

İklim Değişikliği, Alternatif Enerji Seçenekleri ve Nükleer Enerji

Prof. Dr. Sema Z. BAYKARA*

Özet

Dünya'da ve Türkiye'de nüfus ve ekonomik faaliyetlerdeki artış fosil yakıt tüketimi ve yol açtığı çevresel zararlar doğru orantılı olarak gelişmektedir.

Enerji üretiminden kaynaklanan sera gazı salımlarıyla tehlikeli düzeylere varmakta olan küresel ısınma ve fosil yakıt rezervlerinin sınırlı oluşu dolayısıyla düzenin sürdürülebilirliği kavramı ağırlık kazanmakta ve endişe yaratmaktadır.

Sürdürülebilir gelişme veya kalkınma ancak sürdürülebilir bir enerji sistemiyle mümkün olabilir. Bu süreçte iklim, enerji ve ekonomi vazgeçilmez fakat etkileşen bileşenleri oluşturmaktadır.

Bu çalışmada mevcut enerji sistemi, yenilenebilir enerji ve hidrojen sistemleri ve nükleer enerji, mevcut teknolojiler, iklim ve çevre üzerindeki etkileri ve sürdürülebilirlik açılarından incelenmekte; maliyet bakımından karşılaştırılmakta, Türkiye'deki duruma kısaca değinilmektedir.

Çalışma emniyeti, atık miktarı ve güvenli atık depolama ve nükleer silah üretimine yatkınlık gibi konulara ilişkin sorunlar çözülebildiği takdirde, yeni nesil nükleer santrallerin, ekolojinin bozulacağı veya turistik değeri olan bölgelere kurulmamak kaydıyla, temiz enerji sistemine dahil edilmesi mümkün gözükmektedir.

1. Giriş

Türkiye'de nükleer enerji santrallerinin son zamanlarda çokça gündemde oluşu daha ziyade ekonomik büyüme dolayısıyla meydana gelebilecek elektrik enerjisi açığının karşılanması endişesine bağlanabilir.

Kuzey yarımkürede, orta dereceli enlemler üzerinde bulunan Türkiye için çok daha büyük bir endişe kaynağı olumsuz etkilerini en çok bu kuşağın ku-

* Kimya Mühendisliği Bölümü, YTÜ Davutpaşa Yerleşim Birimi, İstanbul
e-posta: baykara@yildiz.edu.tr

zey bölgelerinde göstermesi beklenen iklim değişikliği sürecinin neden olacağı çölleşme tehlikesidir [1].

Buhar makinesinin 1860 yılındaki keşfiyle başladığı kabul edilen sanayi devrimiyle kullanılmaya başlanan fosil yakıtların yanma gazlarının atmosferde yarattığı sera etkisiyle meydana gelen küresel ısınma, yol açtığı iklim değişikliği ve su seviyesindeki yükselme sürekli olarak ilerlemekte; mevcut enerji sisteminin sorgulanmasını, temiz ve güvenli bir enerji sistemiyle (yenilenebilir enerji ve hidrojen gibi) ikamesini gerektirmektedir. Mevcut teknolojisi emniyet, atık depolama ve silahlanmaya müsait olma bakımından açık veren nükleer enerji kamuoyu nezdinde şimdilik güçlü bir seçenek oluşturamamaktadır.

Ayrıca, fosil yakıtların tükenebilir oluşu da göz önüne alındığında yeni, temiz ve yenilenebilir kaynak ve teknolojileri içeren bir enerji sistemi son derece gereklidir [2]. Mevcut harcanma düzeyleri ve bilinen rezervler çerçevesinde kömürün yaklaşık 200 yıl, petrolün 40 yıl ve doğal gazın da 60 yıl içinde tükenileceği öngörülmektedir [3]. Atmosferdeki sera gazlarının artış hızı, fosil yakıtların, rezervlerinin yaklaşık tükeniş tarihlerinden çok daha önce, terk edilmelerini zorunlu kılmaktadır.

Dünya'da ve Türkiye'de, enerji sisteminin tümünden değiştirilmesi gereken bu dönemde, yalnızca atmosferdeki sera gazlarını değil, tüm çevreyi ve güvenliği düşünerek doğru seçimler yapılması sürdürülebilirlik açısından son derecede önemlidir. Nükleer teknolojiler bu açıdan beklemede kalmaktadır.

Nükleer santrallerde ağırlıklı olarak elektrik üretilmektedir. Buna karşın mevcut enerji sistemindeki uygulamaların çoğu elektrikle değil yakıtla çalışmaktadır. Dolayısıyla bir enerji taşıyıcıya ihtiyaç duyulacaktır. Yenilenebilir ve/veya temiz enerjiyle sudan elde edilebilen ve yanması sırasında yalnızca su buharı oluştuğu için çevreyi en az kirleten hidrojen, enerji taşıyıcı olarak büyük önem taşımaktadır.

Sosyo-politik gelişmeleri de göz önüne alarak temiz enerjiye yönelmek, yeni teknolojileri benimsemek, dışa bağımlılığı azaltmak, çeşit ve kökeni çoğaltmak en doğru tercih olacaktır. Fosil yakıtların daha temiz biçimde kullanımı da geçiş dönemini mümkün kılacaktır.

2. İklim Değişikliği ve Mevcut Enerji Sistemi

Güneş sisteminin başlangıcından itibaren doğal iklim değişikliği sürecinin yeryüzünde hüküm sürmekte olduğu paleoklimatoloji bilimi yöntemleriyle anlaşılabilir [4]. Buna karşın, insan faaliyetlerinin sebep olduğu iklim değişikliği yeni bir olgudur ve daha ziyade 19. yüzyıldan bu yana fosil yakıtlarla

rın yanması sırasında çıkan sera gazlarının (CO_x , SO_x , NO_x , CH) yol açtığı küresel ısınmadan kaynaklanmaktadır. Buna bağlı olarak denizdeki buzların erimesi sonucu su seviyesinde artış ve sıcak su akıntılarının etkisizleşmesi, kara buzullarının erimesiyle nehirlerin kuruması ayrıca asit yağmurları ve ozon tabakasında eksilme de meydana gelmekte kasırga, fırtına gibi oluşumların şiddeti ve sıklığı artmaktadır [5].

En iyimser tahminlere göre, küresel ısınma $0.03^\circ C/yıl$, su seviyesindeki yükselme ise $1-2\text{ mm/yıl}$ hızlarında artarak devam etmektedir [1]. Önlemler alınmadığı takdirde en etkin sera gazı sayılan CO_2 varlığının atmosferde yüz yılın sonunda 400 ppm düzeyinden 700 ppm düzeyine kadar çıkmasından endişe duyulmaktadır.

Küresel ısınmanın yol açacağı su baskınları ve kuraklık beraberinde bulaşıcı hastalıkları, içme suyu ve yiyecek kıtlığını, toprak, iş ve gelir kayıplarını ve zorunlu göçleri getirecek; dünyadaki sosyo-politik problemlerin daha da artmasına sebep olacaktır.

Alınabilecek önlemlerin bir kısmı mevcut enerji sistemiyle uygulanabilir. Enerji tasarruf tedbirleri, yalıtma sistemleri, tüm enerji kullanım sistemlerinde ve elektrik dağıtım şebekesindeki kayıpların azaltılması için daha verimli teknolojinin geliştirilmesi, baca gazlarının tutulması, toplu taşımacılık bunlar arasında sayılabilir. Kyoto protokolü de dahil, bu yaklaşımların etkileri ancak marjinal düzeyde olabilmektedir.

En etkili önlem temiz bir enerji sistemine geçmek olabilir. Bu sistemde yakıt ve yanma ürünlerinin temiz olması, tüm enerji zincirinin mümkün olduğu kadar az atığa ve sera gazına yol açması gerekmektedir. Güneş enerjisiyle elde edilen elektrikle sudan hidrojen üretimi ve yakıt pillerinde kullanılması böyle temiz bir zincire örnek teşkil edebilir.

Barajlı hidroelektrik santraller haricindeki yenilenebilir enerji üretiminin yaygın biçimde yapılması öngörülmektedir. Burada önemli bir konu elektrik şebekesinin idamesidir ve nükleer enerjinin devrede olmaması pek mümkün gözükmemektedir. Bu bağlamda en kritik karar; hangi nükleer teknolojinin “temiz zincire” uygun olduğu kararı olacaktır.

3. Yenilenebilir Enerji ve Hidrojen Sistemi

Dünyada birincil enerji tüketimi yirminci yüzyılda 10 kat artarak 2002 yılında yaklaşık 451 EJ^a (10800 Mtoe^b) düzeyine varmış bulunmaktadır. Bu miktarın $\%32.6$ 'sını petrol, $\%22.2$ 'sini kömür, $\%21.1$ 'ini doğalgaz, $\%10.6$ 'sını geleneksel biyokütle, $\%5.7$ 'sini nükleer, $\%5.5$ 'ini büyük çapta su gücü,

132 *Sürdürülebilir Kalkınma İçin Nükleer Enerjinin Önemi*

%2.3'ünü diğer yenilenebilir enerji kaynakları oluşturmaktadır [6]. Toplam yenilenebilir enerji payı %18.4 kadardır.

Toplam yenilenebilir enerji tüketimi 2001 yılında yaklaşık 83 EJ (2000 Mtoe) düzeyine ulaşmış olup, bu miktarın %57'sini geleneksel biyokütle, %30'unu su gücü, %9.5'ini yeni biyokütle, %2.3'ünü jeotermal, kalanını da rüzgâr (%0.57), güneş (%0.21) ve gel-git (%0.06) enerjisi oluşturmaktadır [6].

Toplam yenilenebilir enerji potansiyeli Tablo 1'de verilmektedir [7]. Yenilenebilir enerji kaynakları kesintili kullanıma izin verebilmektedir. Dolayısıyla bir enerji taşıyıcı bünyesinde depolanmaları gerekmektedir. Güneş enerjisi türleriyle (güneş, rüzgâr, su gücü, dalga) sudan hidrojen üretimi yoluyla depolama gerçekleştirilebilir.

Enerji sistemlerinin çevresel özellikleri Tablo 2'de [8], muhtelif enerji kaynaklarıyla elektrik üretiminin çevreye etkileri Tablo 3'de gösterilmektedir.

a EJ: 10^{18} J

b Mtoe: 10^6 ton petrol eşdeğeri

Bu verilerden güneş-hidrojen enerji sisteminin ve nükleer enerjiyle üretilen elektriğin sürdürülebilir gelişme için “kritik teknolojiler” [8] oluşturduğu anlaşılmaktadır. Yalnız, burada bir ikilem bulunmaktadır. Güneş enerjisiyle sudan üretilen hidrojen çevresel açıdan tartışmasız kullanılabilir. Nükleer enerjiyle üretilen elektrik ve bu elektrikle sudan üretilen hidrojen daha ucuza mal olabileceksen aynı çevresel garantiyi vermek kolay olamamaktadır. Yalnızca çevresel açıdan bile doğru nükleer teknolojinin seçimi şartı bu teknolojiyi çok kritik kılmaktadır.

4. Nükleer Enerji

Nükleer enerjiyle elektrik üretimi teknolojileri nispeten yeni olmakla birlikte olgunlaşmış sayılabilirler. 50'li yıllardan bu yana, nükleer fisyon prensibini temel alan üç nesil teknoloji geliştirilmiş olup, dördüncü nesil üzerinde çalışmalar sürmektedir (Şekil 1) [9]. İlk nesilde, yakıt olarak doğal uranyum, moderatör olarak grafit, soğutucu olarak da CO₂ gazı kullanılmaktaydı (Magnez, AGR). İkinci nesilde zenginleştirilmiş uranyum yakıtına geçilmiş, moderatör olarak grafit veya ağır su kullanılmaya başlanmış, suyla soğutma yapılmıştır (RBMK-Chernobyl tipi). Üçüncü nesilde zenginleştirilmiş (%3-4) uranyum yakıtı devam etmekte, moderatör ve soğutma amacıyla hafif su kullanılmaktadır (BWR, PWR, VVER). Dördüncü nesil henüz gelişme safhasında

olup, daha zengin yakıtla ve moderatör olmaksızın çalışması öngörülmektedir. Son teknolojinin çok daha ekonomik, barışçıl amaç dışı kullanıma imkan vermeyen, emniyetli ve daha az atık üretecek özelliklere sahip olması amaçlanmaktadır. Böylelikle, nükleer atıkların taşınması, yeniden işlenmesi, sevki ve idaresi ve yeraltında depolanması gibi konulara ilişkin olarak kamuoyunda yerleşmiş olan endişenin azalması beklenmektedir. Nükleer füzyon prensibi ise, henüz ticari olmaktan uzak bir konumda bulunmaktadır.

OECD ülkelerinde, 1993-2003 yılları arasında nükleer enerjiyle elektrik üretiminde %17 artış meydana gelmiştir. Şimdilik, nükleer endüstriye hafif su (3. nesil) reaktör teknolojisi (PWR, BWR VVER) hâkim gözükmektedir. Elektrik üretim amaçlı nükleer santral sayısı 1951-2000 yılları arasında dünyada toplam 564'e, toplam kapasiteleri 384 GWe düzeyine ulaşmış bulunmaktadır. Hâlihazırda 32 ülkeye dağılmış bulunan reaktörlerden %80 kadarı OECD ülkelerinde bulunmaktadır [10]. Reaktörlerin ömrü 30-35 yıl öngörülmele birlikte, yenileme yatırımlarıyla 45 hatta 60 yıla çıkabilmektedir.

Avantajlı dördüncü nesil beklenirken, Three Mile Island ve Chernobyl kazalarının toplum üzerindeki etkileri halen devam etmekte olup, sürdürülebilir gelişme için CO₂ salınımının kısıtlanması amacıyla nükleer elektrik üretim teknolojilerinin ne derece benimsendiği açık değildir.

5. Ekonomik Faktörler

Kurulu düzende enerji kullanımındaki artış kişi başına 8 kW düzeyine ulaştığında, kişi başına ekonomik gelir 13 \$ dolaylarında bir platoya erişmektedir. Ülkelerin gelişme sürecinde ise, bu rakamlar birbirine doğru orantılı biçimde artmakta, kişi başına 3 kW ile 6 kW değerleri arasında kişi başına ekonomik gelirden hızlı bir turmanış gözlenmektedir. Ayrıca ekonomi eğrisi inişe geçtiğinde, yeni bir teknolojinin keşfiyle yeniden yükselbilmektedir. Buhar makinası (18. yy), elektrik kullanımı (19. yy.), nükleer fisyon (20.yy) böyle dönemlere örnek olabilir [8].

Farklı enerji sistemleriyle elektrik üretim maliyetleri hesaplanmış bulunmaktadır (Tablo 4). Nükleer elektriğin üretim maliyeti fosil yakıtlarla üretilen elektrikten daha yüksek gözükmele birlikte, bu yakıtların çevresel maliyetleri hesaba katıldığında rekabet mümkün olabilir.

Fosil yakıt tüketiminin çevresel maliyetleri saptanabilmektedir (Tablo 5 [11]). Fosil yakıtların (kömür, petrol ve doğalgaz) kullanımının çevrede yarattığı zararın 2004 yılındaki ortalama toplam değeri 53.3 \$/MW saat dolaylarındadır [11]. Bu değer fosil yakıtların kullanımı sonucu çıkan yanma gazlarının ve asit yağmurlarının insanlar, hayvan ve bitkiler, sulu eko-sistemler, yapılar

ve hava kalitesi üzerinde doğrudan yaptığı zarara ek olarak aynı gazların sebep olduğu küresel ısınmanın yol açtığı iklim değişikliği ve su seviyesindeki yükselmenin sebep olduğu ek maddi zararın toplamı olarak düşünülebilir. Kömür ve doğalgaz ile elektrik üretiminin 2004 yılında 53.1 ve 52.5 \$/MW saat (Tablo 4) değerindeki maliyeti çevresel maliyet göz önüne alındığında neredeyse ikiye katlanmaktadır.

Buna karşın elektrik üretimi zinciri boyunca çıkan sera gazı salınım miktarları açısından yenilenebilir enerjilerle aynı mertebede gözüken nükleer teknolojinin çevreyi çok geniş kapsamlı etkileyebilecek ve en fazla da enerji ihtiyacı yüksek olan ve gelişmekte olan ülkelerde baş gösterebilecek atık depolama, emniyet ve nükleer silah üretme zafiyeti, çevresel ve sosyo-politik açılardan henüz yeterince ikna edici gözükmemektedir.

6. Türkiye’de Durum

Tahminlere göre 2020 yılında bir enerji açığı beklenmekte [12] ve nükleer enerjile karşılanması düşünülmektedir. Mevcut kurulu gücün 36.8 TW [13], şebeke kayıplarının ise %12, (kaçak kullanım dahil, ortalama %30) olduğu [14] açıklanmaktadır.

Nükleer santrallerde soğutma suyu olarak deniz suyu kullanılması kıyılarındaki su sıcaklığını artırarak balık sürülerini rahatsız edebilir. Örneğin; Karadeniz’de dipten yükselen çözünmüş H_2S ve küresel ısınma dolayısıyla su içinde oksijen içeriği sürekli azalmaktadır. Makro moleküler deniz canlıları varlıklarını ancak derinliği yüzeyden en fazla 90 – 150 metreye kadar ulaşabilen bir tabaka içinde sürdürebilmektedir [15]. Bu yüzden deniz suyunun birkaç derece ısınması bile Karadeniz’de balıkçılığı ciddi düzeyde etkileyebilir.

Ayrıca deprem kuşağında bulunması nedeniyle Türkiye’de santral ve atık depolama için yer seçimi sorun yaratabilir. Tüm kıyılarda turizmin olumsuz yönde etkilenmesi mümkündür.

7. Sonuç

Sürdürülebilir enerji politikalarının sağduyulu enerji tasarruf yaptırımlarını, verimli ve temiz teknolojilere (yakıt pilleri ve hidrojen gibi) teşvikleri de ağırlıklı olarak içerecek biçimde oluşturulmasında büyük yarar görülmektedir.

Sürdürülebilir gelişme kapsamında enerji politikası “enerjinin ve çevrenin mümkün olan en ucuz maliyetle garanti altına alınması” [16] şeklinde yorumlandığı takdirde, daha somut sonuçlar elde edilebilir.

Doğal iklim değişikliği, daha ziyade güneşteki patlamalar dolayısıyla, sıcaklık eğrilerinde çok uzun vadeli salınımlar meydana getirebilmektedir. Küresel ısınma, fosil yakıt kullanımındaki artışın söz konusu eğrideki (Şekil 2 [17]) tırmanışın tepe noktasına yaklaştığı bir döneme rastlaması sonucu, günümüzdeki tehlikeli boyutlara ulaşabilmiştir [11]. Bu dönemde fosil yakıtlar yerine nükleer enerji kullanılsaydı, sonuçların farklı olacağını düşünmek mümkündür.

Son elli yılda 3. nesil nükleer teknoloji yaygınlaşmış olup, kamuoyunu terdirgin eden emniyet ve atık tasfiyesi sorunları ve askeri amaçlar için kullanılma tehlikesi halen sürmektedir. Ancak 4. nesil teknolojide bu konularda iyileşmeler olasıdır. Dolayısıyla Türkiye’de kurulacak santraller için yeni nesil teknolojinin beklenmesi ve yerin büyük özenle saptanması çok yerinde bir seçim gibi gözükmektedir.

Böylelikle ileride Türkiye’de temiz enerji, yaygın olarak güneş, rüzgâr ve nehirler üzerine kurulacak küçük hidroelektrik santrallerinden, merkezi olarak da şebekenin yükünü taşıyan barajlı hidroelektrik ve yeni nesil nükleer santrallerden elde edilebilecektir. Şebekenin ve nükleer santrallerin elektrik fazlası suyun elektrolizi yoluyla hidrojen üretilerek depolanabilecektir (Şekil 3). Burada en önemli konu Türkiye’nin nükleer santral ve yakıt hazırlama konularında yeni nesil teknoloji transferi yapabilesidir.

Teşekkür

Literatür taramaları sırasında YTÜ Kim. Müh. Böl. Ar. Gör. E. Figen’in de katkısı olmuştur.

Kaynaklar

1. Houghton JT, Callander BA, Varney SK. Climate Change 1992, The supplementary report to the IPCC scientific assessment. Cambridge University Press. Cambridge, 1992.
2. Meadows DH, Meadows DL, Randers J. Limits to Growth. Universe Books. New York, 1970.
3. Veziroğlu TN, Barbir F. Hydrogen energy technologies. UNIDO, Vienna, 1998.
4. Bradley RS. Paleoclimatology. Harcourt Academic Press. San Diego, 1999.
5. Lutgens FK, Tarbuck EJ. The Atmosphere. Prentice-Hall. New Jersey, 1998.
6. British Petroleum. Statistical review of world energy, 2005
7. Sorensen B. Renewable energy: a technical overview. Energy Policy, May 1991.
8. Baykara SZ. Hydrogen as fuel: a critical technology? Int. J. Hydrogen Energy 2005; 30: 545-553.
9. Marcus GH. Considering the next generation of nuclear power plants. Progress in Nuclear Energy 2000; 37(1-4): 5-10.
10. Percebois J. The peaceful uses of nuclear energy: technologies of the front and back-ends of the fuel cycle. Energy policy 2003; 31: 101-108.
11. Baykara SZ. Ecohealth problems and climate change I: Anthropogenic climate change and ecohealth: worldwide environmental damage. IFSSH World Congress Health Challenges of the Third Millenium. Book of Invited Background Papers, pp 295-313, Istanbul, August 21-26, 2005; Veziroglu TN. Ecohealth problems and climate change II: Permanent solution to environmental problems: hydrogen energy system. IFSSH World Congress Health Challenges of the Third Millenium. Book of Invited Background Papers, pp.315-335, Istanbul, August 21-26, 2005.
12. Özgener A. “Mevcut Enerji Kaynakları Kullanılmasına Rağmen 2020’li Yıllarda Türkiye’de Enerji Açığı Olabilir mi?”, Sürdürülebilir Kalkınma İçin Nükleer Enerjinin Önemi Semineri, 27 Temmuz 2006, İstanbul.
13. TEİAŞ Türkiye Elektrik Üretim-İletim İstatistikleri, 1998-2004.
14. TMMOB – Elektrik Mühendisleri Odası, 2006.
15. Baykara SZ, Figen EH, Kale A, Veziroğlu TN, Hydrogen from Hydrogen Sulphide in Black Sea (in press: Int J Hydrogen Energy, 2006).
16. Romerio F. The risks of the nuclear policies. Energy Policy 1998; 26(3): 239-246.
17. Intergovernmental Panel on Climate Change “Climate Change 2001: the Scientific Basis”, Cambridge University Pres, 2001.

Tablo 1: Dünyadaki yenilenebilir enerji potansiyeli [7]

Güneş enerjisi	90000 TW
Rüzgâr	1200 TW
Dalga	3 TW
Gel-git	30 TW
Jeotermal akım	30 TW
Biokütle (ürün)	450 TW.y
Jeotermal ısı	10 TW.y
Kinetik enerji (atmosfer, okyanuslar)	32 TW.y

1 TW : 10^{12} W

1 TW.y: 3.16×10^{19} J

Tablo 2: Başlıca enerji sistemlerinin çevreyle ilgili özellikleri [8]

Enerji Sistemi	Kirlenici (kg/GJ)						Buhar Üretimi (10^{12} kg/y)			Çevresel Zarar (\$/GJ) ^c	Çevreyle Uyum Faktörü
	CO ₂	CO	SO ₂	NO _x	HC	PM ^a	Enerji Sistemi	Küresel Isınma (%) ^b			
Fosil Yakıt	72.40	0.80	0.38	0.34	0.20	0.09	8.9	3900	0.782	15.69	0.055
Kömür/Sentetik Fosil Yakıt	100.00	0.65	0.50	0.32	0.12	0.14	9.3	3900	0.782	19.45	0.044
Güneşle-Hidrojen	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	6.0	0.0	0.001	0.86	1.00

a : Partikül

b : Güneşin ısıtması sonucu doğal buhar üretimine kıyasla (5×10^{17} kg/y)

c : Doların 2005 değeri

Tablo 3: Muhtelif teknolojilerle elektrik üretiminden kaynaklanan sera gazı miktarlarının küçük hidroelektrik santral teknolojisi temel alınarak karşılaştırılması

Enerji Teknolojisi	Sera Gazı Oranı
Linyit	237 – 333
Kömür	240 – 325
Petrol	199 – 224
Doğalgaz	109 – 171
Güneş (PV)	25 – 70
Hidroelektrik (baraj)	4 – 59
Hidroelektrik (nehir)	1
Biokütle	8 – 15
Rüzgâr	2 – 12
Nükleer	2 – 5

Hesaplarda kullanılan verilerin kaynağı:

NEA-OECD: Nuclear Energy and Kyoto Protocol 2002

Tablo 4: ABD için ortalama elektrik üretim maliyetleri (2004 \$/MW saat)

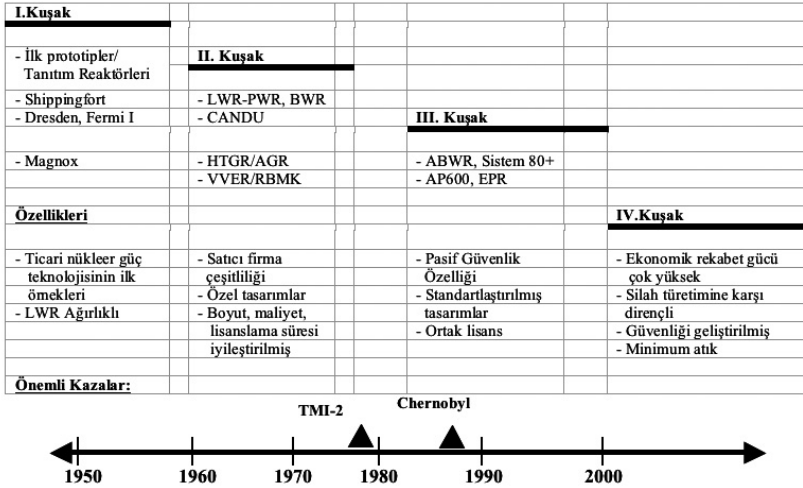
Maliyet türü	Teknoloji			
	Kömür	Doğalgaz	Rüzgâr	Nükleer
Yatırım	30.4	11.4	40.7	42.7
İşletme	4.7	1.4	8.3	7.8
Yakıt	14.5	36.9	0.0	6.6
Toplam	53.1	52.5	55.8	59.3

IEI, Int. Energy Outlook, 2006.

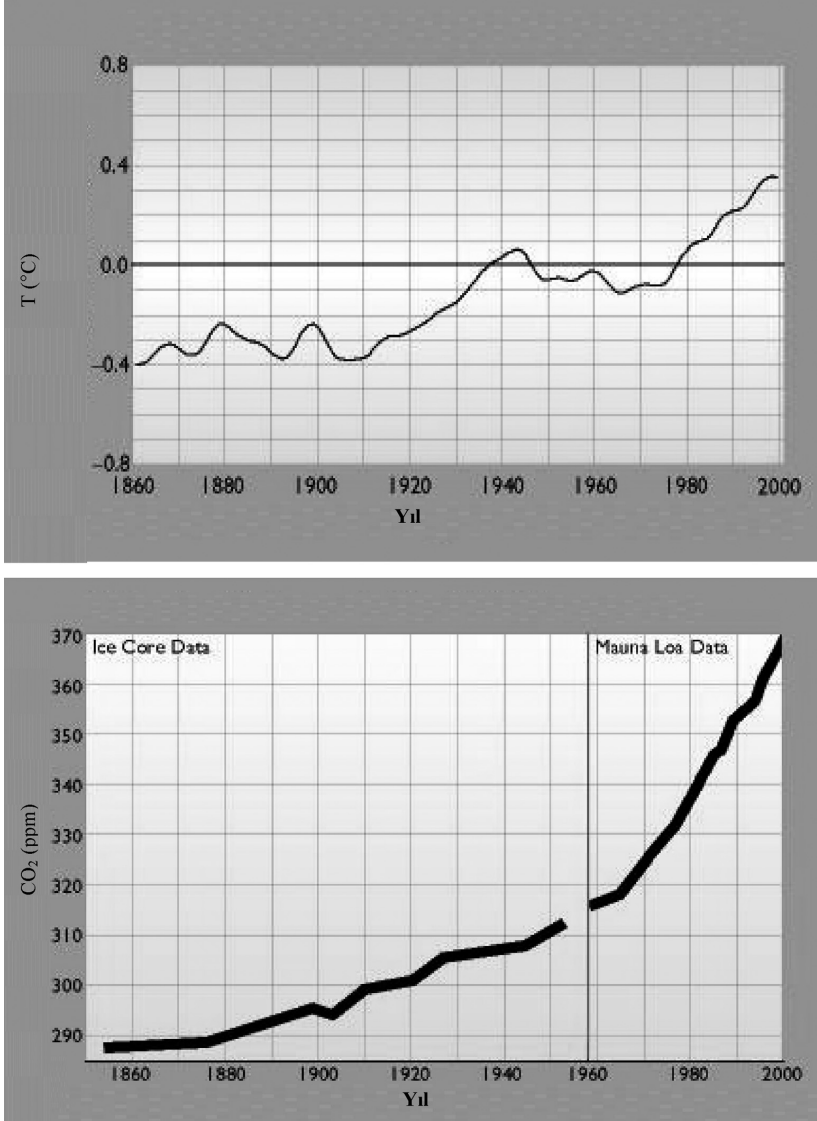
Tablo 5: Dünya fosil yakıt tüketimi ve çevresel zarar (2004 yılı değerleri) [11]

Fosil Yakıt Türü	Tüketim Miktarı (10 ¹⁸ J/yıl)	Çevresel Zarar (10 ⁹ USD)
Kömür	123.2	2044
Petrol	155.4	2331
Doğalgaz	114.5	1090
Toplam fosil yakıt	393.1	5465
Demografik ve Ekonomik Veriler		
Dünya nüfusu	6.45 x 10 ⁹	
Kişi başına çevresel zarar	852 USD	
Dünya toplam gelir	55500 x 10 ⁹ USD	
Kişi başına toplam gelir	8610 USD	
Çevresel zarar/toplam gelir	0.10	

Şekil 1: IV. Kuşağa Doğru Nükleer Güç Reaktörlerinin Evrimi [9]

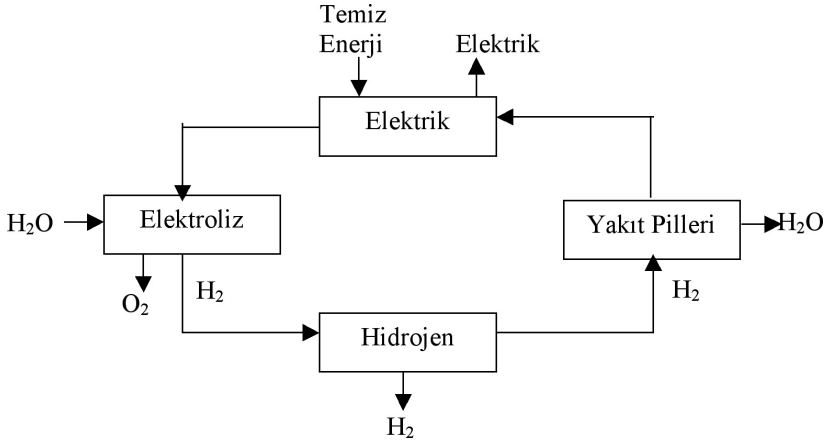


Şekil 2: Atmosferdeki CO₂ derişimi (ppm) ve ortalama sıcaklık (°C) için 1860-2000 değerleri [17]



*ppm: milyonda bir

Şekil 3: Su, elektrik ve hidrojen üzerine kurulu temiz enerji sistemi



TABLO LİSTESİ

Tablo 1: Dünyadaki yenilenebilir enerji potansiyeli [7]

Tablo 2: Başlıca enerji sistemlerinin çevreyle ilgili özellikleri [8]

Tablo 3: Muhtelif teknolojilerle elektrik üretiminden kaynaklanan sera gazı miktarlarının küçük hidroelektrik santral teknolojisi temel alınarak karşılaştırılması

Tablo 4: ABD için ortalama elektrik üretim maliyetleri (2004 \$/MW saat)

Tablo 5: Dünya fosil yakıt tüketimi ve çevresel zarar (2004 yılı değerleri) [11]

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1: IV. Kuşağa Doğru Nükleer Güç Reaktörlerinin Evrimi [9]

Şekil 2: Atmosferdeki CO₂ derişimi (ppm) ve ortalama sıcaklık (°C) için 1860-2000 değerleri [17]

Şekil 3: Su, elektrik ve hidrojen üzerine kurulu temiz enerji sistemi