

---

# Nükleer Enerji ve Çevre

Ferruh ERTÜRK\*

## Özet

Bugün dünyada büyük ölçüde yenilenemeyen enerji kaynakları kullanılmaktadır. Bunun sonucunda çevre sorunları önemli ölçüde artmıştır. Sera gazlarının atmosferdeki değişimlerinin son 150 yıl içinde artması sonucunda meydana gelen ısınma küresel boyutta iklimsel değişimlere yol açmakta, antropojenik kaynaklardan oluşan hava kirliliğinin bir göstergesi olan karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) derişimi, 18 ve 19. yüzyıllarda 280 – 290 ppm arasında iken, fosil yakıtların yakılması sonucunda 2006 yılının başında yaklaşık 382 ppm'e kadar ulaşmıştır. Sürdürülebilir kalkınma hedefleri çerçevesinde, ülkemizin enerji talebini karşılamak için, uzun vadede yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelirken, kısa ve orta vadede de çevreye en az zarar verecek şekilde nükleer enerji kaynaklarının kullanılmasına önem verilmelidir. Bu çalışmada, Türkiye'nin orta ve uzun vadedeki enerji talebinin karşılanabilmesi için ileriye dönük alternatif enerji kaynakları ile birlikte nükleer enerjinin dünyadaki durumu incelenmiş, nükleer enerji ile fosil yakıtlarla çalışan enerji santrallerinin çevresel etkileri karşılaştırılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Nükleer Enerji, Yenilenebilir Enerji, Enerji Kullanımının Çevresel Etkileri

## Giriş

Enerji, ekonomik ve sosyal kalkınma için temel girdilerden birisi durumunda olup, sanayi, konut ve ulaştırma gibi sektörlerde kullanılmaktadır. Ancak fosil yakıtlar (kömür, petrol, doğalgaz), üretim, çevrim, taşınım ve tüketim esnasında büyük oranda çevre kirlenmesine de yol açmaktadır. Özellikle enerji çevrim santralleri asit yağmurları gibi sınırlar ötesi etkileri de beraberinde getirmektedir. Bu nedenle çevre sorunları ulusal olduğu gibi uluslararası nitelikler de taşımaktadır. Fosil yakıtların (kömür, doğalgaz, petrol), hem tükenmekte oluşu, hem de küresel ölçekte ısınma, bölgesel ölçekte asit yağmurları

---

\* Yıldız Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Beşiktaş 34349, İstanbul.  
erturk@yildiz.edu.tr

ve yerel ölçekte de insan sağlığı, bitki ve malzemeler üzerinde olumsuz etkilere yol açmaları dolayısıyla hidrolik, nükleer, yenilenebilir gibi alternatif enerji kaynaklarına yönelmek gerekmektedir. Antropojenik kaynaklardan oluşan hava kirliliğinin bir göstergesi olan karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) derişimi, 18 ve 19. yüzyıllarda 280 – 290 ppm arasında iken, fosil yakıtların yakılması sunucunda ekspanansiyel bir artış göstererek 1990'lı yılların sonunda 370 ppm'e, 2006 yılının başında yaklaşık 382 ppm'e kadar ulaşmıştır. Yapılan tahminler, 21. yüzyılın sonunda CO<sub>2</sub> değişiminin 600 ppm civarında olacağını göstermektedir [1].

Bugünün enerji kaynakları, yenilenemeyen enerji kaynakları (kömür, petrol, doğalgaz ve nükleer enerji) ve yenilenebilen enerji kaynakları (jeotermal enerji, güneş, rüzgâr, hidrojen, hidrolik, gelgit ve dalga enerjisi) şeklinde sınıflandırılmaktadır. Türkiye'nin elektrik tüketimi, geçmiş kırk yılda, yıllık ortalama yüzde 10 gibi yüksek bir hızla büyümüştür. Yapılan çalışmalar, 1999 yılında 118 500 GWh olan elektrik tüketiminin, 2010 yılında 295.000 GWh civarında olduğu tahmin edilmektedir [2].Sürdürülebilir bir kalkınma yaklaşımı içinde, ekonomik ve sosyal gelişimi destekleyecek, çevreyi en az (kabul edilebilir) düzeyde tahrip edecek, en az maliyette enerji tüketimi hedef alınmak zorunluluğu vardır.

### **Enerji Kaynaklarının Mevcut Durum ve Potansiyeli**

Dünyadaki fosil yakıt rezervlerinin coğrafi dağılımı incelendiğinde, sıvı ve gaz yakıt rezervleri dünyanın belirli coğrafi bölgelerine yoğunlaşmışken, kömürün düzenli bir dağılım göstermekte ve üretimi 50'den fazla ülkede gerçekleştirilmektedir. Ayrıca 1998 yılı üretimi temel alındığında kömürün bilinen rezervlerinin yaklaşık 200 yıl olacağı tahmin edilmektedir. Bu süre petrol (sıvı yakıt) ve doğal gaz rezervleri için geçerli sürenin yaklaşık dört katıdır [3].

### **Nükleer Enerji**

Nükleer teknoloji, dünyanın elektrik gereksinmesinin %17'sini karşılamının yanı sıra, tıpta ve endüstride kullanılan birçok izotopun üretilmesi için de kullanılmaktadır. Hem araştırma yapmak hem de tıpta ve endüstride kullanılan izotopları üretebilmek için 59 ülke toplam 273 araştırma reaktörü işletmektedir. Bunların yanı sıra 250'yi aşkın gemi ve denizaltı nükleer enerji ile hareket edebilmektedirler. Günümüzde 31 ülke nükleer enerji santrali işletmektedir. Dünya genelinde, 1000'i aşkın, ticari, askeri ve araştırma amaçlı nükleer reaktör işletilmektedir [4].

Nükleer elektrik tüketiminin toplam elektrik üretimi içinde payı, Litvanya'da %77, Fransa'da %76, İsveç'te %46, İsviçre'de %41, İspanya'da %32,

Japonya'da %36, Almanya'da %28, İngiltere'de %27, Amerika'da %19, Rusya'da %13 civarında olup, dünya ortalaması yaklaşık %17'dir [4].

AB nükleer kurulu gücünün gelişimi Çizelge 1'de, nükleer santrallerden elde edilen elektriğin dünyadaki payı Çizelge 2'de, kurulu bulunan ve inşa halindeki nükleer enerji santrallerinin ülkelere göre dağılımı ise Çizelge 3'de verilmiştir.

**Çizelge 1. AB nükleer kurulu gücünün gelişimi [5]**

	Kurulu Güç (GW)	İnşaatı süren nükleer santraller (GW)	İşletmeden çıkarılan nükleer kapasite (GW)	
			1995–2010	2015–2030
	1995	1995–2010	1995–2015	2015–2030
Belçika	5,9	0,0	0,0	5,8
Finlandiya	2,4	0,3	0,0	2,4
Fransa	66,7	6,4	1,2	56,0
Almanya	25,1	0,0	4,1	21,0
Hollanda	0,5	0,0	0,5	0,0
İspanya	7,5	0,0	0,2	7,3
İsveç	10,4	0,0	2,7	7,8
İngiltere	13,4	0,0	2,7	9,4
Toplam	131,9	6,7	11,3	109,7

**Çizelge 2. Nükleer elektriğin dünyadaki payı\***

ÜLKE	NÜKLEER ELEKTRİĞİN PAYI (%)	ÜLKE	NÜKLEER ELEKTRİĞİN PAYI (%)
LİTVANYA	77	TAYVAN	25
FRANSA	76	ERMENİSTAN	25
BELÇİKA	55	ÇEK CUMHURİYETİ	21
İSVEÇ	46	ABD	19
UKRAYNA	45	RUSYA	13
SLOVAKYA	44	KANADA	12
BULGARİSTAN	42	ARJANTİN	10
İSVİÇRE	41	ROMANYA	10
GÜNEY KORE	41	GÜNEY AFRİKA	7,3
SLOVENYA	38	MEKSİKA	5,4
JAPONYA	36	HOLLANDA	4,1
MACARİSTAN	36	HİNDİSTAN	2,5
İSPANYA	32	ÇİN	1,2
ALMANYA	28	BREZİLYA	1,1
FİNLANDİYA	27	PAKİSTAN	0,7
İNGİLTERE	27	DÜNYA ( Ortalama)	17

Çizelge 3 Kurulu bulunan ve inşa halindeki nükleer enerji santralleri (1999)\*

Ülke	Çalışır Durumdaki Reaktör Sayısı	İnşa Halindeki Reaktör Sayısı
ABD	104	-
Almanya	20	-
Arjantin	2	1
Belçika	7	-
Brezilya	1	1
Bulgaristan	6	-
Çek cum.	4	2
Çin	3	6
Ermenistan	1	-
Finlandiya	4	-
Fransa	58	1
G. Afrika Cum.	2	-
G. Kore	16	2
Hindistan	10	4
Hollanda	1	-
İngiltere	35	-
İran	-	1
İspanya	9	-
İsveç	12	-
İsviçre	5	-
Japonya	53	1
Kanada	16**	-
Litvanya	2	-
Macaristan	4	-
Meksika	2	-
Pakistan	1	1
Romanya	1	1
Rusya	29	3
Slovakya	5	3
Slovenya	1	-
Tayvan	6	2
Ukrayna	14	2
<b>Toplam</b>	<b>434</b>	<b>31</b>

\*IAEA News Brief, 14 no:2, April-May, 1999

\*\*Kanada'da kapalı bulunan fakat tekrar işletmeye alınması planlanan iki santral (yedi ünite) buradaki dizine katılmamıştır.

### ***Türkiye'nin Komşularındaki Nükleer Santraller***

Şekil 1'de Türkiye'nin etrafında bulunan nükleer santrallerin yerleri gösterilmiştir[7]. Şekil 1'den görüldüğü gibi, Ermenistan'ın Türkiye sınırına yalnızca 10 km uzaklıktaki Medsamor ve Bulgaristan'da bulunan Kozloduy nükleer santralleri, Türkiye için birer tehdit niteliği taşımaktadır. ABD Enerji Ofisi'nin yayınladığı raporda Medsamor ve Kozloduy santralleri Sovyetler Birliği'nin dağılmasından önce de faaliyette olan en tehlikeli dokuz nükleer santral arasında gösterilmişti. ABD Denetleme Kurumu (GAO) 1995 yılında hazırladığı raporda her iki santralında uzun yıllar kapalı kaldıktan sonra yeniden açıldığını ve özellikle Ermenistan'daki Medsamor'un deprem kuşağında bulunması nedeniyle büyük tehlike yarattığının altını çizmektedir. Medsamor'un 1988'de yaşanan depremde zarar gördüğü, reaktörün kaza anında sızıntıyı önleyebilecek çelik-beton kubbeye sahip olmadığı ve acil durumlarda ısıyı çekecek soğutma sistemlerinin yetersiz olduğu belirtilmektedir [6].

GAO'nun raporunda tehlikeli reaktörlerin yanı sıra nükleer atık depolama merkezlerine de değinilmektedir. Ermenistan ve Azerbaycan'ın birer tane nükleer atık depolama ve nükleer yakıt deposuna sahip oldukları raporun dikkat çeken noktalarında biridir. Türkiye'nin Karadeniz komşusu Ukrayna'nın 26 nükleer tesisi arasında 12 atık deposu ve üç nükleer araştırma merkezi bulunmaktadır [6].

TAEK Ermenistan ve Bulgaristan'da bulunan Rus yapımı, VVER-440 tipi bu santrallerle ilgili inceleme başlatarak, her iki ülkenin sınırlarına monte edilen 32 istasyon aracılığıyla Radyasyon Erken uyarı ağı kurmuştur [6].

**Şekil 1. Türkiye'nin etrafındaki nükleer santrallerin yerleri [7]**



### ***Çevresel Etkiler Açısından Nükleer ve Fosil Yakıtların Karşılaştırılması***

Bütün enerji üreten santraller ürettikleri enerjiyi nakil hatları vasıtasıyla ihtiyaç duyulan yerlere gönderirler. Bununla birlikte, yakıtın kaynaktan ekstraksiyonu, taşınımı, tesisin inşası, enerji üretimi ve oluşan katı, sıvı ve gaz halindeki atıkların bertarafına kadar geçen tüm safhaların çevre etki değerlendirmesinin yapılması gereklidir. Yukarıda sayılan bu beş faaliyetin çevresel etkileri bütün enerji üreten santraller için geçerlidir. Ancak, bu faaliyetler içinde enerji üretimi, yerel, bölgesel ve küresel etkilerin (insan sağlığı, malzemeler, flora ve fauna üzerindeki etkiler) sürekliliği açısından en önemli paya sahiptir. Enerji üretimi esnasında oluşan atıkların bertarafı safhasında, nükleer santrallerin yaptığı iki olumsuz etki, tekrar proses edilme ve radyoaktif atıkların uzaklaştırılması aşamalarında meydana gelir. Tekrar proses edilme aşamasında radyoaktif emisyonlar hava kirliliği üzerinde olumsuz etkiye sahiptir. Radyoaktif atıkların uzaklaştırılması sırasında meydana gelebilecek bir kaza istenmeyen etkilerin oluşmasına neden olabilecektir. Nükleer tesislerden çıkan kullanılmış yakıtların geri kazanılması sonucu ortaya çıkan yüksek düzeyli radyoaktif atıkların çevreye zarar verilmeden uzaklaştırılması, nükleer endüstrinin temel sorunlarından biridir. Araştırmalar, bu tür atıkların kaya tuzu, granit (granadiyorit/bazalt) kil ve tüf oluşumları içerisinde açılacak derin yeraltı depolarında muhafaza edilmesinin en uygun yöntem olduğunu ortaya koymuştur [8]. Küçükçekmece Nükleer Araştırma Merkezi ve Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü- Çevre Etüt Dairesi tarafından yapılan çalışmalarda, Türkiye’de yer alan ve nihai depo ortamı olarak değerlendirilebilecek formasyonlar hidrojeolojik ve tektonik açıdan incelenmiştir [8]. Ayrıca güvenli ve kalıcı bir depolama için ülkemizde bulunan stratejik doğal malzemeler araştırılmaktadır. Nükleer ve fosil yakıtların çevresel etkileri, çevresel etki değerlendirilmesi için kullanılan yöntemlerden biri olan Leopold Matrisi ile incelenebilir. 1971’de ABD Jeolojik Araştırmalar Merkezi’nde Leopold tarafından geliştirilen matris, inşaat projelerinde sebep ve tesir ilişkilerinin kalitatif olarak belirlenmesini esas alan bir kontrol listesidir olup matrisinin modifikasyonları çeşitli kuruluşlarda uygulanmaktadır [9].

### ***Çevresel Etkilerin Leopold Matrisi ile Karşılaştırılması***

Kömür, petrol ve doğalgaz ile çalışan teknik santrallerin Leopold Matrisi ile değerlendirilmesi, sırasıyla, Çizelge 2.4, 2.5, 2.6’de; nükleer santrallerin değerlendirilmesi ise Çizelge 2.7’de görülmektedir. Leopold matrisinde, diyağonaldeki kutunun sol üst köşesindeki rakam etkinin şiddetini, sağ alt köşesindeki rakam ise etkinin önemi gösterir. Burada 1–10 arasında değişen rakamlar içinde 10 etkinin en büyük şiddetini ve önemini, 1 en az şiddet ve önemini ifade eder.

Çizelge 2.4. Kömürle çalışan termik santrallerin Çevresel Etki Değerlendirilmesi

Faaliyetler Etkileri	Kaynak Ekstraksiyonu	Ya kıt İşlenmesi	Nakliye	Enerji Dönüşümü	Enerji Nakli
Hava Kirliliği	2 / 1	2 / 1	1 / 2	10 / 10	1 / 1
Su Kirliliği	8 / 7	9 / 8	2 / 1	9 / 7	1 / 1
Katı Atıklar	10 / 10	8 / 10	1 / 1	10 / 9	1 / 1
Arazi Kullanımı	10 / 9	7 / 6	8 / 7	9 / 8	9 / 8
Flora	10 / 9	6 / 7	7 / 8	9 / 10	6 / 7
Fauna	10 / 9	5 / 6	6 / 7	9 / 8	6 / 6

Çizelge 2.5. Petrolle çalışan termik santrallerin Çevresel Etki Değerlendirilmesi

Faaliyetler Etkileri	Kaynak Ekstraksiyonu	Ya kıt İşlenmesi	Nakliye	Enerji Dönüşümü	Enerji Nakli
Hava Kirliliği	2 / 1	5 / 4	8 / 4	10 / 10	1 / 1
Su Kirliliği	8 / 7	9 / 8	9 / 10	9 / 7	1 / 1
Katı Atıklar	2 / 1	2 / 1	1 / 1	1 / 1	1 / 1
Arazi Kullanımı	9 / 8	9 / 8	10 / 9	9 / 8	9 / 8
Flora	8 / 9	7 / 8	8 / 9	8 / 9	6 / 7
Fauna	7 / 8	7 / 8	8 / 9	8 / 9	6 / 6

Çizelge 2.6. Doğalgazla çalışan termik santrallerin Çevresel Etki Değerlendirilmesi

Faaliyetler Etkileri	Kaynak Ekstraksiyonu	Ya kıt İşlenmesi	Nakliye	Enerji Dönüşümü	Enerji Nakli
Hava Kirliliği	2 / 1	2 / 1	1 / 1	10 / 10	1 / 1
Su Kirliliği	3 / 2	3 / 2	1 / 1	9 / 7	1 / 1
Katı Atıklar	2 / 1	2 / 1	1 / 1	1 / 1	1 / 1
Arazi Kullanımı	9 / 8	4 / 3	9 / 8	9 / 8	9 / 8
Flora	3 / 4	2 / 3	7 / 8	4 / 5	6 / 7
Fauna	2 / 3	2 / 2	5 / 6	4 / 5	6 / 6

**Çizelge 2.7. Nükleer santrallerin Çevresel Etki Değerlendirilmesi**

Faaliyetler Etkileri	Kaynak Ekstraksiyonu	Ya kıt İşlenmesi	Nakliye	Enerji Dönüşümü	Enerji Nakli
Hava Kirliliği	3 2	2 1	1 1	1 1	1 1
Su Kirliliği	3 2	2 1	1 1	9 7	1 1
Katı Atıklar	7 8	9 10	1 1	10 10	1 1
Arazi Kullanımı	5 4	4 3	1 1	9 8	9 8
Flora	3 4	2 3	2 2	1 1	6 7
Fauna	3 4	2 3	2 2	1 1	6 6

Çizelge 2.4, 2.5, 2.6 ve Çizelge 2.7'deki çevresel etki değerlendirmeleri karşılaştırıldığında, kömür, petrol ve doğalgaz ile çalışan teknik santraller ile nükleer santrallerin çevresel etkilerinin toplam şiddet ve önemi Çizelge 2.8'de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.8. Çeşitli Enerji Santrallerin Çevresel Etkilerinin Toplam Şiddet ve Önemlerinin Karşılaştırılması**

Santral Tipi	ÇEVRESEL ETKİLERİN TOPLAM ŞİDDETİ	ÇEVRESEL ETKİLERİN TOPLAM ÖNEMİ
<b>KÖMÜR</b>	192	185
<b>PETROL (Fuel-Oil)</b>	188	181
<b>DOĞALGAZ</b>	121	116
<b>NÜKLEER</b>	108	105

Çizelge 2.9'dan görüldüğü gibi, çevresel etkilerinin toplam şiddet ve önemi açısından incelendiğinde, nükleer santraller, fosil yakıt ile çalışan santralere göre çevreye en az zarar veren enerji kaynaklarıdır.

### Sonuç ve Öneriler

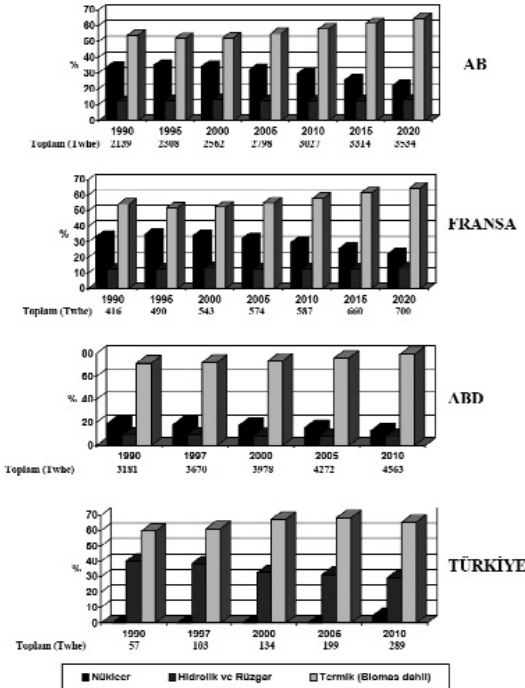
Hali hazırda, konvansiyonel ve yenilenebilir enerji üretimlerinin dağılımları, AB, Fransa, ABD ve Türkiye'de nükleer, hidrolik-rüzgar ve termik üretimin elektrik enerjisi içindeki paylarını gösteren Şekil 2'de gösterilmiştir [10]. Şekil 2'den görüldüğü gibi, Türkiye'de konvansiyonel enerji üretiminde nükleer enerjinin payı hâlihazırda bulunmamaktadır. Nükleer enerji santralleri, özellikle yer tespitinde **ÇED çalışmaları kapsamlı bir şekilde yapılırsa ve çok**



daha önemlisi, yeterli emniyet koşullarını gerçekleştiren en son teknolojiye göre projelendirilirse, çevresel etkilerinin toplam şiddet ve önemi açısından incelendiğinde, yerel, bölgesel ve küresel ölçekteki çevresel etkileri, fosil yakıtlarla çalışan termik santrallere göre sürdürülebilir kalkınma hedeflerine çok daha uygundur.

Türkiye halihazırda enerji üretiminde hem dışa bağımlı bir çizgi izlemekte hem de kaynak çeşitliliğine uymamaktadır. Enerji üretiminde arz ve talebin dengelenmesinin yanında arz güvenliği ve kaynak çeşitliliği de önemli bir diğer husustur. Tek bir kaynağa bağımlı kalmak ve dışa bağımlılığın yüksek oranlarda olması da yine arz güvenliğini ciddi şekilde tehlikeye sokabilmektedir. Ülkemizin uzun vaat ededeki enerji politikaları belirlenirken, rüzgar, güneş ve hidrojen gibi yenilenebilir enerji üretimlerinin geliştirilmesine de ağırlık vermek zorundadır. Özellikle, ICHET projesi kapsamında kurulan İstanbul Hidrojen Enstitüsünün, hidrojen üretimi ile ilgili çalışmalarına mutlaka destek verilmelidir.

Şekil 2. AB, Fransa, ABD ve Türkiye’de nükleer, hidrolik-rüzgar ve termik üretimin elektrik enerjisi içindeki payları [8]



Ülkemizin gelecekteki enerji talebini karşılaşmamak için, kaynak çeşitliğine önem verilmeli, nükleer enerji ile birlikte, alternatif enerji kaynaklarının kullanımına yönelik çalışmalara hız verilmeli, bu tür çalışmalar teşvik edilmeli, AR-GE çalışmalarına yeterli kaynak ayrılmalıdır. Ayrıca enerji kaynaklarının kullanımında dışa bağımlılığın azaltılması için yerli kaynak potansiyelinin verimli kullanılmasına dönük çalışmalar yapılmalı, bu tür çalışmalara destek olunmalıdır.

### KAYNAKLAR

[1] Komhyr, W.D., Monthly Activities Report. Geophysical Monitoring for Climatic Change/Monitoring Trace Gases Group, Environmental Research Laboratories, NOAA, Boulder, Colorado, 1981.

[2]. Şen Z., “*Türkiye’nin Temiz Enerji İmkânları*”, Mimar ve Mühendis Dergisi, Sayı: 33, Nisan-Mayıs-Haziran, 2004.

[3]. Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), “*Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Elektrik Enerjisi Özel İhtisas Komisyonu Raporu*”, DPT: 2569 – ÖİK: 585, Ankara, 2001.

[4]. Türkiye Çevre Vakfı, “*Türkiye’nin Çevre Sorunları 2003*”, Ankara, 2003.

[5]. European Union Energy Outlook to 2020, 1999.

[6] Sita Politik Danışmanlık, “Nükleer Enerji”, [www.sita.com.tr](http://www.sita.com.tr), Erişim: 12.02.2005.

[7]. Kam, E., “*Tekirdağ’ın Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Tayini*”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004.

[8]. Osmanlıoğlu, A.E., Altunkaya, Kahraman, A., Koçak, M., Gülkan, Ş. Nükleer Atık Nihai Depolama Araştırması Yatırım Projesi , Küçükçekmece Nükleer Araştırma Merkezi, 2003.

[9]. Goncaloğlu B. İ., Ertürk F., Ekdal A., “*Termik Santrallerle Nükleer Santrallerin Çevresel Etki Değerlendirmesi Açısından Karşılaştırılması*”, Ekoloji Çevre Dergisi, Sayı: 34, Ocak-Şubat-Mart, 2000.

[10]. Ertürk F., “*Türkiye’nin Alternatif Enerji Üretim İmkânları ve Fırsatları*”, Türkiye’de Enerji ve Kalkınma Sempozyumu, 26 Nisan 2006, İstanbul.