişikliği Sözleşmesi gerçekleştirildi. 153 ülke ve AT tarafından imzalanan sözleşme kapsamında:

\* Sera etkisine sebep olacak gaz emisyonlarında kısıtlama ve etkili diğer tedbirlerin alınması,

\* CO<sub>2</sub> ve diğer sera gazı emisyonlarının indirilmesi için gerekli eylem planlarının hazırlanması,

\* GOÜ'e destek sağlamak amacıyla bir fon oluşturulması,

<sup>3</sup> Dünya Enerji Konseyi (Türk Millî Komitesi), Enerji İstatistikleri, Türkiye 6, Enerji Kongresi, İzmir, 17-22 Ekim 1994, s. 21-22.

\* GOÜ'e çevresel açıdan duyarlı teknoloji transferleri yereldi.

Uygulamada ise Nordhaus (1991), Cline (1992) ve Fankhauser (1992)'in ABD'de yaptıkları üç çalışma neticesinde; CO<sub>2</sub> miktarında iki artışın sıcaklığı 2.5 ile 3 °C civarında artırdığı tesbit edilmiştir<sup>4</sup>. Yine Nordhaus'un diğer bir çalışmada; 2090 yılında 3 °C derecelik bir artışın, dünya çıktısında ortalama % 2.9 bir azalmaya sebep olacağı ileri sürülmüştür<sup>5</sup>.

Bu tespitlerden yola çıkarak, özellikle tarıma dayalı gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkeler için iklim değişikliklerinin daha zaar verici olacağı söylenebilir.

Bu tespitlerden yola çıkarak, özellikle tarıma dayalı gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkeler için iklim değişikliklerinin daha zarar verici olacağı söylenebilir.

CO<sub>2</sub> emisyonunun düşürülmesi (ki sera etkisine sebep olmasındaki payı % 76'dır) iklim değişikliklerinden ve ona bağlı negatif tesirlerinden kurtulma ümidini çoğaltabilir. Halen politik tartışmaların çoğu, fosil enerji kaynaklarındaki tüketimin düşürülmesi fosil olmayan enerji kaynaklarının (özellikle nükleer enerji) kullanımının artırılması ile CO<sub>2</sub> emisyonunun düşürülmesi üzerine odaklanmış bulunmaktadır<sup>6</sup>.

Ekonomik büyümenin ilk adımlarını çok daha önceden atmış olan sanayileşmiş ülkelerin aksine, sanayileşmekte olan ülkeler, gelişmenin çevresel masraflarına katlanmak zorunda olduklarından, belki de bu şartlar altında daha önceki büyüme modellerinin dışında bir büyüme stratejisi izleyerek yollarına devam etmek mecburiyetinde olacaklardır. Bir manada, enerji darboğazım

4 William D. Nordhaus, "Climate and Economic Development, Climates Past and Climate Change Future." Annual Conference on Development Economics-1993, The World Bank, 1994, p. 367-368. Bkz: William D. Nordhaus, "To Slow or Not to Slow: The Economics of the Greenhouse Effect," Economic Journal, 101 (July), 1991, p. 920-937.

William Cline, The Economics of Global Warming, Washington D.C., Institute of International Economics, 1992.

Samuel Fankhauser, The Economic Cost of Global Warming: Some Monetary Estimates, Paper presented to the International Workshop on costs, Impact, and Possible Benefits of CO<sub>2</sub> Mitigation, International Institute for Applied Systems Analyses (ILASA), September, Luxemburg, Austria, 1992.

5 William D. Nordhaus, "To Slow or Not to Slow: The Economics of the Greenhouse Effect," Economic Journal, 101 (July), 1991, p. 920-937.

6 William D. Nordhaus, "Climate and Economic Development, Climates Past and Climate Change Future", p. 370.

maksimum seviyede hissedecek ve teknolojik geri kalmışlık sebebiyle de günün şartlarını yakalayamayan ülkeler "gelişmekte olan ülkeler" olacaktır. Tabii ki bu durumda AGÜ'ların şansından bahsetmeye bile gerek kalmamaktadır, ikilemi yaşayan ve yaşayacak grub yine GOÜ'lerdir.

Enerji - ekonomi - çevre üçlüsünün birarada değerlendirilip, çıkış noktalarının belirlenmesinde en önemli unsurlar bilindiği üzere teknolojik gelişmeler ve AR&GE faaliyetleridir. Bu çalışmalarda hedef; enerji etkinliğinin iyileştirilmesi, çevrenin daha iyi korunmasını sağlayacak teknolojilerin geliştirilmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının daha fazla kullanılabilmesine imkan sağlamaktır<sup>7</sup>.

Bu yüzden, bahsedilen hususlarda, enerji üretimini ve etkinliğini sağlayan enerji üretim santrallerinin mevcut durumlarının ve yeni enerji üretim seçimlerinin ne olması gerektiğini incelemekte bir zaruret bulunmaktadır.

### **ENERJİ TASARRUFU VE VERİMLİLİĞİ İLE ÇEVRE İLİŞKİSİNDE ENERJİ SANTRALLERİNİN YERİ**

Enerji tasarrufunun, ülke ve tesis ölçeğindeki ekonomik katkılarının yanı sıra son yıllarda dünyanın ortak ve en önemli problemi haline gelen çevre kirliliğindeki çözümlerin başında gelmesi ve yenilenemez (fosil enerji) kaynaklardaki rezervlerin hızlı bir şekilde düşmeye başlaması enerji tasarrufu konusunun yeniden gündeme gelmesine sebep olmuştur.

İklim değişikliği üzerinde en olumsuz etkiye sahip CO<sub>2</sub>'in azaltılması için başlıca önlem enerji tasarrufu olmaktadır.

Atmosferin ortak bir yaşam ortamı olması ve havaya atılan emisyonlardan her ülkenin diğer ülkeye karşı sorumlu sayılması artık enerji konusunun ulusal sınırlar içinde değerlendirilmesini engellemektedir<sup>8</sup>. Bu yüzden evrensel çerçevede incelememiz gereken enerji verimliliği; enerjinin elde edilmesinden, çevrimi, üretimi, taşınması/iletimi ile tüketimine kadar geçen safhalarda ele alınmalıdır. Bu safhalarda sağlanacak enerji tasarrufu ile CO<sub>2</sub> emisyonlarında önemli azalmalar meydana gelecektir<sup>9</sup>.

<sup>7</sup> Behçet Yücel, "21. Yüzyıl Eşiğinde Türkiye'nin Enerji Politikalarına Yön Verecek Gelişmeler", Türkiye 6. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliğleri - 4, İzmir 1994, s. 37-38.

<sup>8</sup> Tülin Keskin, "Ülkemizdeki Enerji Tasarrufunun Önemi ve Mevcut Potansiyeli Geri Kazanmak İçin Gerekli Önlemler", Türkiye 6. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliğleri - 5, İzmir, 1994, s. 32.

<sup>9</sup> Marcide Altaş, Hanife Fikret, Emel Çelebi, Türkiye Enerji Sektörünün Gelişimi ve Arz - Talep Projeksiyonları (1979-2010), Türkiye 6. Enerji Kongresi, İzmir, 1994, s. 206.

Termik, Hidrolik ve Nükleer tesisler olarak adlandırılan enerji üretim tesislerinin çevre üzerinde farklı boyutlarda etkileri bulunmaktadır. Burada sadece termik ve nükleer santraller karşılaştırılmalı olarak ele alınacak ve en temiz, en verimli enerji kaynağı hangisi olabilir sorusunun cevabı verilmeye çalışılacaktır.

### TERMİK SANTRALLER

Günümüz dünyasında çevre kirliliğine en büyük katkı elektrik santrallerinden gelmektedir. Termik santrallerin her türü çeşitli ölçülerde çevreyi kirletmektedir. Kömürlü termik santrallerde alman filtrasyon ve diğer tedbirler bir ölçüde etkili olabilmekte, ancak seçilen teknolojiye, yatırımın maliyetine bağlı olarak belli seviyelerde çevre kirlenmesi yine de olmaktadır. Petrol ürünleri yakan santrallerde ise santral tipine göre atmosfer kirlenmesi belli boyutlarda olmakta, ancak kömürlü santraller gibi toz etkisi olmamaktadır.

Tablo 1'de değişik yakıt tiplerine göre bir santralin ortalama yakıt tür ve miktarları görülmektedir.

**TABLO 1**  
Değişik Yakıtlı 1000 MW Gücünde Bir Santralin  
Yıllık Ortalama Atık Tür ve Miktarı (Ton Olarak)

YAKIT	ATIKLAR						
	SOx Kükürt Oksitler	NOx Azot Oksitler	COx Karbon Oksit.	CHx Hidro Karbonlar	KUL	TOZ	Radyas oi/yıl
Kömür	138000	20900	522	209	4491	4500	28
Petrol	52600	21000	9.07	667	726	730	0.50
Doğal G.	14	12200	-	-	454	454	0
Nükleer	0	0	0	0	0	-	116BWR

Kaynak: M. Can, M. Kırbıyık ve R. Yamankaradeniz, "Fosil ve Nükleer Yakıtlı Bileşik Isı-Güç Sistemlerinin Enerji Ekonomisi ve Çevre Kirliliği Açısından İncelenmesi, "Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri - 2, İzmir, 1994, s. 244.

Tablo 1'den inceleneceği üzere, çevreye en çok zarar veren termik santral, kömür yakıtlı olandır ve bunu diğer fosil yakıtlı termik santraller takip etmektedir. Çevreye gaz, toz, kül bırakmayan ise nükleer santral tipi

gözükmektedir.

Literatürde, kömürlü bir santralin verimi % 35-40 olup, bu orana da sadece gelişmiş ülkelerde ulaşılabilir. Diğer bir deyişle fiziksel kanunlar nedeniyle fosil yakıt kullanılarak elektrik üretimi esnasında birincil enerjinin yaklaşık % 60'ı kayıp olarak dışarı atılmakta, % 40'ı elektriğe dönüşmektedir. Bu yolla enerji santralleri atık ısısının sadece Almanya'da yılda 52 milyon Taş Kömürü Eşdeğeri (TKE) olduğu tahmin edilmektedir<sup>10</sup>.

Gerçekten enerji tasarruf edilmek isteniyorsa önce bu atık ısıdan konut ısıtması, sıcak su ve buhar elde etme şeklinde yararlanılabilir. Bu ise bileşik ısı-güç (kojenerasyon) ile gerçekleştirilebilir. İlk enerji kaynağının ardışık kullanımı olarak tanımlanabilen kojenerasyon yönteminde elektrik enerjisi üretirken açığa çıkan atık ısı enerjisinden maksimum faydayı sağlamak esas alınır. Evler, küçük işletmeler, resmi daireler gibi enerji kullanan tüketicilerin kojenerasyon ile ısı sağlamaları halinde yine Almanya'da birincil enerji ihtiyacının yaklaşık % 17 kadar azaltılabileceği hesaplanmıştır. Bu ise şu andaki yıllık taşkömürü üretiminin üçte ikisine eşittir<sup>11</sup>.

Fosil yakıtlı termik elektrik santrallerinin toplam kurulu güç içindeki oranı % 52.4 civarındadır. Lokal ve bölgesel etkilere ilave olarak termik santrallerin atmosferde sera etkisine % 68/98 (CO<sub>2</sub> bazında) katkısı bulunduğu<sup>12</sup> ve sıvı-katı atık yönüyle de çevresel tehditlerde bulunduğu düşünülecek olursa, bu termik santrallerde alınacak tedbirlerin önemi anlaşılacağı gibi, diğer enerji üretim kaynaklarının bu çerçevede değerlendirilmesi gereği ortaya çıkacaktır.

## NÜKLEER ENERJİ SANTRALLERİNDE ENERJİ ÜRETİMİ

Dünyadaki ülkelerin kurulu güçleri, enerji üretim ve tüketimleri ile kişi başına düşen enerji tüketim miktarları incelendiğinde, gelişmiş ülkelerin kişi başına düşen yıllık enerji tüketiminin gelişmekte olan ülkelerin enerji tüketiminden 5-6 kat daha fazla olduğu görülmektedir (Tablo 2).

- 10 H.J. Muhlhauser, "Steam Turbines for District Heating in Nuclear Power Plants", Nuclear Technology, vol. 38, April 1978, p. 98.
- 11 Birkan Erdal, "Enerji Sıkıntısına Çözümde Bir Katkı Kojenerasyon", Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri - 2, İzmir, 1994, s. 89-94.
- 12 C. Yurteri, "Environmental Impacts of Thermal Power Plants, "1993 Workshop on Possibilities of Refurbishing Fossil-Fired Power Stations Taking into Account Env. Requirements. (Zik: Özlem Yılmaz, "Hidroelektrik Enerjinin Çevresel açıdan diğer enerji sistemleri ile karşılaştırılması ve Olumsuz Etkilerinin Giderilmesi Yöntemleri", Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-2, İzmir, 1994, s. 347-360).

Tablo 2 : Ülkeler İtibariyle Elektrik Enerjisi Kurulu Güç, Üretim, Tüketim Gelişimi (1970-1991)

ÜLKE	(GW) KURULU GÜÇ		(TWH) ÜRETİM		(TWH) TÜKETİM		KİŞİBAŞI TÜKETİM (KWH)	
	1990	1991	1970	1991	1970	1991	1970	1991
DÜNYA	1125	2846	4954	12034	4955	12036	1355	2227
A.B.D	360	788	1639	3079	1642	3101	8015	12281
KANADA	43	105	204	507	202	489	9489	18134
JAPONYA	68	200	360	888	360	888	3509	7161
ALMANYA	48	123	242	574	250	575	4124	7199
FRANSA	36	106	147	454	147	402	2885	7044
İNGİLTERE	62	70	249	322	250	339	4504	5860
İSPANYA	18	44	57	156	55	155	1628	3972
İTALYA	30	58	117	222	121	257	2262	4452
RUSYA	166	343	741	1712	735	1693	3030	5818
LİBYA	0.2	4	4	20	0.4	20	214	4182
MISIR	4	13	8	41	8	41	---	754
ÇİN	24	146	107	677	107	680	---	546
ENDONEZYA	0.1	12	2	44	2	45	---	---
HİNDİSTAN	16	80	61	309	61	310	---	---
İRAN	2	18	7	57	7	57	236	949
IRAK	0.7	9	3	21	3	21	291	1114
PAKİSTAN	2	10	9	47	9	47	67	390
S. ARABİSTAN	0.3	18	1	48	1	48	171	3101
SURİYE	0.3	4	0.9	12	0.9	12	151	951
TÜRKİYE	2	17	9	60	9	60	241	1053

Kaynak: Dünya Enerji Konseyi (Türkiye Milli Komitesi), Enerji İstatistikleri, Türkiye 6. Enerji Kongresi, İzmir, 1994,s. 56-57.

Tablo 2'den anlaşılacağı gibi, sadece gelişmekte olan ülkelerin belli bir gelişmişlik düzeyine ulaşabilmesi için gerekli olacak enerji tüketiminin sağlanmasında ve çevre boyutunda gözönünde bulundurulması durumunda mevcut kaynakların dışında üretim kaynaklarına ihtiyaç olmaktadır.

Bu ihtiyaçların karşılanmasında nükleer enerji üretimi bir çok yönden alternatif yenilenebilir enerji olarak dikkat çekmektedir.

Tablo 3'de bazı ülkelerde Nükleer Enerji Kullanım Yüzdeleri görülmektedir.

TABLO 3

Bazı Ülkelerde Nükleer Enerji  
Kullanım Yüzdeleri (1991)

<u>Ülkeler</u>	<u>Oran</u>
Fransa	72.8
Belçika	59.6
İsveç	52.2
Macaristan	45.8
İsviçre	39.7
İspanya	35.7
Bulgaristan	33.8
Çekoslovakya	28.6
Almanya	28.4
Japonya	24.0
İngiltere	21.9
ABD	19.9
Kanada	16.7
Arjantin	14.3
Rusya	12.4
Yugoslavya	5.5
Hollanda	4.5
Meksika	2.3
Güney Afrika Cum.	2.3
Hindistan	1.7
Pakistan	0.8
Brezilya	0.6
Türkiye	0.1
<u>Dünya</u>	<u>18.0</u>

Kaynak: Dünya Enerji Konseyi (Türk Milli Komitesi) Enerji İstatistikleri, Türkiye 6. Enerji Kongresi 17-22 Ekim 1994, İzmir, s. 54-55'den derlenmiştir.

1991 yılı itibariyle nükleer enerji kullanımını % 50'nin üzerinde olan ülkelerin başında Fransa, Belçika ve İsveç gelmektedir. Gelişmiş ülkelerin bir çoğunda ise kullanım oranı % 20'leri geçmektedir. Dünya ortalaması ise % 18'lerdedir. Türkiye, henüz bu alanda gerekli teşebbüsleri yapmamıştır.

1995 ve 2000 yılları itibariyle nükleer reaktörlerin durumu Tablo 4'de görülmektedir. Tablo'da görülebileceği üzere İngiltere dışındaki ülkelerin



çoğunda nükleer reaktör sayısında azalma değil hatta artış görülmektedir. Bu hususda Fransa, Japonya, Kore ve Tayvan başı çekmektedir.

Tablo 4  
1995 ve 2000 Yılları İtibarı İle  
Dünyadaki Nükleer-Reaktörler

Ülke	1995		2000	
	Ünite Sayısı	MWew (Gross)	Ünite Sayısı	MWew (Gross)
Arjantin	2	1005	3	1750
Belçika	7	5749	7	5749
Brezilya	1	657	2	1966
Bulgaristan	6	3760	6	3760
Kanada	22	16393	22	16393
Çin	3	2172	3	2172
Küba			2	880
Çekoslovakya	11	5382	14	7276
Finlandiya	4	2400	4	2400
Fransa	55	59852	61	68816
Almanya	20	22416	20	22416
Macaristan	4	1840	4	1840
Hindistan	11	2183	15	3123
Japonya	50	39921	56	39921
Kore	9	7716	16	14595
Meksika	2	1350	2	1350
Hollanda	2	539	2	539
Pakistan	1	137	1	137
Romanya	1	700	5	3500
İsveç	12	10145	12	10145
Tayvan	6	5144	8	7144
İngiltere	38	14284	32	13936
ABD	112	106391	115	109987
Rusya	55	38899	57	40899

Kaynak: Güngör Bozkurt, "Elektrik Sektöründe Nükleer Santrallerin Yeri", Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri - 2, İzmir, 1994, s. 11.

Gelişme atağı gösteren Kore ve Tayvan'ın nükleer enerjiye gösterdikleri talep Tablo 4'den izleneceği üzere dikkat çekmektedir. Ayrıca Nükleer

reaktörlerini fazlaca artırmayan ABD ise reaktör sayısının fazlalığı ile önde gelen ülkelerden. Tüm Dünya'da 2000 yılı itibariyle nükleer reaktör sayısında (1995'e göre) % 7.76'lık, nükleer enerji gücünde ise yine 1995'e göre % 10.4'lük bir artış gerçekleşecektir. Burada nükleer enerjiyi en çok kullanan ve kullanmaya devam edecek olan ülkelerin gelişmiş ülkeler olması önemle değerlendirilmesi gereken husus olmaktadır. Toplam nükleer üretimin % 29'unu ABD, % 15'ini de tek başına Fransa gerçekleştirmektedir.

Nükleer enerji alternatifini seçme sebeplerini belirli başlıklar altında toplamak mümkündür<sup>13</sup>.

#### a) Nükleer Enerji Üretiminde Kullanılan Hammadde:

Nükleer santrallerin yakıtı olan uranyum, enerji yoğun bir yakıt olduğundan, taşınacak miktarı ve taşıma masrafı azdır<sup>14</sup>. Stoklaması kolay, bu nedenle işletme güvencesi fazladır. Dünya daki rezervler tek geçişli açık çevrim halinde 110 yıl yeterli görüldüğünden (Tablo 5) fiyatların fazla yükselmesi beklenmemektedir.

Tablo 5

#### Dünya Birincil Enerji Kaynakları ve Yıllık Üretimleri

Enerji Hammaddesi	İspat Edilmiş Rezerv	Yıllık Üretim	Rezerv/Üretim
Kömür (milyar ton)	1023	4.7	218
Petrol (milyar ton)	124	3.0	41
Gaz (milyar ton petrol eşdeğeri)	100	1.7	58
Uranyum (bin ton)	3600	33.2	110

Kaynak: Ö. Doğan Öner, "Elektrik Enerjisi Talep ve Arz Planlamasının Değerlendirilmesi", Türkiye 6. Enerji Kongresi, İzmir, 1994, s. 112.

Nükleer enerji üretimi için yakıt temininde uzun vadede bir güçlük, çevrim tesislerinde bir dar boğaz görülmemektedir. Uranyum üretimi, nükleer reaktörlerin ihtiyaçları paralelinde değişkenlik göstermekte ve bu ihtiyaç bugünkü şartlarda büyük ölçüde önceki yılların hammadde politikalarına bağlı olarak ortaya çıkan stoklardan karşılanmaktadır. Örneğin 1991 yılında 43.914 ton

<sup>13</sup> Ali Alat, Aysun Yücel, "Türkiye'nin Genel Enerji Programı İçinde Nükleer Enerji Politikası Ne Olmalıdır?", Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-4, İzmir, 1994, s. 124-125.

<sup>14</sup> Ö. Doğan Öner, "Elektrik Enerjisi Talep ve Arz Planlamasının Değerlendirilmesi", Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-4, İzmir, 1994, s. 106.

uranyum üretilmiş, 56.171 ton uranyum tüketilmiştir. Stokların eritilmesine bağlı olarak olası bir krize girilmemesi için 2000 yılından sonra yeni üretim tesislerinin devreye girmesi gerekmektedir<sup>15</sup>.

#### b. Nükleer Tesislerin Çevre Etkisi:

Nükleer santraller, fosil yakıtlı santraller gibi sera gazlarının ortaya çıkmasına ve yayılmasına sebep olmamaktadır.

1000 MWe gücündeki bir termik santral yerine aynı güçte bir nükleer santral kurulacak olursa, yılda 6.5 milyon ton CO<sub>2</sub>, 9 bin ton SO<sub>2</sub>, 4.500 ton NO<sub>x</sub> gazı ve 1500 ton külün yayılması önlenmiş olmaktadır. Nükleer reaktörlerde karşılaşılan atık türü radyoaktiftir. Geliştirilen teknolojiler ile bu radyoaktif atıkların zararı, diğer bazı radyoaktif atıklara göre oldukça önemsiz kalmaktadır. Nitekim günlük yaşantıda maruz kalman radyoaktivitenin ancak çok düşük bir kısmı (yılda 1.9 milirem) nükleer reaktörlerden kaynaklanmaktadır. Kömür ve linyit kaynaklı termik santrallerden baca gazı yoluyla yayılan radyoaktif atık miktarı ise 1.8 miliremdir<sup>16</sup>. Diğer taraftan röntgende kullanılan x - ışınlarından yaklaşık 10 mrem/yıl, yapı malzemelerinden 7 mrem/yıl, sigaradan ise 8000 rem/yıl radyasyon alınmaktadır.

Ancak riski çok az olmakla birlikte nükleer bir kaza neticesi yoğun ve kısa sürede alınan radyasyon öldürücü olabilmektedir. Bu yüzden nükleer santrallerde yaşanacak/yaşanmış kazaların risk oranlarını değerlendirmek gerekir.

Tablo 6'da diğer enerji üretim merkezleri ile nükleer enerji üretim merkezlerinde meydana gelen kazalar ve ölüm oranları verilmektedir.

Elektrik enerjisi üretim alternatiflerinden birisi olan nükleer enerji Tablo 6'dan anlaşılacağı üzere diğer kaynaklardan daha riskli değildir. Üstelik nükleer güç santralleri, gerek normal çalışma şartlarında ve gerekse beklenilebilen en büyük kaza anında çevreye zarar vermeyecek şekilde tasarlanır.

15 Uranium 1992, Resources, Production and Demand Statistical Update, OECD/NEA. (Zikreden: Ali Alat, Aysun Yücel, "Türkiye'nin Genel Enerji Programı İçinde Nükleer Enerji Politikası Ne Olmalıdır?", Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-4, İzmir, 1994, s. 124.

16 Ö. Doğan Öner, a.g.m., s. 113.

Tablo 6

Enerji Üretim Merkezlerindeki Kaza ve Ölüm Oranları  
(1969-1986)

Enerji Cinsi	Ünite Sayısı	MWew (Gross)	Ünite Sayısı	MWe (Gross)
Kömür Maden Kaz.	62	10-434	3600	0.36
Petrol Sondaj	6	6-123	-	-
Rafineri Yangını	15	5-145	450	0.02
Taşıma	42	5-500	1620	0.08
Doğal Gaz	24	6-452	1440	0.17
Hidroelektrik	8	11-2500	1839	1.4
Nükleer	1	31	42	0.038

Kaynak: "Senior Expet Symsopsium on Electiricity and the Environment", Helsinki, Finland, 13-17 May 1991, Key Issues Papers, p. 133 (Zik: Yılmaz Bektur, "Elektrik Enerjisi Üretiminin Çevre Etkileri", Türkiye 6. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliğleri-4, İzmir 1994, s. 294).

### c. Nükleer Teknolojinin Sanayileşmeye Katkısı

Nükleer teknolojiyi kullanma oranı en yüksek olan ülkeler Tablo 3'den de izleneceği üzere gelişmiş ülkelerdir. Nükleer enerjinin çevreyle dost olmasının yamsıra, avantajlarından biride çok az hammadde ile çok yüksek miktarlarda enerji elde edebilme özelliğidir. Kısa sürede daha az hammadde maliyeti ile daha çok enerji elde edilebilmesi sanayileşme ve büyüme oranını arttırabilmektedir.

Temiz enerji kaynağı olan nükleer enerji, alternatif temiz enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında; gerek güç sınırları, gerekse ortalama yatırım ve işletme maliyeti açısından üstün yönlelere sahip olmaktadır. Örneğin Hidrolik enerji de güç sınırları 1 Kw - 10 Mw ortalama maliyet 0.03 ECU/Kwh, Jeothermal enerjide 1MW - 50 Mw, 0.04-0.12 ECU/Khw, Nükleer enerjide 600-5000 Mw, 0.04-0.1 ECU/Kwh olmaktadır.

1992 yılında OECD tarafından nükleer ve kömür kaynaklı termik santrallerin birim enerji üretim maliyetleri konusunda yapılan fiyat tahmin çalışmasında; kömür kaynaklı termik ve nükleer santrallerin iskonto oranlarına göre

karşılaştırılması yapıldığında, nükleer santrallerin % 5 iskonto oranlarında % 10 ile % 50 oranında ucuz, % 10 iskonto oranlarında ise bazı ülkelerde % 8 ile % 13 oranlarında pahalı, bazı ülkelerde ise % 7 ile % 30 oranında ucuz elektrik enerjisi ürettiği ortaya çıkmaktadır<sup>17</sup>.

Nükleer enerji programına başlayacak bir ülkenin muhakkak sahip olması gereken zorunlu bir endüstriyel yapı sözkonusu değildir. Ancak, ülkenin temel amacı, tesisi kurulmasının, ekipman ve bileşenlerin imal ve test edilmesinin, işletme ve bakımının ülkede yapılabilmesi ohnalıdır. Bu hedefe ulaşıldığında yakıt hammaddesine sahip olunmasa bile enerji üretiminde dışarıya bağımlılık % 5-10 civarında olacaktır. İthal kömürlü termik santraller düşünüldüğünde, elektrik maliyetinin yarısını yakıt masrafı oluşturduğu için tesisin tamamı ülke içinde imal edilse bile % 50 dışarıya bağımlılıktan kurtulunamayacaktır. Doğal gazlı termik santrallerde ise bu bağımlılık % 65'e kadar yükselecektir<sup>18</sup>.

Nükleer teknolojinin ülkeye girmesi, ülkedeki diğer sanayi üretim kalitesinin de yükselmesini sağlar ve yüksek teknolojinin diğer sahalarının gelişmesinde hızlandırıcı bir rol oynar. Sonuçta ülke endüstrisinin seviyesi oldukça yükselecektir<sup>19</sup>.

Yukarıda bahsedilen yönleri ile geleceğin gözde enerji kaynağı olarak değerlendirilebileceğimiz nükleer enerjinin ülkemizdeki durumu da bakmakta fayda vardır.

## TÜRKİYE'DE NÜKLEER ENERJİNİN DURUMU

Türkiye'de elektrik enerjisi üretiminde Linyit, Taşkömürü, Fuel-Oil, Doğal Gaz ve Hidrolik Kaynaklar kullanılmaktadır. Elektrik enerjisi talebinin öngörülen % 8-10'luk bir hızla artışı karşısında yerli kaynaklarımızın tümü değerlendirilse bile, ilave tedbirler alınmadığı takdirde, 2000'li yıllardaki elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanamayacağı görülmektedir. İthal kömür, doğal gaz ve petrole bağımlılık gibi sebeplerden dolayı sınırlı oluşu gözönünde alınacak olursa, aradaki açığın kapatılması ve devamlı artan enerji ihtiyacını

17 Projected Costs of Generating Electricity From Power Commission in the Period 1995-2000 NEA-OECD, 1989 (Zikreden: Ali Alat, Aysun Yücel, a.g.m., s. 126).

18 D. Öner, "Nükleer Güç Reaktörlerinde Teknoloji Transferi ve Üretimi", Uluslararası Nükleer Teknoloji Kurultayı Tebliği, Ankara, 10-12 Ekim 1993.

19 Y. Bektur, U. Bezdegümel, A. Yücel, "Nükleer Enerji Programının Başlatılma Koşulları ve Proje Öncesi Yapılan Çalışmalar", Türkiye 6. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliği-2, İzmir, 1994, s. 22.

karşılatabilmek için nükleer santrallere yönelmek zorunlu hale gelmektedir<sup>20</sup>.

Türkiye’de 1968, 1973 ve 1980 yıllarında olmak üzere üç tane nükleer enerji için fizibilite çalışması yürütülmüştür. 1973 yılında yapılan çalışmalar neticesi Akkuyu sahası nükleer santral kurulması için en öncelikli saha olarak belirlenmiştir. Bu saha üzerindeki ön çalışmalar tamamlanmış olup, Türkiye’nin halen yer lisansı almış tek sahasıdır<sup>21</sup>.

Türkiye’de nükleer enerji ile ilgili çalışmaların geliştirilmemesinin birinci sebebi nükleer enerjiye giriş konusunda devletin kesin bir karar verememesi ve sonuçta ulusal düzeyde kesin stratejilerin saptanamamış olmasıdır. Diğer önemli bir sebep de nükleer enerji kuruluş maliyetlerinin çok yüksek olması ve bunun yanında yaşanan finansal yetersizliktir. Ancak bu’ başlı başına bir sebep olarak görülemez. Nitekim başta yabancı kaynaklı olmak üzere tanınan kredi imkanları oldukça geniştir.

Nükleer enerji programı ile ilgili gelişmeleri engelleyen/engelleyecek diğer bir etken de kamuoyudur. Bu konuda kamuoyunu iyi bir şekilde bilgilendirmiş olan Fransa’da halkın büyük çoğunluğu nükleer enerjinin kullanımından yanadır. Nükleer enerji kullanımı hususunda örnek verilebilecek diğer bir ülke de Güney Kore’dir. Güney Kore enerji ihtiyacı her yıl % 12 artarak gelişen bir ülkedir. Fakat, ülkedeki enerji kaynaklarının kısıtlı olması nedeniyle ülkenin dışa bağımlılığı enerji ihtiyacı ile birlikte artmıştır. Güney Kore bu handikapı atlatmak için en iyi yolun nükleer enerji kullanmak olduğu kararma varmıştır. Bu karardan sonra Güney Kore proje öncesi çalışmaları çok iyi yürüterek geçici programlar hazırlamış ve ülkeye en uygun teklifleri seçerek, eğitime ağırlık ve önem verilmesiyle bugünkü seviyesine ulaşmıştır.

TEK tarafından WASP modeli kullanılarak yapılan son üretim planlaması çalışmalarından elde edilen sonuçlara göre 2005 ve 2008 yıllarında toplam 2000 MWe gücündeki iki nükleer santralin devreye girmesi öngörülmektedir<sup>22</sup>. Türkiye’nin 1993 yılı itibariyle 9129 ton uranyum, 380000 ton toryum rezervi bulunmaktadır<sup>23</sup>. Türkiye’nin sahip olduğu bu rezervler değerlendirilecek olursa

<sup>20</sup> Güngör Bozkurt, “Elektrik Sektöründe Nükleer Santrallerin Yeri, Alternatifleri İle Ekonomik ve Çevre Açısından Karşılaştırılması”, Türkiye 6. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliğleri - 2, İzmir, 1994, s. 13-14.

<sup>21</sup> Y. Bektur, U. Bezdegümel, A. Yücel, a.g.m., s. 26.

<sup>22</sup> TEK, WASP, APK-364, Genel Kod No: 10/1-207, Ankara 1994, s. 34.

<sup>23</sup> Y. Demirok, A. Uçakçıoğlu, Dünya’da ve Türkiye’de Linyit, Asfaltit, Taşkömürü, Bütümlü Şist, Uranyum Rezervleri ve Üretimleri, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, 1993, s. 80.

nükleer santrallerin fosil kaynaklı termik santrallere göre daha güvenli, dışa bağımlılığı daha az, çevre sorununun en az ve daha ekonomik olduğu görülür.

Ulusal ve dünya literatüründe nükleer enerji artık kesinlikle öne alınması gereken bir enerji kaynağı olarak zikredilmektedir. İzmir’de yapılan Türkiye 6. Enerji Kongresi çerçevesinde sunulan tebliğlerden de bu gerçeği görmemiz mümkündür. Sunulan tebliğlerin ortak noktası “Türkiye’de nükleer enerji kullanımında geç kalındığı ve acilen bunun telafisinin ve gerekli çalışmaların yapılması gerektiğidir.”

## SONUÇ

Yenilenemeyen Fosil Enerji kaynakları hızla tükenmektedir. Rezervlerin hızlı bir şekilde azalmasının yamsıra dünyanın karşı karşıya kaldığı çevresel tehditler; başta CO<sub>2</sub> gazı olmak üzere diğer zararlı gazların atmosfere zarar vermesi neticesi iklimsel değişiklikler, yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları arayışını getirmiştir. Ülkelerin kendilerini geliştirmeleri ve ekonomik refahı daha da artırma arzusu devam etmektedir. Bu hedefleri sürekli kılabilmenin tek yolu; enerji verimliliğini artırma ve temiz, güvenilir enerji kaynaklarına ulaşabilmekten geçmektedir.

Nükleer enerji, bahsedilen arzu ve hedeflerin gerçekleştirilmesinde şimdilik bir alternatif, gelecekte ise öncelikli bir enerji kaynağı olmaya aday görülmektedir. Nitekim dünyadaki bazı gelişmiş ülkeler bu tespiti doğrulamaktadır.

Nükleer santrallerin, enerji üretim maliyetlerinin, diğer santrallerin üretim maliyetleri ile karşılaştırılabilir olduğu ve çevreye etkilerinin kabul edilen limitlerin altında olduğu belirlenmiştir. İthal kömürlü termik santraller kurmak yerine nükleer santral kurmak, gerek çevre ve gerekse milli ekonomi açısından daha rasyoneldir.

Bu teknolojiye girebilmek için; öncelikle nükleer politika ve hedeflerin belirlenmesi, ihtiyaç duyulan konularda eğitim ve bilgilendirme programlarının gerçekleştirilmesi ve sanayiden gelebilecek katkıları belirlemek için fizibilite çalışmaları yaparak milli sanayinin bu kapsamda değerlendirilmesi ve yönlendirilmesi gerekir.