

T.C.
İstanbul Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü
İktisat Teorisi Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

İktisadi Etkinlik Açısından Yenilenebilir Enerji
Kaynaklarının Fosil Yakıtlar İle Karşılaştırılması

Altyn Ablabekova
2501060899

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Gökhan Karabulut

İstanbul 2008

İktisadi Etkinlik Açısından Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Fosil Yakıtlar İle Karşılaştırılması

Altyn Ablabekova

ÖZ

Enerjiye olan ihtiyaç hep vardı. İlkel toplumlarda gıdadan alınan enerji, varolmayı sağlarken, gelişmiş toplumlarda büyüme ve gelişmeyi sağlayan vazgeçilmez girdi niteliğindedir. Enerji ihtiyacı, nüfus artışı ve teknolojik gelişmelere paralel olarak artmaya devam etmektedir. Ülkelerin sanayileşmeleri fosil enerji kaynaklara dayanması, bu enerji kaynaklarının rezervlerinin tükenme sınırına yaklaşmasına ve sonucunda pahalılaşmasına neden olmaktadır. Diğer yandan fosil enerji kaynakların yoğun kullanımı çevresel sorunlara yol açmaktadır. Enerji arz güvenliğini sağlamak amacı ile bir yandan fosil enerji kaynakların etkin kullanım yolları aranmakta, diğer yandan enerji çeşitliliğine gidilerek yenilenebilir enerji kaynaklarından daha kapsamlı yararlanma yolları araştırılmaktadır. Çoğu güneşten gelen yenilenebilir enerji kaynakları, tükenmez, çevreye dost ve gelecekte fiyat olarak rekabet edebilecek enerji kaynakları olmaktadır.

Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim teknolojileri, dünyadaki uygulamaları ve üretim maliyetleri ele alınarak enerji güvenliğinin sağlanmasında hem gelişmekte olan hem gelişmiş ülkeler için önemi incelenmiştir. Fosil enerji kaynakları karşısında yerel enerji kaynağı olup enerji bağımlılığın azaltılması, uygun teknoloji kullanılmasında çevreye zararsız düşük maliyetli enerji kaynağı olabilecek durumundadır. Ülkelerin bu konuda yaptıkları araştırma ve geliştireme faaliyetleri, uluslararası işbirlikleri, kanuni düzenleme ve teşvikleri, artan enerji ihtiyacının karşılanmasını güvence altına almış olacaktır. Yenilenebilir enerji kaynakların önemi Türkiye de dahil bir çok ülke tarafından benimsenmekte veya adımlar alınmakta olup, zengin fosil enerji kaynak rezervlerine sahip ülkeler de farkına varmaktadır.

Economical Efficiency (Benefits) of Renewable Energy in Comparison with Fossil Energy Sources

Altyn Ablabekova

ABSTRACT

There has been always need for energy. If in primitive communities energy from food was an element for lasting life, in modern societies it is an important input for developing and growing. Demand for energy increases according to increasing population and technological development. Because of industrialisation of all countries is based on using fossil energy sources, reserves of these energy sources are reaching to be exhausted what leads to rising of their prices. Besides intensive using of fossils causes negative impact on the environment. For this reason, to provide energy supply safety on the one hand efficient utilizing ways of energy sources that are fossil origin are searched, and on the other hand utilizing ways of renewable energy sources are searched more extensively. Renewable energy sources most of which formed from sun are inexhaustible, non-polluting. In the future they can be price competitive against fossils.

In this study, it is aimed to analyse importance of renewable energy sources for both developed and developing countries. For this renewable technology, global applications and generation cost were described. Renewables besides fossils are local energy sources, what gives an opportunity to decrease energy dependence. When using suitable technology renewables are promising to be cheap and environment friendly reliable energy. Research and development activity, law regulation and subsidise, international cooperation in this case will help to provide energy for increasing energy demand. Most of countries including Turkey are adopting renewables or making first steps on this way, even countries which have rich fossil reserves become aware of them.

ÖNSÖZ

İnsan tarihi gelişmelere bağlı olarak artan enerji kullanımı ve ihtiyacı karşısında enerji arz güvenliğinin sağlanması sorunu her geçen gün önem kazanmaktadır. Bazı ülkelerin enerji ithal etmesi dolayısıyla enerji bağımlısı olması, bazı ülkelerin sanayileşme süreçlerini tamamlamamış olması dolayısıyla enerjiye ihtiyaç duyması karşısında kaynak yetersizliği sorunu oluşabilir. Sınırlı rezervlerde bulunan fosil kaynaklar yanında yenilenebilir enerji kaynakların kullanılması artan enerji ihtiyacını karşılamada güven sağlayabilir.

Dünya fosil enerji kaynakların tüketim ve üretim miktarları, olağanüstü durumlar hariç, artan sürekli trend göstermektedir. Buna bağlı olarak rezerv miktarları düşmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakların kullanımı dünyanın elektrik enerjisi ve ısı ihtiyacını kat kat karşılayabilecek potansiyele sahiptir.

Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynakların fosil enerji kaynakları ile iktisadi etkinlik açısından hangi derecede rekabet edebileceği ortaya koyulmaya çalışıldı. Bu amaçla yenilenebilir enerji kaynakların detaylı incelemesine başvuruldu. Çalışma sırasında yenilenebilir enerji kaynaklara ait istatistik verilerin eksik olması ve geçmiş dönemlere ait olması gibi sorunlar ile karşılaşıldı.

Ülke örnekleri verilerek ve ayrıca Türkiye için incelenme yapılarak her ülkenin enerji ihtiyacını yerel nitelikte olan yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılayabileceği gösterilmeye çalışılmıştır.

Gelecek 30 yılda da fosil enerji kaynakların kullanımı devam edecek gibi görülmektedir, ancak yenilenebilir enerji kaynaklara yatırımların şimdiden yapılması gerektiği açık olarak görülmüştür.

İÇİNDEKİLER

Öz.....	iii
Abstract.....	iv
Önsöz.....	v
İçindekiler.....	vi
Tablolar Listesi.....	ix
Grafikler Listesi.....	xii
Kısaltmalar Listesi.....	xiii
Giriş.....	1
1. ENERJİ ÜRETİMİ VE ULUSLARARASI ENERJİ POLİTİKALARI...3	
Enerji Üretiminin Genel İktisadi Yapıdaki Önemi.....	3
Enerji ihtiyacı ve Dünya Ekonomisi	8
2. DÜNYADA ENERJİ KAYNAKLARI	13
2.1. Enerji Kaynakların Sınıflandırılması	13
2.2. Fosil Enerji Kaynakları	14
2.2.1. Kömür	16
2.2.1.1. Kömür Üretimi	16
2.2.1.2. Kömür Tüketimi	18
2.2.2. Petrol	20
2.2.2.1. Petrol Üretimi	22
2.2.2.2. Petrol Tüketimi	23
2.2.3. Doğal Gaz	26
2.2.3.1. Doğal Gaz Üretimi	27
2.2.3.2. Doğal Gaz Tüketimi	29
2.3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	30
2.3.1. Hidrolik Enerji	34
2.3.1.1. Hidrolik Enerji Maliyeti	37
2.3.2. Güneş Enerjisi	39
2.3.2.1. Isıl Güneş Teknolojileri	41
2.3.2.1.1. Yoğunlaştırıcı Güneş Sistemlerin	
Maliyeti	46
2.3.2.1.2. Dünyada Kurulu Güneş Sistemleri	49

2.3.2.2. Güneş Pilleri (PV)	54
2.3.2.2.1. Güneş Pillerin (PV) Maliyeti	57
2.3.2.2.2. Dünyada PV Sistemleri	60
2.3.3. Rüzgar Enerjisi	63
2.3.3.1. Rüzgar Enerjisi Maliyeti	66
2.3.3.2. Dünya Rüzgar Enerjisi Potansiyeli	70
2.3.4. Jeotermal Enerji	79
2.3.4.1. Jeotermal Enerji Maliyeti	84
2.3.4.2. Dünyada Jeotermal Enerji Potansiyeli	87
2.3.5 Biokütle Enerjisi	93
2.3.5.1. Biokütle Yetiştiriciliği	96
2.3.5.2. Biokütleden Elektrik Enerjisi Üretimi	101
2.3.5.3. Biyogaz ve Biyoyakıt Üretimi	106
2.3.6. Okyanus Enerjisi	114
2.3.6.1. Dalga Enerjisi	115
2.3.6.2. Gelgit Enerjisi.....	119
2.3.6.3. Okyanus Isısı Enerjisi (OTEC)	121
3.TÜRKİYE’NİN FOSİL VE YENİLENEBİLİR ENERJİ	
KAYNAKLARI	122
3.1. Türkiye’nin Fosil Enerji Kaynakları.....	124
3.1.1. Kömür	124
3.1.2. Petrol	129
3.1.3. Doğal Gaz	133
3.2. Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları	138
3.2.1. Hidrolik Enerji	140
3.2.2. Güneş Enerjisi	142
3.2.3. Rüzgar Enerjisi	145
3.2.4. Jeotermal Enerji	149
3.2.5. Biokütle Enerjisi	153
3.2.6. Deniz Enerjisi	156

4. DÜNYA VE TÜRKİYE’DE ENERJİ GÜVENLİĞİNİ SAĞLANMASINDA YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARIN ÖNEMİ	157
4.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakların Büyüklüğü	163
4.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakların Ekonomik Yönü	166
4.3. Enerji Kullanımının Dışsal Maliyeti	169
Sonuç	178
Kaynakça.....	183

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo – 1.1: Tarihsel Enerji Kullanımı

Tablo – 1.2: Dünya GSMH, Nüfus ve Enerji Tüketimi, 1971–2006

Tablo – 2.1: Dünya Fosil Kaynakların Rezerv Durumları, 2007

Tablo – 2.2: 2007 Yılı İtibari ile Dünya Fosil Kaynakların Kullanım Süreleri

Tablo – 2.3: Dünya Kömür Üretiminin Bölgesel Payları, 1981 – 2007 (%)

Tablo – 2.4: Dünya Kömür Tüketiminin Bölgesel Payları, 1965 – 2007 (%)

Tablo – 2.5: Dünya Petrol Rezervlerinin Bölgesel Payları, 1980 – 2007(%)

Tablo – 2.6: Dünya Petrol Üretiminin Bölgesel Payları, 1965-2007 (%)

Tablo – 2.7: Dünya Petrol Tüketiminin Bölgesel Payları, 1965-2007 (%)

Tablo – 2.8: Sektörlere Göre Dünya Petrol Kullanımı, 2004-2030 (%)

Tablo – 2.9: Dünya Doğal Gaz Rezervlerin Bölgesel Payları, 1980-2007 (%)

Tablo – 2.10: Dünya Doğal Gaz Üretiminin Bölgesel Payları, 1970-2007 (%)

Tablo – 2.11: Dünya Doğal Gaz Tüketiminin Bölgesel Payları, 1970-2007 (%)

Tablo – 2.12: Sektörlere Göre Dünya Doğal Gaz Kullanımı, 2004-2030 (%)

Tablo – 2.13: Dünyada Kurulu Yenilenebilir Enerji Kapasitesi, 2005

Tablo – 2.14: Bölgelere göre Yenilenebilir Enerji Kaynakların Kullanımı, 2004

Tablo – 2.15: Dünya Hidroelektrik Enerji Potansiyeli

Tablo – 2.16: Gelişmekte Olan Ülkelerde Küçük Hidroelektrik Santrallerin Maliyeti

Tablo – 2.17: Küçük Ölçekli Hidrolik Santraller için Maliyet ve Performans Tahminleri (1999 fiyatları)

Tablo – 2.18: Ülkeler için Parabolik Oluk Kolektörlü YGS'in Maliyetleri

Tablo – 2.19: YGS Teknolojileri Yatırım ve Üretim Maliyetleri

Tablo – 2.20: YGS için Planlanan ve Tahmin Edilen Maliyet Değerleri

Tablo – 2.21: Yapım Aşamasında Olan YGS

Tablo – 2.22: Akdeniz Bölgesi için Teknik ve Ekonomik Güneş Termal Enerjisi Potansiyeli

Tablo – 2.23: Avrupa için Aktif Güneş Isıtma Sistemleri Piyasa Büyüklüğü

Tablo – 2.24: PV Sistemlerin Boyutlarına göre Uygulama Alanları

Tablo – 2.25: Farklı PV Teknoloji ve Uygulamaları için Toplam Sistem Maliyetleri (USD/Watt)

Tablo – 2.26: Yıllara göre Dünya PV Sistemlerin Üretimi (MW)

Tablo – 2.27: İlk On Rüzgar Türbin Üreticileri, 2001

Tablo – 2.28: Almanya’da Kurulu Rüzgar Gücü Kapasiteleri (MW)

Tablo – 2.29: Dünya Kurulu Rüzgar Gücü (MW)

Tablo – 2.30: Jeotermal Enerjisi Yatırım Maliyeti (USD/kW)

Tablo – 2.31: Jeotermal Güç Sistemlerin O&M Maliyetleri (USD cent/kWh)

Tablo – 2.32: Dünya Jeotermal Enerji Potansiyeli, 2001

Tablo – 2.33: Jeotermal Kurulu Güç ve Elektrik Üretim Miktarı, 1975 - 2005

Tablo – 2.34: Dünyada Kurulu Jeotermal Güç

Tablo – 2.35: Dünyada Jeotermal Enerji Kaynakların Direk Kullanımı, 2000

Tablo – 2.36: Biokütle Teknolojisine Göre Yatırım ve Üretim Maliyetleri

Tablo – 2.37: Enerji Tüketimi Sıralamasındaki İlk 11 Ülkenin Biokütle Kaynaklarına Göre Elektrik Üretim, 2000 (TWh/yıl)

Tablo – 2.38: Çeşitli Kaynaklardan Elde Edilebilecek Biyogaz Verimleri ve Biyogazdaki Metan Miktarları

Tablo – 2.39: Avrupa Ülkelerinde Yıllara Göre Biyogaz Üretimi (Mtep)

Tablo – 2.40: Etanol Üretim Maliyeti (USD/litre)

Tablo – 2.41: 2004 – 2007 Yıllarında Dünya Biyokütle Üretimi (milyar litre)

Tablo – 2.42: Ülkelere göre Biyokütle Üretimi 2005 (milyar litre)

Tablo – 2.43: Okyanus Enerjisinin Teknik ve Kullanılabilir Potansiyeli

Tablo – 3.1: Türkiye’nin Birincil Enerji Kaynakların Üretimi (bin tep)

Tablo – 3.2: Türkiye’nin Birincil Enerji Kaynakların Tüketimi (bin tep)

Tablo – 3.3: Türkiye’nin Kömür Rezervleri

Tablo – 3.4: Türkiye’de Sektörlere göre Kömür Tüketimi (%)

Tablo – 3.5: 2006 Yılı Sonu ile Türkiye’de Ham Petrol Rezervleri (milyon ton)

Tablo – 3.6: Türkiye’nin Ham Petrol İthalatı, 1996 -2007 (milyon ton)

Tablo – 3.7: Türkiye’de Sektörlere göre Petrol Tüketimi (%)

Tablo – 3.8: 2006 Yılı Sonu ile Türkiye’de Doğal Gaz Rezervleri (m3)

Tablo – 3.9: Doğal Gaz Alım Anlaşmaları

Tablo – 3.10: Türkiye’nin Yıllar İtibarıyla Doğal Gaz Alımları (milyar m3)

Tablo – 3.11: Türkiye’de Sektörlere göre Doğal Gaz Tüketimi (%)
Tablo – 3.12: Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Potansiyeli
Tablo – 3.13: Türkiye’nin Hidroelektrik Durumu, 2007
Tablo – 3.14: Türkiye’nin Güneş enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı
Tablo – 3.15: Türkiye’nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli
Tablo – 3.16: Türkiye’de Yıllara Göre Güneş Termal Enerjisi Üretimi
Tablo – 3.17: Türkiye’nin Güneş Termal Enerji Potansiyeli
Tablo – 3.18: Türkiye’nin PV Potansiyeli
Tablo – 3.19: Türkiye’nin Rüzgar enerji Potansiyeli
Tablo – 3.20: Türkiye’nin İşletmedeki ve Devreye Alınacak Santrallerin Kurulu Gücü
Tablo – 3.21: Türkiye’de Jeotermal Elektrik Üretimi ve Doğrudan Kullanım, 2006, 2013
Tablo – 3.22: Türkiye’nin Enerji Ormanları Potansiyeli
Tablo – 3.23: Türkiye’de Yapımı Tamamlanan Biokütle ve Atık Yakıt Kaynaklı Kojenerasyon Tesisleri
Tablo – 4.1: IEA Referans Senaryosuna Göre Dünya Enerji Talebi (Mtep)
Tablo – 4.2: Türkiye’nin Birincil Enerji Tüketim Hedefleri (bin tep)
Tablo – 4.3: Dünya Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli
Tablo – 4.4: Yenilenebilir Enerji Projelerine İlişkin Önemli Risk/Engeller
Tablo – 4.5: Enerji Kaynaklarına göre Elektrik Enerjisi Üretim Maliyetleri (USD cent/kWh)
Tablo – 4.6: Türkiye’de Toplam Sera Gazı Emisyonları (milyon ton CO2 eşdeğeri)
Tablo – 4.7: Türkiye’de Sektörlere Göre Toplam Sera Gazı Emisyonları (milyon ton CO2 eşdeğeri)
Tablo – 4.8: Enerji Kaynağına göre CO2 Salımı
Tablo – 4.9: Elektrik Enerjisi Üretiminin Enerji Kaynaklarına göre Tahmini Dışsal Maliyetleri, 2002 (Euro cent/kWh)

GRAFİKLER LİSTESİ

Grafik – 2.1: Dünya Toplam Kömür Üretimi 1981- 2007 (milyon tep)

Grafik – 2.2: Dünya Enerji Tüketimi İçinde Kömürün Sektörlere Göre Payı, 2004, 2015, 2030

Grafik – 2.3: Dünya Toplam Kömür Tüketimi, 1965-2007 (Mtep)

Grafik – 2.4: Dünya Toplam Petrol Üretimi, 1965 – 2007(milyon ton)

Grafik – 2.5: Dünya Toplam Petrol Tüketimi, 1965 – 2007 (milyon ton)

Grafik – 2.6: Dünya Toplam Doğal Gaz Üretimi, 1970 – 2007 (Mtep)

Grafik – 2.7: Dünya Toplam Doğal Gaz Tüketimi, 1965 – 2007 (Mtep)

Grafik – 2.8: Yenilenebilir Enerji Kaynakların 2004 yılı İtibariyle Dünya Birincil Enerji Arzındaki Durumları (%)

Grafik – 2.9: Yenilenebilir Enerji Kaynakların Sektörlere Göre Kullanımı, 2004

Grafik – 2.10:2006 Yılı İtibariyle Dünyada Aktif Güneş Isıtma Sistemleri Kapasitesi (%)

Grafik – 3.1: Türkiye’nin Kömür Üretimi, 1973 -2006 (bin ton)

Grafik – 3.2: Türkiye’nin Kömür Tüketimi, 1970-2006 (bin ton)

Grafik – 3.3: Türkiye’nin Petrol Üretimi, 1973 -2006 (bin ton)

Grafik – 3.4: Türkiye’nin Petrol Tüketimi, 1973 -2006 (bin ton)

Grafik – 3.5: Türkiye’nin Doğal Gaz Üretimi, 1973 -2006 (bin ton)

Grafik – 3.6: Türkiye’nin Doğal Gaz Tüketimi, 1976 -2006 (milyon m³)

Grafik – 3.7: Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları Ekonomik Potansiyelinin Kaynaklara Göre Dağılımı (%)

Grafik – 4.1: Enerji Güvenliği için Ucuz-Tükenmez-Temiz Enerji Seçimi

Grafik – 4.2: Fosil Enerji Kaynakların Fiyatı

Grafik – 4.3: CO₂ Emisyonu Bölgesel Dağılımı, 1970, 2005 (%)

KISALTMALAR LİSTESİ

- AB:** Avrupa Birliği
ABD: Amerika Birleşik Devletleri
AC: alternative current
BM: Birleşik Milletler
BOS: balance of system
BOTAŞ: Boru Hatları ile Petrol Taşıma A.Ş.
Boe: varil eşdeğer petrol
CO₂: karbondioksit
CH₄: metan
DC: direct current
EJ: exajoule (10¹⁸)
EİE: Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
ESTIA: The European Solar Power Industry Association
ESTIF: The European Solar Power Industry Federation
ETKB: T.C. Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı
Euroatom: The European Atomic Energy Agency
GW: gigawatt
GWh: gigawatt hour
GWt: gigawatt thermal
HDR: hot dry rock
IAEA: International Atomic Energy Agency
IEA: International Energy Agency
İDÇS: İklim Değişikliği Çevre Sözleşmesi
J: joule
kcal: kilocalorie
kg: kilogram
kW: kilowatt
kWh: kilowatt hour
lde: litre eşdeğer dizel

MTA: Maden ve Teknik Arama Genel Müdürlüğü
Mtep: milyon ton eşdeğer petrol
MW: megawatt
MWh: megawatt hour
NO₂: azotoksit
OECD: The Organization for Economic Co-operation and Development
O&M: operating and maintance
OPEC: Organization of Petroleum Exporting Countries
OTEC: ocean thermal energy conversion
POAŞ: Petrol Ofisi A.Ş.
PV: photovoltaik
PJ: petajoul (10¹⁵)
TEAŞ: Türkiye Elektrik Üretim ve İletim A.Ş.
Tep: ton eşdeğer petrol
TJ: terajoul (10¹²)
TKİ: Türkiye İşletmeleri Kurumu
TPAO: Türkiye Petrol Anonim Ortaklığı
TTK: Türkiye Taşkömür Kurumu
TÜİK: Türkiye İstatistik Kurumu
TÜPRAŞ: Türk Petrol Rafineleri A.Ş.
TWh: terawatt hour
YGS: yoğunlaştırıcı güneş sistemleri

GİRİŞ

Enerji, tarih boyunca insanların ihtiyaç duydukları bir gereksinim olmuştur. İlkel zamanda sadece besin yoluyla alınan enerji toplumların gelişmesiyle birlikte farklı biçimlerde elde edilmiş ve kullanım alanları değişmeler ve gelişmeler göstermiştir.

Modern endüstrileşmiş toplumlar, çok büyük boyutlarda petrol, doğal gaz, kömür gibi fosil enerji kaynakları gerektiren teknoloji esaslı yayılan toplumlardır. Bunun yanında gelecekte post endüstri toplumların enerji kullanımı, yenilenebilir enerji kaynakları olan hidrolik güç, güneş, rüzgar, jeotermal, biokütle, dalga/gel-git enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimine dayanacağı muhtemeldir. Bu noktadan hareketle yapılan bu çalışmada dünya ve Türkiye’de enerji kaynakların üretimi, tüketimi ve potansiyeli bahsedilmiş, özellikle yenilenebilir enerji kaynakların iktisadi yönünün gösterilmesi amacı ile detaylı bir incelemeye tabi tutulmuştur.

Tezin birinci bölümünde enerji üretiminin genel iktisadi yapıdaki önemi tarihsel aşamalar ile ele alınmıştır. Daha sonra enerji ihtiyacının artışı ve bu ihtiyacı karşılamak için enerji arzının sağlanmasına ilişkin gerçekleştirilen uluslararası politikalara yer verilmiştir.

Tezin ikinci bölümünde dünya enerji kaynakların sınıflandırılması yapılmış, dünya fosil enerji kaynakların üretimi, tüketimi ve potansiyeli incelenmiş, tez konusu olan yenilenebilir enerji kaynakların alternatif olabileceğini göstermek amacı ile bu enerji kaynakların tanımları, dünyadaki potansiyelleri, kullanım miktarları, üretim teknolojileri bahsedilmiş ve her yenilenebilir enerji kaynağından elektrik enerjisi/ısı üretim maliyetleri incelenmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakların kullanımında lider konumunda olan ülkelerin bu enerji kaynaklarına veren destek ve programlardan bahsedilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim teknolojilerin ve kullanım maliyetlerin ele alınmasının sebebi, bu enerji kaynakların hem gelişmiş hem gelişmekte olan ülkelerin enerji arz güvenliğinin sağlanması için kullanabilecekleri düzeyde olduğunu göstermeye çalışmaktır.

Tezin üçüncü bölümünde Türkiye’nin sahip olduğu enerji kaynakların üretimi, tüketimi ve potansiyeli incelenmiştir. Türkiye’nin fosil yakıt rezervlerin sınırlı olmasına

rağmen sahip olduğu yenilenebilir enerji kaynak potansiyelini kullanarak ithal ettiği enerji miktarını azaltabileceği gösterilmeye çalışılmıştır.

Tezin dördüncü bölümünde dünyada ve Türkiye’de enerji ihtiyacının artmaya devam edeceği, fosil kaynakların artan fiyatı, tükenmekte olan rezervleri ve yoğun kullanımı sonucu dünya çapında oluşan çevresel zararları karşısında yenilenebilir enerji kaynakların potansiyel büyüklüğü, çevre ilişkisi ve ekonomik yönü gösterilmeye çalışılmıştır.

1. ENERJİ ÜRETİMİ VE ULUSLARARASI ENERJİ POLİTİKALARI

Enerji, bir insanın yaşaması, bir ekonominin büyümesi, bir ülkenin kalkınması için büyük rol oynamaktadır. Kullanılan enerji çeşitleri, miktarları tarihsel gelişmelere bağlı olarak değişim göstermiştir. Uluslar arası enerji politikalar dünya enerji kaynakların yönetimi açısından önem kazanmaktadır. Bu bölümde enerji üretiminin genel iktisadi yapıdaki önemi ve artan dünya enerji ihtiyacının karşısında alınan enerji politika kararlarına yer verilmiştir.

1.1. Enerji Üretiminin Genel İktisadi Yapıdaki Önemi

Enerji, bilim ve teknolojinin hızla geliştiği modern topluluğun her alanında geniş ölçüde yer almaktadır. İnsan kültürleri, tarihin derinliklerinden başlayarak günümüze kadar değişik enerji çeşitlerini kullanarak ısınma, aydınlanma ve madenleri işleterek topluma daha yararlı hale dönüştürülmesi ve hareketliliğin kazanılması konularında değişik aşamalardan geçmiştir. Genellikle enerjinin kullanım alanları olarak dört temel ekonomik faaliyet belirtilebilir: endüstri, ulaştırma, ticaret(hizmetler) ve konut.¹

Enerji, bir maddenin, makinenin ya da maddeler sistemin iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. (Yunanca “en” “iç” ve “ergon” “iş” kelimelerinden gelmektedir).² Enerjinin çeşitli formları bulunmaktadır. Bunlar kimyasal, termal, mekanik ve elektrik enerjisidir. Enerji yok olmamaktadır, formları arasında çeşitli şekillerde değişimler olmaktadır. Tıpkı fosil yakıtların yakılarak ısı enerjisi elde edilmesi ve bu enerjinin mekanizmalar, makineler ve motorlar vasıtası ile mekanik enerjiye çevrilmesi gibi.³

¹ James A. Fay, Dan S. Golomb, **Energy and The Enviroment**, New York, Oxford University Press, 2002, s. 6-7

² Energy Information Administartion, “What is Energy?”, (Çevrimiçi), <http://www.eia.doe.gov/kids/energyfacts/sources/whatsenergy.html>, 04.10.2007

³ Filiz Karaosmanoğlu, “Enerjinin Önemi, Sınıflandırılması ile İhtiyaç Dengesi ve Gelecekteki Enerji Kaynakları”, **Dünya ve Türkiye’deki Enerji ve Su Kaynaklarının, Ulusal ve Uluslar Arası Güvenliğe Etkileri 15-16 Ocak 2004**, İstanbul, Harp Akademiler Komutanlığı, 2004, s. 12

İnsanlar tarih boyunca çeşitli enerji kaynakları keşfederek bu kaynakları çeşitli teknolojiler sayesinde ısı, mekanik ve elektrik enerjisine çevirmeyi öğrenmişlerdir.⁴ İnsanın birincil temel enerjisi “İ’elan vital” olarak adlandırılan insanın kendi içindedir. Yemeklerden alınan kalori kaslar yardımı ile mekanik enerjiye dönüştürülmektedir. İnsanın yaşamını sürdürebilmesi için gıdadan aldığı enerji yeterli olmaktadır. Bu nedenle insanlığın ilk dönemlerinde tüm dikkatler gıda ve gıda aramaya yönelikti.⁵

Göçebe toplayıcı veya avcı olarak yiyecek peşinde koşmak yerine, insanlar yerleşik hayata geçip tarım ürünleri ekmeye ve hayvan beslemeye başlayınca yeni enerji kaynaklarına sahip oldular. 17.y.y. kadar ulaşım ve nakliyat ihtiyaçları için hayvan gücü enerjisinden yararlanıldı.⁶ Gelişmiş tarım toplumlarında enerji kaynağı olarak kölelik biçiminde insan gücü enerjisi de kullanılıyordu.⁷ Orta Doğu’da su ve rüzgâr gücü ile çalışan değirmen ve yelkenli gemiler icat edilmiştir.⁸ Bu dönemde enerjinin kullanım alanları artmıştır. İnsanlar enerjiyi tarımda, gıda saklamada, giysi yapımında, ev kurmada kullanmaya başlamışlardır.

Yunan mitolojisinde Prometheus’un Tanrılardan ateşi çalıp insanlara hediye etmesi, insanların ağaçta ve diğer organik maddelerde bulunan kimyasal enerji ile tanışması olarak değerlendirilebilir. Ateş ışık ve ısı kaynağı olmuştur. Ateş gittikçe daha başka süreçler içinde, örneğin maden çıkarmada ve metallerin eritilmesinde kullanılmaya başlamıştır.⁹ İnsanlar başlangıçta yakıt olarak odun ve odun kömürünü kullanmaları ağaçların tükenmesine neden olmuştur. Daha MÖ 500 yılında Yunanistan’da ve İtalya’da odun yetersizlikleri, İngiltere’de ise yerli kaynak yetersizlikleri 1300 yılına kadar görülmüştür. Enerji açlığı ormanların planlı biçimde işletilmesi gerektiğini ortaya çıkarmıştır ve oluşan talebi karşılamak için o güne kadar

⁴ “Geçmişten Bugüne Enerji Kullanımı”, (Çevrimiçi),

http://www.habitacingenclik.org.tr/dl/yayinlar/enerji/G_Bugune.pdf , 10.10.2007

⁵ Peter C. Mayer-Tasch, “Tarihsel Bakış Açısıyla Enerji ve Enerji Tedariki”, **Avrupa ve Orta Asya Arasındaki Enerji Köprüsü Türkiye**, Editör: Wernel Gumpel, Alpay Hekimler, Ankara, Konrad Adenauer Stiftung Yayını, 2007, s. 5-6

⁶ Carol A. Dahl, **International Energy Markets**, Oklahama, Penn Well Corporation, 2004, s. 16

⁷ Peter C. Mayer-Tasch, **a.g.e.**, s. 9

⁸ Carol A. Dahl, **a.g.e.**, s. 16

⁹ Peter C. Mayer-Tasch, **a.g.e.**, s. 6-9

kullanılmamış olan enerji türlerini kullanılabilir hale getirmek gerektiğini ortaya koymuştur.¹⁰

Kömür odun yerine geçen ve endüstrileşmiş milletlerin öncelikli enerji kaynağı olmuştur. Taşkömürü insanlar tarafından keşfedilen ilk fosil enerji kaynağıdır. Çin’de MÖ 2000 yıllarında kömürün bulunduğu ve kullanıldığı bilinmektedir.¹¹ Kömürün taşınması ve saklanması oduna göre kolay olmasından evde ve sanayide yoğun olarak kullanılmaktaydı.¹²

18.y.y. Thomas Newcomen tarafından buhar makinesinin icadı sanayi devrimini tetiklemiştir. Kömüre olan talep artmıştır. Buhar makinesi ısının mekanik harekete dönüşmesini sağlamıştır. Buharlı gemi ve lokomotiflerin üretilmesi ulaşımda kullanılan enerji talebini arttırmıştır. Buharlı makinelerin avantajı, ilk olarak bulunduğu yere bağımlı olmadan kullanılabilir olmasındaydı. 1765 yılında James Watt tarafından içten yanma motor geliştirilmiştir. Ancak yaklaşık yüz yıl sonra içten yanma motorlar otomobil ve uçaklara yerleştirilebilmiştir. Bu yenilikler petrol kullanımını arttırarak 20.y.y. gelişmelerine etki etmiştir.¹³

İlk kullanılan petrol yerden sızan ve deniz üzerine çıkan ham petroldü. Antik Mısır’da, bu madde mumyaları saklamada ve tekerlekleri yağlamada kullanılıyordu. MÖ 3000 yıllarda Çinliler lamba yağı olarak kullanıyorlardı ve taşınmasını bambu ağacının gövdeleri ile sağlıyorlardı. Ancak ilk olarak petrol 1859’da ABD’de bilinçli olarak çıkartılmaya başlamıştır. Petrol, kömüre göre daha kolay çıkartılıyor olması ve taşıma avantajların olması nedeni ile kömürün yerini almaya ve kullanımı hızla artmaya başlamıştır. Petrol ve doğal gazın ilave yakıt olarak kullanılmaya başlaması kimya sanayisinde de yeni ve dayanıklı maddelerin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Petrolün 20.y.y.da popüler bir enerji kaynağı olarak ülkelerce benimsenmesi ve teknolojik gelişim

¹⁰ Carol A. Dahl, **a.g.e.**, s. 16

¹¹ **A.e.**, s. 17

¹² John R. Fanchi, **Energy: Technology and Directions for The Future**, USA, Elsevier Academic Pres, 2004, s. 4

¹³ “Geçmişten Bugüne Enerji Kullanımı”, (Çevrimiçi), http://www.habitaticingenclik.org.tr/dl/yayinlar/enerji/G_Bugune.pdf , 10.10.2007

ve kalkınmanın petrol eksenli devam etmesi neticesinde fosil yakıtlar diğer enerji kaynaklarından yararlanılması ve kullanılmasının önüne geçmiştir.¹⁴

19.y.y. sonlarında ise elektrik günlük kullanıma girmiştir. 20.y.y. ortalarında elektrik şebekesi vasıtası ile enerjinin süratle uzaklara ulaştırılması mümkün olmuştur. Elektrik enerjisinin ulaştırması kolay ancak saklanması fosil enerji kaynakları gibi mümkün değildir. Elektrik jeneratörler ve iletim sistemlerin gelişmesi elektrikli motor ve elektrikli aydınlatmanın kullanımını yaygınlaştırmıştır.¹⁵ İkinci Dünya Savaşı sonrasında ortaya çıkan nükleer enerji kaynakları da bu gelişmeye ilave boyut kazandırmıştır.¹⁶ Elektrik enerjisinin önce sudan daha sonra petrol ve doğal gazdan ve ardında atom santrallerinde üretilmesi ile birlikte enerji üretimi yüksek seviyelere ulaşmıştır.¹⁷

Bilim ve teknolojik gelişmeler özellikle 1960'lı yıllarda endüstrileşmenin zararlarını anlaşılır hale getirmiştir. Bunun sonucunda petrol atıklarının ve yakılmasının büyük ölçüde çevrenin kirlenmesine sebep olduğu anlaşılmıştır. 1970 yıllarında ortaya çıkan petrol ve ekonomik sıkıntı bir taraftan eldeki kaynakların daha verimli nasıl kullanılması gerektiğini, diğer taraftan yenilenebilir enerji kaynaklarının (rüzgâr, güneş, biokütle, jeotermal, dalga) kullanımlarını gündeme getirmiştir.¹⁸ İklim Değişikliği Çevre Sözleşmesi ve Kyoto Protokolü¹⁹ gibi uluslararası uzlaşma ve çözüm arayışları insanların eskiden kullandıkları çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesini hızlandırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının tükenmekte olan ve çevre kirliliğine neden olan fosil enerji kaynaklarına bir alternatif olabilmesi tartışmaları ve bu yönde Ar-Ge çalışmaları devam etmektedir.

Zaman içinde yeni enerji türleri ile yeni enerji kaynaklarının bulunmaları ve kullanımları, insanlığın geçirdiği aşamalara önemli katkılarda bulunmuştur. Enerji

¹⁴ Carol A. Dahl, **a.g.e.**, s. 18

¹⁵ John R. Fanchi, **a.g.e.**, s. 4-5

¹⁶ Zekai Şen, **Temiz Enerji ve Kaynakları**, İstanbul, Su Vakfı Yayınları, 2002, s. 17

¹⁷ Peter C. Mayer-Tasch, **a.g.e.**, s. 11

¹⁸ Zekai Şen, **a.g.e.**, s. 17

¹⁹ İklim Değişikliği Çevre Sözleşmesi (UNFCCC), Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansında 1992'de Rio de Janeiro'da 50 ülke tarafından imzalan ve insan tarafı sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik bir sözleşmedir. Kiyoto Protokolü, Japonya'da 1997'de UNFCCC tarafların üçüncü konferansında 133 ülke tarafından imzalanmıştır ve daha detaylı bir şekilde iklim değişikliğine yol açan sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik yükümlülükler ve uygulanabilecek mekanizmalar belirtilmiştir.

kullanımı sosyal ve ekonomik gelişmelere göre artmıştır. İnsanlık tarihi sürekli olarak artan bir biçimde enerji kaynaklarından faydalanma tarihi ile özleştirilebilir.²⁰

Tablo – 1.1: Tarihsel Enerji Kullanımı

Dönem	Kişi başı günlük tüketim (1000kcal)				Toplam
	Gıda	K&H*	E&T**	Ulaşım	
İlkel	2				2
Avcılık	3	2			5
Tarımsal	4	4	4		12
Gelişmiş Tarımsal	6	12	7	1	26
Endüstri	7	32	24	14	77
Teknoloji	10	66	91	63	230

* K&H: Konut ve Hizmet ** E&T: Endüstri ve Tarım

Kaynak: John R. Fanchi, **Energy Technology and Directions for the Future**, Elsevier Academic Pres, USA, 2004, s.4

Gelişen teknoloji nedeniyle enerji bugün, yaşamın her alanında geniş ölçüde yer almaktadır. Her türlü mal ve hizmet üretiminde temel unsur durumundadır. Enerjinin sanayi için temel girdi teşkil etmesi ülkeleri enerji bağımlısı haline getirmektedir. Enerjinin ülke ekonomisi üzerindeki etkilerinin önemsenmesi gerektiğine 1970’lerde yaşanan petrol şokları olarak adlandırılan petrol fiyat artışı en önemli örnektir.

Enerji üretim ve tüketiminin çok büyük boyutlara ulaşması ve enerji kaynakların oldukça çeşitlenmesi, onun önemli bir ekonomik faaliyet olarak ele alınmasına neden olmuştur. Ekonomik faaliyetlerin gerçekleşmesi ve sürdürülebilmesi için artan enerji talebi ile sınırlı enerji kaynakları arasında dengenin kurulması gerekmektedir. Ülkelerin ekonomik gelişme düzeyleri ile çok yakından ilgili olması nedeni ile enerji üretimi, tüketimi, dağıtımı, ekonomik gelişme gibi önemli ekonomik sorunuyla iç içe bir nitelik taşımaktadır.²¹

²⁰ Necat Berberoğlu, **Türkiye’nin Ekonomik Gelişmesinde Elektrik Enerjisi Sorunu**, Eskişehir İktisadi ve Ticari İlimler Akademisi Yayınları, Eskişehir, 1982, s. 9

²¹ A.g.e., s. 10

1.2.Enerji ihtiyacı ve Dünya Ekonomisi

Enerji, milyonca yıldan bu yana insanoğlunun yaşamını devam ettirmesinde en önemli temel kaynaklardan birisi olmuştur. 18. yüzyılın ikinci yarısında başlayan ve Sanayi Devrimi olarak adlandırılan bilimsel ve teknolojik gelişmeler sonucunda, üretim sürecindeki hızlı makineleşme ve artan nüfus, beraberinde enerji ihtiyacını gündeme getirmiştir.²²

Günümüzde dünya toplam enerjisi ihtiyacı 11,608 Mtep düzeyindedir, enerji ihtiyacının %80'i kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlarla, geri kalan %20'si de başta hidrolik ve nükleer enerji olmak üzere, rüzgâr, güneş, jeotermal hayvan ve bitki atıkları gibi kaynaklardan karşılanmaktadır.

Petrol kullanımının artmasından ve bu artışın sürekli olmasından dolayı enerjiye önemli derecede bağlı olma problemini de ortaya çıkarmıştır. Yapılan hesaplamalara göre dünyanın enerjiye bağlı olma derecesi 80'lerde %40 iken, günümüzde %50'ye çıkmış ve 20 yılda %70'lere ulaşacağı belirtilmektedir.²³

Hangi ekonomik sistem tercih edilirse edilsin, ekonomilerin gelişmesi için enerji önemli girdi teşkil etmektedir. Bu da enerji ihtiyacının gelişen dünya ekonomisine paralel olarak arttığını göstermektedir.²⁴

Tartışmaya açık olsa da enerji kullanım miktarı ülkelerin gelişmişlik düzeylerini gösteren bir parametre olarak algılanmaktadır.²⁵ Dünya nüfusunun %4,6 oluşturan ABD dünya enerjisinin %30'dan fazlasını kullanırken, dünya nüfusunun %15,3 sahip Hindistan dünya enerjisinin %3'nden daha azını tüketmektedir.²⁶

Dünya nüfus artışı enerji kaynaklarına olan ihtiyacı daha fazla arttırmaktadır. Her doğan insanın kullanmak zorunda olduğu bir miktar enerjiye ihtiyacı vardır. Bu nüfus

²² Ali Kahriman, "Ukraynada Yaşanan Doğalgaz Krizi Ekseninde Ülkemiz Enerji Politikasına Genel Bir Bakış", (Çevrimiçi), <http://www.istanbul.edu.tr/eng/maden/worddosyalar/Dogalgaz%20Krizi-Enerji%20Politikamız.doc>, 10.10.2007

²³ Çağatay Dikmen, "AB'de Enerjisi ve Çevre", (Çevrimiçi), http://www.emo.org.tr/resimler/ekler/205ee2a5de471a7_ek.pdf, 10.10.2007

²⁴ Mason Willrich v.d., **Energy and the World Politics**, New York, The Free Press, 1975, s. 3

²⁵ Valcav Smil, William E. Knowland, **Energy in the Developing World**, New York, Oxford University Pres, 1980, s. 5

²⁶ Zekai Şen, **a.g.e.**, s. 25

artış hızı ile enerjiye olan talep miktarı arasında doğrusal bir ilişki olduğunu göstermektedir. 19.-20.y.y. kadar ölüm oranların yüksek olmasından yavaş bir artış gösteren dünya nüfusu, daha iyi beslenme, hijyen koşullar, tıptaki ilerlemeler sonucunda daha önceki dönemlere göre artan oranda artış göstermektedir. 1800’de bir milyar olan dünya nüfusu 1950’de 2,5 milyara çıkmıştır. 1950 ile 2006 yılları arasında dünya nüfusu 4 milyar artarak 2,5 milyardan 6,5 milyara yükseldi. Birleşik Milletler, nüfusun 2050 yılına kadar 8,9 milyara çıkacağını öngörmektedir. Yüz yılın sonlarında ise 12 milyar civarında olacağı tahmin edilmektedir. Bunun yanında nüfus artışının fazla olacağı ülkeler, az gelişmiş ülkeler olacağı belirtilmektedir. Az gelişmiş ülkelerde nüfus artışı ve insanların hayat standartlarını iyileştirme arzularının bir sonucu olarak dünya enerji talebi artacağı görülmektedir.²⁷ 2100’de enerji ihtiyacının 27000 ± 11000 milyon tep olacağı hesaplanmıştır.²⁸

Tablo – 1.2: Dünya GSMH, Nüfus ve Enerji Tüketimi, 1971–2006

Yıl	GSMH	Nüfus	Kişi başı enerji tüketimi
	Milyon	Milyon	Kilogram petrol eşdeğer
1971	3190214	3754	1257
1975	5820931	4060	1287
1980	10996414	4431	1372
1985	12417227	4823	1344
1990	21828428	5264	1682
1995	29613549	5677	1643
2000	31876185	6077	1672
2005	44983465	6462	1796
2006	48461854	6538	

Kaynak: Dünya Bankası verilerinden hazırlanmıştır, (Çevrimiçi),
<http://ddp-ext.worldbank.org/ext/DDPQQ/report.do?method=showReport>, 15.06.2008

Teknolojik gelişmeler ile enerji arasında dönüşümlü bir ilişki bulunmaktadır. Enerji gelişmiş teknolojilerin kullanımını sağlarken, teknolojik ilerlemeler daha çok enerji üretimini sağlamakta.²⁹ Sanayi devrimi öncesi nüfus artışı ile aynı oranda artan

²⁷ A.e. , s. 26

²⁸ Paul Chefurka, “World Energy and Population: Trends to 2100”, (Çevrimiçi),
<http://www.paulchefurka.ca/WEAP/WEAP.html>, 20.10.2007

²⁹ İzzettin Önder, “Yeni Dünya Düzeni ve Enerji Politikaları”, TMMOB Türkiye III. Enerji Sempozyumu Bildirgesi, Ankara, s. 59, (Çevrimiçi),
http://www.emo.org.tr/resimler/ekler/3fa59e5bfab8375_ek.pdf, 20.10.2007

enerji kullanımı Sanayi Devriminde seri üretime geçilmesinden itibaren nüfus artışından daha büyük oranda yükselmeye başlamıştır. İkinci Dünya Savaşından sonra bağımsızlık hareketlerin başlaması enerji ihtiyacını daha da arttırmıştır.³⁰ Teknolojik gelişmenin getirdiği yenilikler sayesinde mal ve hizmetlerin üretimi hem miktar olarak hem de çeşit olarak artmaktadır. İnsanlar günlük hayatında da çok sayıda enerji kullanımını gerektiren malları tüketmektedir. Dolayısıyla enerjiye olan ihtiyaç da artmaktadır.

Uluslar için giderek artan yaşamsal nitelik kazanan enerji gerek ulusal gerekse uluslar arası alanda üzerinde en çok durulan konulardan biri olmaktadır. Enerji kıtlığı gelişmiş ülkeler için yaşam kalitesinin düşmesi, gelişmekte olan ülkeler için ise yoksulluk anlamına gelmektedir.³¹ Aynı zamanda enerji kaynakların dünya üzerinde heterojen dağılımı bir ülkeyi enerji ithalatçısı diğer ülkeyi enerji ihracatçısı yapmaktadır.³² Toplumun ve ekonominin gereksinim duyduğu enerjinin kesintisiz, güvenilir, zamanında, temiz ve ucuz yollardan temin edilmesi ve en uygun fiyatlarla sağlanabilmesi için enerji politikalarını gündeme getirmektedir.

Enerji politikaları belirlenirken ülkenin enerji kaynakları potansiyeli saptanır, söz konusu kaynakların nasıl geliştirileceği, ithalatın gerekli olup olmadığı gibi konularda strateji geliştirilir. İthalatın kaçınılmaz görüldüğü veya dönemsel olarak kullanılması gerektiği koşullarda ise kaynak çeşitliliğine gidilmesi enerji politikasının en önemli gerekliliklerinden biri olarak dikkate alınmaktadır.³³

AB üyesi ülkelerin 2000 yılı için ithalat bağımlılığı kendi enerji tüketimlerinin %50'si kadar olmuştur, kalıcı etki yapacak işlemler alınmadığı takdirde 2030 yılında bu değer %70'e çıkacağı saptanmıştır.³⁴ AB enerji arzının güvenliğini sağlamasına yönelik bir yaklaşımı, enerji kaynaklarını çeşitlendirmek olmuştur. AB yeni enerji kaynaklarını geliştirmekte hidroelektrik enerji, güneş ve rüzgar enerjileri gibi

³⁰ Mason Willrich v.d., **a.g.e.**, s. 13

³¹ Necat Tamzok, "Kömür Rezervlerine Sahip Ülkelerde Kullanılan Kaynakların Seçimi ve Türkiye'nin Konumu", (Çevrimiçi), http://www.emo.org.tr/resimler/ekler/3fa59e5bfab8375_ek.pdf, 20.10. 2007

³² Mason Willrich v.d., **a.g.e.**, s. 3

³³ Necdet Pamir, "Enerji Politikaları ve Küresel Gelişmeler", **Startejik Analiz**, Aralık 2005, s. 68 (Çevrimiçi), <http://www.asam.org.tr/temp/temp11.pdf>, 20.10.2007

³⁴ Wulfdiether Zippel, "Enerji Kaynakları Çeşitlendirilme Yaklaşımları Altında AB'nin Enerji Politikası", **Avrupa ve Orta Asya Arasındaki Enerji Köprüsü Türkiye**, Editör: Wernel Gumpel, Alpay Hekimler, Ankara, Konrad Adenauer Stiftung Yayını, 2007, s. 50

yenilenebilir enerji kaynakların kullanımını teşvik etmektedir. Arz güvenliğini sağlamak için Topluluk Avrupa Enerji Şartı³⁵ gibi anlaşmalar yaparak üçüncü ülkeler ile uluslar arası enerji işbirliğini güçlendirmiştir.³⁶

Ulusal enerji politikalar sadece ihracatçı ülkelerin üretim politikaları yanında enerji ithal eden ülkelerin tüketim politikalarını da içermesi gerekir. İkinci Dünya Savaşından sonra dünya enerji üretimini ve tüketimini etkileyen çok uluslu firmalar çıkmıştır. Bunlar Royal Dutch Shell, BP- Amaco, Exxon- Mobil, Gulf, Standart Oil of California, Texaco, Compagnie Française des Petroles. 1960'ta Bağdat Konferansı sırasında İran, Irak, Kuveyt, S. Arabistan ve Venezüella tarafından bir uluslararası petrol üreticisi olarak kurulan OPEC (Organization of Petroleum Exporting Countries)³⁷, petrol üreticisi ülkelere üretim kapasitelerini belirleme gücü verirken, petrol ithal eden ülkeleri ise uyum sağlamasına zorlamıştır. OPEC petrol hareketlerin %85'ini kontrol etmektedir. Bunun karşısında Batı Avrupa, Kuzey Amerika ülkeleri ile Japonya'nın oluşturduğu OECD (The Organization for Economic Co-operation and Development)³⁸, gelişen Eoropean Common Market ve IMF düzenlemeleri güçsüz kalmaktadır.

Nükleer enerji alanında uluslar arası işbirliği sağlayan IAEA (International Atomic Energy Agency) ve bölgesel işbirliği sağlayan Euratom (The European Atomic Energy Community) belirtilebilir. IAEA nükleer enerji teknolojisinin kullanımında yardım sağlamak ve ülkeleri nükleer enerjisinin asker alanında kullanılmasında güvenlik sağlamak amacı ile 1953'te, Euratom ise 1957'de Suez krizinin başlangıcında kurulmuştur.

³⁵ Avrupa Enerji Şartı, 1991 yılında Lahey'de imzalanmış olup 38 ülke ve AB tarafından onaylanmıştır. Şart'ın başlıca hedefleri, arz güvenliğini arttırmak, enerji üretimi, dönüşümü, taşınması, dağıtımı ve kullanımının verimliliğini en üst düzeye çıkarmak ve çevre problemlerini en aza indirmektir. Nisan 1998'de, Enerji Şartı Antlaşması ve Enerji Verimliliği üzerine bir Protokol yürürlüğe girmiştir.

³⁶ Çağatay Dikmen, "AB'de Enerjisi ve Çevre", (Çevrimiçi), http://www.emo.org.tr/resimler/ekler/205ee2a5de471a7_ek.pdf, 10.10.2007

³⁷ OPEC üye ülkeler: İran, Irak, Kuveyt, S. Arabistan, Venezüella, Cezayir, Angola, Ekvator, Endonezya, Libya, Katar, Birleşik Arap Emirlikleri

³⁸ OECD üye ülkeler: Almanya, ABD, Avustralya, Avusturya, Belçika, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Güney Kore, Hollanda, İngiltere, İrlanda, İspanya, İsveç, İsviçre, İtalya, İzlanda, Japonya, Kanada, Lüksemburg, Macaristan, Meksika, Norveç, Polonya, Portekiz, Slovakya, Türkiye, Yeni Zelanda, Yunanistan

Dünya enerji piyasasında diğer önemli organizasyon IEA (International Energy Agency), 1974'te ABD önderliğinde Arab ambargosuna karşılık olarak enerji sıkıntı ve sorunların çözümünde işbirliği sağlanması amacı ile kurulmuştur. IEA'na üye ülkeler: ABD, Avustralya, Belçika, Kanada, Danimarka, Almanya, Hollanda, İngiltere, İrlanda, İspanya, İsveç, İtalya, Japonya, Lüksemburg, Norveç, Portekiz, Türkiye, Yeni Zelanda, Yunanistan. Üye ülkeler arasında imzalanan enerji programı anlaşması birincil olarak, tehlikeli durumlarda üye ülkelerin petroleri ile paylaşma yükümlülüğünü getirmiştir. İkincil olarak uzun dönem enerji işbirliğini kuvvetlendirecek ve alternatif enerji kaynakları ile uranyumun Ar-Ge çalışmalarının yürütülmesinde ülkeler arası ilişkiler geliştirilecekti.³⁹

³⁹ Mason Willrich v.d., **a.g.e.**, s. 6-11

2. DÜNYADA ENERJİ KAYNAKLARI

İnsanlık tarihi boyunca farklı enerji kaynakları keşfedilerek çeşitli teknolojiler sayesinde ısı, mekanik, elektrik enerjisine çevirerek kullanılmıştır. Bu bölümde dünya enerji kaynakların sınıflandırılması yapılarak fosil ve yenilenebilir enerji kaynakların dünyadaki üretim, tüketim ve potansiyel durumları incelenecek ve ayrıntılı olarak yenilenebilir enerji kaynakların tanımı, üretim teknolojileri ve üretim maliyetleri ele alınacaktır.

2.1. Enerji Kaynakların Sınıflandırılması

Dünya enerji kaynaklarını çeşitli kriterlere göre çeşitli şekillerde sınıflandırmak mümkündür. Enerji kaynakların kullanım yeri ve amacına göre farklı sınıflandırmalara tabi tutulması, enerji konusuna yaklaşım tarzı açısından önem arz etmektedir.

Enerji kaynakları niteliklerinin değiştirip değiştirmemesi açısından “birincil” ve “ikincil” enerji kaynakları olarak bir ayrıma tabi tutulabilir. Birincil enerji kaynakları, doğada bulundukları halinde direkt olarak kullanılabilen kaynaklardır. Bunlar kömür, petrol, doğalgaz, biokütle, güneş, rüzgar, su gücü. Bu kaynaklar başka enerji şeklini elde etmek için kullanıldığında elde edilen enerji ikincil enerji kategorisinde yer almaktadır. En önemli ikincil enerji türü elektrik enerjisidir.⁴⁰

Enerji kaynakları, alım-satım açısından ele alındığında “ticari” ve “ticari olmayan” enerji kaynakları şeklinde bir ayrıma tabi tutulabilir. Ticari enerji kaynakları; kömür, petrol, doğalgaz, nükleer, su, jeotermal enerji vb. şeklinde sıralanabilir. Ticari olmayan enerji kaynakları ise; odun, tezek, tarımsal atıklar vb. şeklinde sıralanabilir.⁴¹ Ticari enerji kaynakların kullanım yoğunluğu gelişmişlik düzeyi ile ilgili bir durum söz konusu olabilir. Az gelişmiş olan ülkelerde ticari olmayan enerji kaynakları tüketimi gelişmiş ülkelere oranla daha yüksektir. Ticari olmayan enerji kaynakları daha çok kırsal

⁴⁰ Filiz Karaosmanoğlu, **a.g.e.**, s. 14-15

⁴¹ Nazif Kuyucuklu, **Türkiye İktisadi**, İstanbul, Filiz Kitapevi, 1993, s. 415

bölgelerde, ticari enerji kaynakları ise kentsel bölgelerde daha yoğun bir biçimde kullanılmaktadır.⁴²

Enerji kaynaklarının tarihsel gelişimine göre geleneksel (konvansiyonel) ve yeni ve alternatif enerji kaynakları vardır. Konvansiyonel enerji kaynakları olarak kömür, petrol, doğal gaz sayılabilir. Yeni ve alternatif enerji kaynakları ise nükleer, hidrojen, güneş, rüzgar, hidrolik güç, jeotermal, biokütle, dalga/gel-git.

Bu çalışmada kullanılan ve enerji kaynaklarının yenilenebilirliğiyle ilgili olan sınıflandırmaya göre fosil (yenilenemeyen, tükenebilir) ve yenilenebilir enerji kaynakları vardır. Fosil yakıtlar (petrol, doğalgaz, kömür) doğal kaynaklardan elde edilir. Bu yakıtlar, hayvan ve bitki atıkların milyonlarca yıl boyunca süren kimyasal dönüşümlerin sonucudur. Yenilenebilir enerji kaynakları ise, doğada olan ve kullandıkça miktarı azalmayan enerji kaynağıdır. Bunalar hidrolik güç, güneş, rüzgar, jeotermal, biokütle, dalga/gel git enerjisidir.⁴³

2.2.Fosil Enerji Kaynakları

Fosil kaynakların başında kömür, petrol, doğal gaz gelmektedir. Doğada bulunan fosil enerji kaynakları yıllarca süren hayvan ve bitki atıkların kimyasal dönüşümler sonucu oluşmaktadır. Fosil enerji kaynakların ortak özelliği tükenebilir olması ve yakıldığında çevreye çeşitli şekil ve oranda zarar vermeleridir.

Dünya fosil kaynakları rezervinin %70'ini kömür, %14'ünü petrol, %14'ünü de doğal gaz ve %2'sini diğer fosil kaynaklar oluşturmaktadır. Fosil yakıtların genel dağılımı incelendiğinde, sıvı ve gaz yakıt rezervleri dünyanın belirli coğrafi bölgelerine yoğunlaştığı kömürün ise düzenli bir dağılım gösterdiği ve üretiminin 50'den fazla ülkede gerçekleştiği görülmektedir. Bölgelere göre temel fosil kaynakların 2007 yılı itibari ile rezerv durumları Tablo 2.1'de verilmiştir.

⁴² Valcav Smil, William E. Knowland, **a.g.e.**, s. 6

⁴³ IEA, **Rukovodstvo po Energeticheskoy Statistike**, 2007, Paris, s.18, (Çevrimiçi), http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2007/manual_russia.pdf, 10.10.2007

Tablo – 2.1: Dünya Fosil Kaynakların Rezerv Durumları, 2007

Bölge	Petrol		Doğal Gaz		Kömür (milyar ton)		
	(milyar ton)	%	(trilyon m ³)	%	Taşkömür	Linyit	Toplam %
K. Amerika	9.5	5.6%	7.98	4.5%	115669	138763	28.0%
G. ve O. Amerika	15.9	9.0%	7.73	4.4%	7229	9247	1.9%
Avrupa ve Avrasya	19.4	11.6%	59.41	33.5%	102032	170204	32.1%
Orta Doğu	102.9	61.0%	73.21	41.3%	1386	-	0.2%
Afrika	15.6	9.5%	14.58	8.2%	49431	174	6.0%
Asya Pasifik	5.4	3.3%	14.46	8.2%	154216	103249	30.4%
Dünya	168.6	100.0%	177.36	100.0%	430896	416592	100.0%

Kaynak: BP, “Statistical Review 2008”, (Çevrimiçi),

http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/downloads/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_review_2008.pdf, 23.06.2008

Bir yılın sonunda kalan rezerv miktarın o yıl içerisinde üretilen miktara bölünmesi, yeraltında kalan kaynak rezerv miktarın mevcut tüketim koşulları altında kullanım süresinin tahmin edilmesini sağlamaktadır.⁴⁴

Tablo – 2.2: 2007 Yılı İtibari ile Dünya Fosil Kaynakların Kullanım Süreleri

Bölge	Petrol	Doğal Gaz	Kömür
K. Amerika	13.9	10.3	224
G. ve O. Amerika	45.9	51.2	188
Avrupa ve Avrasya	22.1	55.2	224
Orta Doğu	82.2	>100	399
Afrika	31.2	76.6	>500
Asya Pasifik	14.2	36.9	70
Dünya	41.6	60.3	133

Kaynak: BP, “Statistical Review 2008”, (Çevrimiçi),

http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/downloads/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_review_2008.pdf, 23.06.2008

Buna göre dünya fosil kaynakların kullanım süreleri petrolde yaklaşık 42, doğal gazda yaklaşık 60 ve kömürde 133 yıl olarak tahmin edilmektedir.

⁴⁴ “BP Statistical Review of World Energy 2007”, (Çevrimiçi),
<http://www.bp.com/productlanding.do?categoryId=6848&contentId=7033471>, 15.04.2008

2.2.1. Kömür

Kömür, çoğunlukla karbon, hidrojen ve oksijenden oluşan az miktarda kükürt ve nitrojen içeren bir enerji hammaddesidir. Kömürler, kömürleşme süreci, jeolojik, fiziksel, kimyasal ve termik özellikleri içerdikleri nem, kül, sabit karbon miktarı, kükürt ve mineral madde açısından çeşitlilik gösterir.

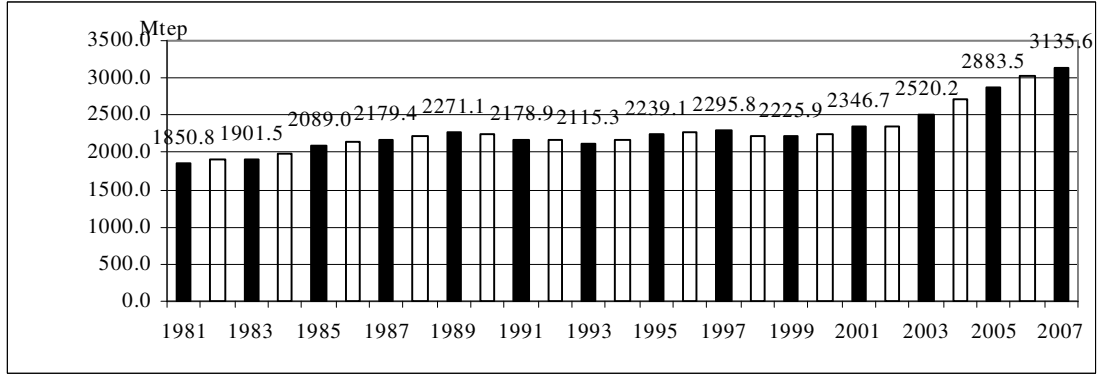
Kömür, dünyanın en büyük potansiyeline sahip fosil kaynak türüdür. 2006 yılı itibarıyla dünya kömür rezervleri 909 milyar ton olarak hesaplanmıştır. Rezervlerin %67'si dört ülkede bulunmaktadır: ABD (%27), Rusya (%17), Çin (%13), Hindistan (%10). 1990 yılında 1,174 milyar ton olarak hesaplanan dünya kömür rezervleri 2000 yılında 1,083 milyar tona ve 2006 yılında 909 milyar tona düşmüştür.⁴⁵

2.2.1.1. Kömür Üretimi

Dünya genelinde 1981 – 2007 yılları arasında kömür üretim miktarları Grafik – 2.1'de verilmiştir. İncelenen dönemde 1993 ve 1998 yıllarında olan düşüş haricinde kömür üretim miktarların arttığı görülmektedir. 1981 yılında 1850,8 milyon tep olan dünya kömür üretimi, 2007 yılında 3135,7 milyon tep'e çıkmıştır.

⁴⁵ Energy Information Administration, **International Energy Outlook 2007**, Washington, US Energy department, Mayıs 2007, s. 50, (Çevrimiçi), <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html>, 15.01.2008

Grafik – 2.1: Dünya Toplam Kömür Üretimi, 1981- 2007 (milyon tep)



Kaynak: BP, “Statistical Review 2008”, (Çevrimiçi),
http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/downloads/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_review_2008.pdf, 23.06.2008

1981 yılında kömür üretiminde ABD, 790,5 milyon ton miktarı ile ilk sırada yer alırken 2007 yılında Çin, 2536,7 milyon ton miktarı ile %41,1’lük bir üretim payına sahip olarak lider konumuna gelmiştir. Çin’in kömür üretiminin sürekli artması, sanayi gelişiminin ve yerel enerji tüketiminin kömüre bağlı olmasıdır.⁴⁶ Kömür üretiminde Çin’i % 18,7’lük üretim payı ile ABD, %6,9’luk üretim payı ile Avustralya, %5,8 üretim payı ile Hindistan ve %4,7’lik üretim payları ile Güney Afrika ile Rusya takip etmektedir.

Tablo – 2.3: Dünya Kömür Üretiminin Bölgesel Payları, 1981 – 2007 (%)

Bölge	1981	1985	1990	1995	2000	2007
K.Amerika	26	25	27	27	27	20.1
G. ve O. Amerika	0	1	1	1	1	1.8
Avrupa ve Avrasya	42	38	32	22	19	14.2
Orta Doğu	0	0	0	0	0	0
Africa	4	5	5	5	6	4.9
Asya Pasifik	27	32	36	45	47	59

Kaynak: BP, “Statistical Review 2008”, (Çevrimiçi),
http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/downloads/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_review_2008.pdf, 23.06.2008

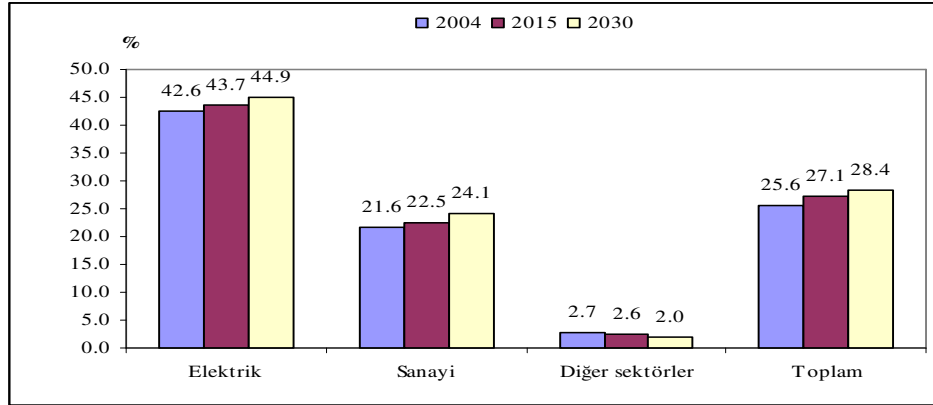
Kömür, küçük oranda artışlar veya sabit oranla üretilmeye devam edeceği tahmin edilmektedir. Kömür dünya enerji tüketiminin %26’sını karşılamaktadır. Dünyada

⁴⁶ A.e., s. 49

üretilen kömürün %65’i elektrik enerjisi üretiminde, %31’i sanayide ve %4’ü konut ve hizmet alanında kullanılmaktadır. 2030 yılında kömürün dünya enerji talebini karşılama payının %28 olacağı tahmin edilmektedir.⁴⁷

Kömür sanayide en çok beton ve çelik üretiminde kullanılmaktadır. Çelik ve betonun önemli inşaat malzemeleri olması kömür üretiminin devam edeceğini göstermektedir. Dünyada üretilen kömürün % 15’i beton üretmek için ve % 5’i çelik üretmek için kullanılmaktadır.⁴⁸

Grafik – 2.2: Dünya Enerji Tüketimi İçinde Kömürün Sektörlere Göre Payı, 2004, 2015, 2030



Kaynak: International Energy Outlook 2007, s. 49, (Çevrimiçi), <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html>, 15.04.2008

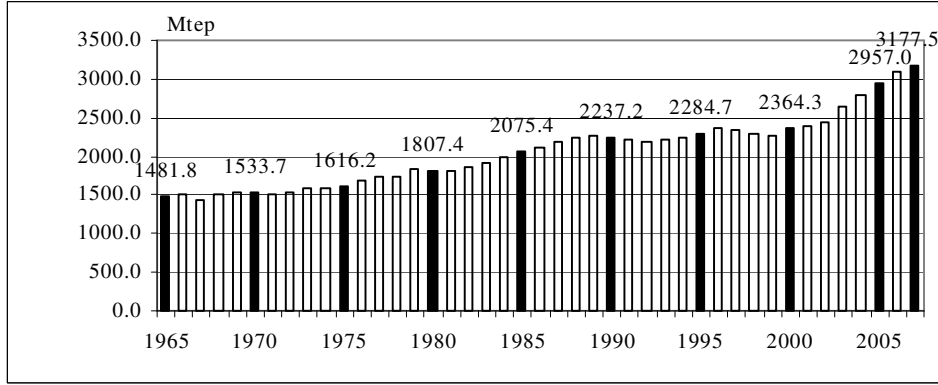
2.2.1.2.Kömür Tüketimi

Dünya genelinde 1965 – 2007 yılları arasında kömür tüketim miktarları Grafik-2.3’te verilmiştir. 1965 yılında 1 485,8 milyon tep olan kömür tüketimi, 1975 yılında 1616,2 milyon tep, 1985 yılında 2075,4 milyon tep, 1995 yılında 2284,7 milyon tep ve 2007 yılında 3177,5 milyon tep miktarına ulaşmıştır.

⁴⁷ A.e.

⁴⁸ Peter Rohde, “What Could Shape Us As The Biggest Surprise to Influence the Future Demand For Coal?”, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/1990/futrolecoal99.pdf>, 15.04.2008

Grafik – 2.3: Dünya Toplam Kömür Tüketimi, 1965-2007 (Mtep)



Kaynak: BP, “Statistical Review 2008”, (Çevrimiçi),

http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/downloads/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_review_2008.pdf, 23.06.2008

Dünya kömür tüketimi bölgesel olarak dağılımı incelendiğinde, Kuzey Amerika’nın 1965 yılında dünya toplam kömür tüketimindeki payı %20,8 iken, bu oran 2007 yılında %19,3 olmuştur. Avrupa ve Avrasya bölgesinde 1965 yılında %57,4 olan tüketim oranı 2007 yılında %16,8’a düşüş gösterirken; Asya Pasifik bölgesinde 1965 yılındaki %19,4 olan tüketim payı 2007 yılında %59,7’e yükselmiştir.

Diğer bölgelerde kömür tüketimi azalırken, Asya Pasifik bölgesinde kömür tüketim miktarların artması, Çin, Hindistan ve diğer gelişmekte olan Asya ülkelerin endüstri yapıların kömüre bağlı olarak gelişmesinden kaynaklanmaktadır. 1990’ların ortasından itibaren yılda %8 büyüme gösteren ekonomiye sahip Çin’in enerji gereksiniminin yaklaşık olarak %70’i kömür ile karşılanmaktadır.⁴⁹

1965 yılında dünya kömür tüketim miktarlarının en çok olan ülkeler ABD (291,8 milyon tep), Çin (165,6 milyon tep), Almanya (163,5 milyon tep) olmuştur. 2007 yılında ise Çin, 1311,4 milyon tep kömür tüketimi ve %41,3’lük tüketim payı ile lider konumuna gelmiştir. Çin’i 573,7 milyon tep ile %18,1’lik tüketim payına sahip ABD ve 208,0 milyon tep ile %6,5’lik tüketim payına sahip Hindistan takip etmektedir.

⁴⁹ IEA, Coal Industry Advisory Board, **International Coal Market & Policy Developments in 2005/06**, s. 11, (Çevrimiçi), http://www.iea.org/ciab/papers/ciabmark_2007.pdf, 15.04.2008

Tablo – 2.4: Dünya Kömür Tüketiminin Bölgesel Payları, 1965 – 2007 (%)

Bölge	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2007
K. Amerika	20.8	21.3	20.8	22.9	22.8	22.8	23.5	25.6	19.3
G. ve O. Amerika	0.4	0.5	0.4	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	0.7
Avrupa ve Avrasya	57.4	53.6	50.2	46.2	40.7	35.2	25.4	22.3	16.8
Orta Doğu	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.3	0.2
Afrika	1.9	2.0	2.4	2.6	3.5	3.6	3.7	3.8	3.3
Asya Pasifik	19.4	22.6	26.0	27.7	32.2	37.5	46.4	47.2	59.7

Kaynak: BP, “Statistical Review 2008”, (Çevrimiçi), http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/downloads/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_review_2008.pdf, 23.06.2008

Kömür kullanımının dezavantajlardan bir tanesi, kullanılacak merkezlere ulaştırmadan kaynaklanan taşımacılık sorununun ekonomik olmaktan uzaklaşması. Diğer dezavantajı, aktif olarak ve uzun süreli kömürün yakılması, atmosferdeki karbondioksit yoğunluğunun yükselmesiyle ekolojik sorunlara sebep olmasıdır. Birçok ülkede uluslar arası enerji organizasyonlar desteği ile kömür yakılmasında çevreye zarar veren gazları sıfıra indirecek ileri düzey teknoloji geliştirme çabaları yürütülmektedir. Ancak Clean Coal Technology diye adlandırdıkları bu teknolojilerin seri halinde üretimi ve tüm fosil kaynaklar için uygulanabilecek düzeye 2050 ulaşacağı tahmin edilmektedir.⁵⁰

2.2.2. Petrol

Bugün dünyanın önemli enerji ve sanayi hammaddelerinden biri olan petrol, değişik oranlardaki katı, sıvı ve gaz hidrokarbonların karışımıdır. Bilindiği gibi doğada bulunan ham petrol, enerji maddesi olarak tüketilmeyip, rafinelerde işlenerek belirli ürünlere çevrilen bu ürünler enerji maddesi olarak kullanılır. Ayrıca kurulan ve gelişen petrokimya sanayinde petrolün pek çok yan ürünü üretilmektedir.

⁵⁰ IEA, CIAB, **Clean Coal Technology**, 2008, s. 26, (Çevrimiçi), http://www.iea.org/textbase/papers/2008/Clean_Coal_CIAB_2008.pdf, 15.04.2008

Dünya petrol rezervleri 2007 yılı itibariyle 1237,9 milyon varil olarak hesaplanmıştır. Bunun %61'i (755,3 milyon varil) Orta Doğu'da bulunmaktadır. Suudi Arabistan tek başına rezervlerin %21,3'üne sahip bulunmakta ve onu %11,2'lik bir payla İran, %9,3'lük payla Irak, %8,2'lik payla Kuveyt ve %7,9'luk payla Birleşik Arap Emirlikleri izlemektedir. Bölgenin rezervleri 1980'li yıllarda büyük artış göstermiş, daha sonra 1990'lı yıllarda Irak rezervlerindeki 12,5 ve Katar rezervlerindeki 9,5 milyar varil artışın dışında genel olarak sabit kalmış veya azalmıştır.

Orta Doğu'dan sonra rezervlerdeki en büyük pay %11,6 ile Avrupa ve Asya bölgesine aittir. Dünya petrol rezervlerin %6,4'u Rusya Federasyonu'nda ve %3,2'i Kazakistan'da bulunmaktadır. Libya, Nijerya ve Cezayir başta olmak üzere Afrika, petrol rezervlerinin %9,5'ine sahiptir. Rezervlerin %9'u Güney ve Orta Amerika bölgesine aittir. Bu bölgenin en büyük payı, 1980'den 2007'e gelindiğinde rezervleri 4 katına ulaşan Venezüella'ya düşmektedir. ABD, Meksika ve Kanada'da da önemli petrol rezervleri bulunmaktadır, dünya rezervlerin %5,6'sı.

Petrol rezervleri 1980 yılı ile karşılaştırıldığında Kuzey Amerika, Asya Pasifik, Avrupa ve Avrasya bölgelerinde düşüşler yaşanmıştır. Afrika'da petrol rezervleri ortalama yılda %3, Orta ve Güney Amerika ortalama %5 artış göstermiştir. Orta Doğu bölgelerin rezervleri ise dünya petrol rezervlerinde üstünlüğünü korumaktadır. Tablo-2.5'te dünya petrol rezervlerinin bölgesel payları verilmiştir.

Tablo – 2.5: Dünya Petrol Rezervlerinin Bölgesel Payları, 1980 – 2007(%)

Bölge	1980	1985	1990	1995	2000	2006	2007 milyon varil
K. Amerika	13.9	13.2	9.6	8.7	6.2	5.6	69.3
G. ve O. Amerika	4	8.2	7.1	8.2	8.8	9.0	111.2
Avrupa ve Avrasya	14.7	10.2	8	7.9	10.3	11.6	143.7
Orta Doğu	54.3	56	65.7	64.4	62.4	61.0	755.3
Afrika	8	7.4	5.9	7	8.4	9.5	117.5
Asya Pasifik	5.1	5.1	3.6	3.8	3.9	3.3	40.8
Dünya							1237.9

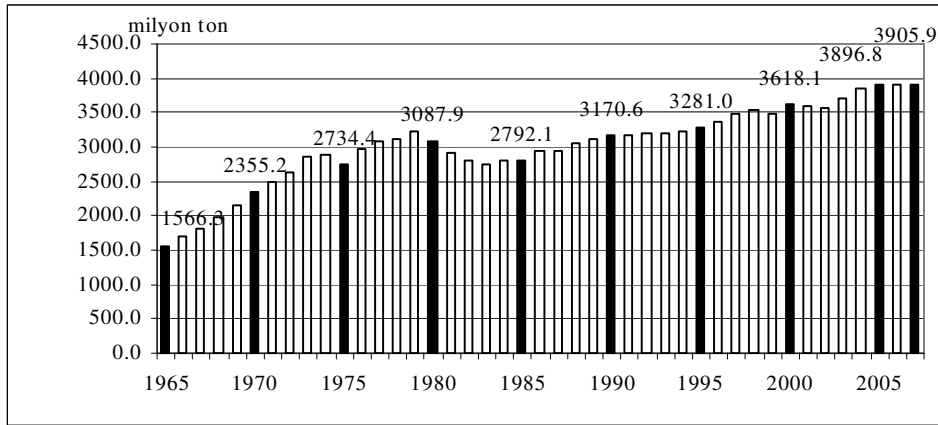
Kaynak: BP, "Statistical Review 2008", (Çevrimiçi),

http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/downloads/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_review_2008.pdf, 23.06.2008

2.2.2.1.Petrol Üretimi

Dünya toplam petrol üretimi, teknolojik gelişme, bulunan yeni rezerv ve artan tüketime bağlı olarak sürekli artış göstermektedir. 1965 yılında 1566,3 milyon ton olan dünya petrol üretimi 2007 yılında 3905,9 milyon tona ulaşmıştır. Ancak 1975 ve 1985 yılında bir düşüş gerçekleşmiştir.

Grafik – 2.4: Dünya Toplam Petrol Üretimi, 1965 – 2007(milyon ton)



Kaynak: BP, “Statistical Review 2008”, (Çevrimiçi),
http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/downloads/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_review_2008.pdf, 23.06.2008

1965 yılında en yüksek petrol üretim payına (%31,3) Kuzey Amerika bölgesi sahip iken 2007 yılında bölgenin üretim payı %16,5’e düşmüştür. Buna karşın 1965 yılında %26,7 olan Orta Doğu bölgesinin petrol üretim payı, 2007 yılında %30,8’e çıkmıştır. Güney ve Orta Amerika bölgesinin petrol üretim payı ise %14,4’ten %8,5’e düşmüştür. Avrupa ve Avrasya bölgesinin petrol üretim payı %18’den %22’ye, Afrika bölgesinin petrol üretim payı %6,8’den %12,5’e ve Asya Pasifik petrol üretim payı %2,9’dan %9,7’ye yükselmiştir.

1965 yılında en yüksek üretimi sağlayan ülkeler 427,7 milyon ton petrol üretimi ile ABD, 183,7 milyon ton üretimi ile Venezüella, 119 milyon ton üretimi ile Kuveyt ve 111 milyon ton üretimi ile Suudi Arabistan olmuştur. 2007 yılı itibariyle en yüksek petrol üretimini gerçekleştiren ülkeler ise 493,3 milyon ton ile Rusya Federasyonu,

493,1 milyon ton ile Suudi Arabistan ve 311,5 milyon ton ile ABD gelmektedir. Ülkelerin petrol üretim payları incelendiğinde başta %12,6'lık paylarla Suudi Arabistan ve Rusya Federasyonu, %8 ile ABD, %5,4 ile İran, %4,8 ile Çin, %4,4 ile Meksika, %4,1 ile Kanada, %3,5 ile Birleşik Arap Emirlikleri, %3,4 ile Venezüella, %3,3 ile Kuveyt, %3 ile Norveç ve %2,9 ile Nijerya gelmektedir.

OPEC ülkeleri bazından bakıldığında bu ülkelerin 2007 yılı itibariyle toplam petrol üretimi 1681,3 milyon ton ve OPEC dışı ülkelerin (Eski SSCB hariç) toplam petrol üretimi 1600,2 milyon ton olarak gerçekleşmiştir.

Tablo – 2.6: Dünya Petrol Üretiminin Bölgesel Payları, 1965-2007 (%)

Bölge	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2007
K. Amerika	31.3	26.7	21.6	21.7	26.2	20.7	19.7	18.0	16.5
G. ve O. Amerika	14.4	10.6	6.9	6.2	6.8	7.2	8.9	9.5	8.5
Avrupa ve Avrasya	18.0	16.8	19.9	24.2	28.9	24.9	20.4	20.0	22.0
Orta Doğu	26.7	29.4	35.8	30.3	18.5	26.9	29.8	31.6	30.8
Afrika	6.8	12.4	8.9	9.7	9.3	10.1	10.3	10.3	12.5
Asya Pasifik	2.9	4.2	6.9	7.9	10.3	10.3	10.8	10.5	9.7

Kaynak: BP, “Statistical Review 2008”, (Çevrimiçi),

http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/downloads/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_review_2008.pdf, 23.06.2008

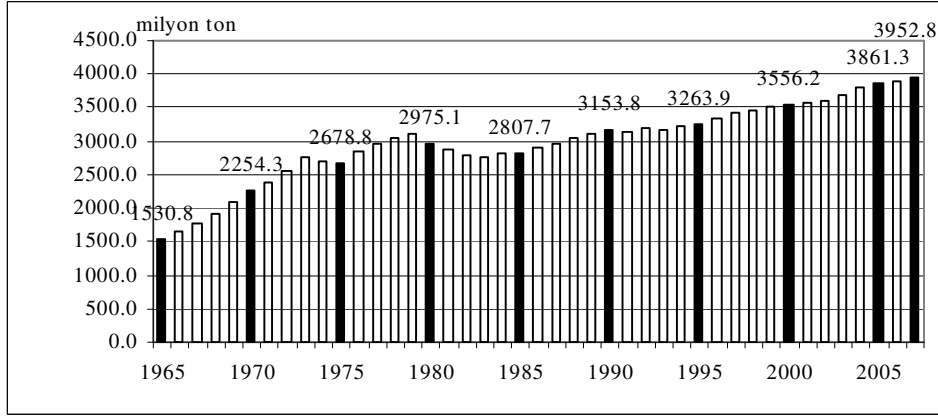
2.2.2.2. Petrol Tüketimi

Dünya ekonomisi yüksek büyümeler kaydettikçe petrol tüketimi de artmaktadır. 1965 yılında günlük petrol tüketimi 68,666 milyon varil iken 2007 yılında günlük petrol tüketimi 85,220 milyon varile çıkmıştır. 2030 yılında bu miktarın 118 milyon varil olacağı tahmin edilmektedir.⁵¹

Dünya petrol tüketimi, 1965 – 2007 yılları arasında 1975 ve 1985 yılları hariç bir artış göstermektedir. 1965 yılında 1530,3 milyon ton olan dünya petrol tüketimi, 2007 yılında 3952,8 milyon ton olarak gerçekleşmiştir.

⁵¹ IEA, **World Energy 2007 Executive Summary**, s. 4, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/Textbase/npsum/WE02007SUM.pdf>, 15.01.2008

Grafik – 2.5: Dünya Toplam Petrol Tüketimi, 1965 – 2007 (milyon ton)



Kaynak: BP, "Statistical Review 2008", (Çevrimiçi),

http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/downloads/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_review_2008.pdf, 23.06.2008

Dünya petrol tüketiminin bölgesel dağılım payları incelendiğinde, 1965 yılında dünya petrol tüketiminin %40,3'ünü Kuzey Amerika, %38,7'sini Avrupa ve Avrasya bölgesi, %10,8'ini Asya Pasifik bölgesi ve %10,2'sini diğer bölgeler gerçekleştirmiştir. 2007 yılı itibarıyla bölgelerin tüketim payları Kuzey Amerika'da %28,7, Avrupa ve Avrasya bölgesinde %24, Asya Pasifik bölgesinde %30 olarak gerçekleşmiştir.

Dünyanın 1965 yılında en yüksek petrol tüketim miktarına sahip ülkeler ABD (548,9 milyon ton), Japonya (89,7 milyon ton), Almanya (86,3 milyon ton), İngiltere (74,2 milyon ton), Fransa (53,9 milyon ton), Kanada (53,8 milyon ton) İtalya (52,3 milyon ton) olmuştur. 2007 yılında ise en yüksek petrol tüketimini ABD 943,1 milyon ton ile, Çin 368 milyon ton ile, Japonya 228,9 milyon ton ile, Hindistan 128,5 milyon ton ile, Rusya Federasyonu 125,9 milyon ton ile, Almanya 112,5 milyon ton ile, Güney Kore 107,6 milyon ton ile, Kanada 102,3 milyon ton ile gerçekleştirmiştir. Bu ülkelerin 2007 yılında dünya petrol tüketimi içindeki payları ise ABD'nin %23,9'i, Çin'in %9,3, Japonya'nın %5,8, Hindistan'ın %3,3, Rusya Federasyon'un %3,2, Almanya'nın %2,8, Güney Kore %2,7, Kanada %2,6 şeklinde olmuştur.

Petrol tüketimindeki artışın çoğu gelişmekte olan ülkelerden gelmektedir. Çin ve diğer gelişmekte olan Asya ülkelerin ortalama günlük petrol tüketimi 15 milyon varilden

%46 artarak 2030 yılında 33 milyon varile çıkacağı tahmin edilmektedir. 1980-2006 yıllık ortalama dünya petrol tüketim artışı %3,4 iken Çin'in yıllık petrol tüketim artışı %5,1 olmuştur.⁵²

Tablo – 2.7: Dünya Petrol Tüketiminin Bölgesel Payları, 1965-2007 (%)

Bölge	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2007
K. Amerika	40.3	34.9	32.8	31.4	30.2	29.5	29.4	30.1	28.7
G. ve O. Amerika	5.4	4.7	5.0	5.4	5.4	5.5	6.1	6.3	6.4
Avrupa ve Avrasya	38.7	41.3	40.9	40.2	38.4	35.8	28.7	26.1	24.0
Orta Doğu	3.1	2.6	2.7	3.4	5.1	5.3	6.2	6.4	7.4
Afrika	1.7	1.6	1.7	2.2	2.9	3.0	3.2	3.3	3.5
Asya Pasifik	10.8	15.0	16.9	17.3	17.8	20.9	26.3	27.8	30.0

Kaynak: BP, “Statistical Review 2008”, (Çevrimiçi),

http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/downloads/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_review_2008.pdf, 23.06.2008

Petrol dünya enerji tüketiminin % 34'ünü karşılamaktadır. Petrol tüketiminin yaklaşık olarak %51'i çok az rakibi olan taşımacılık sektöründe kullanılmaktadır. Petrol taşımacılık sektörün yanında konut, elektrik enerjisi üretimi, sanayide ve özellikle kimya ve petrokimya sanayide kullanılmaktadır. Tablo- 2.8'de petrolün sektörlere göre mevcut ve tahmini kullanım payları verilmiştir.

Tablo – 2.8: Sektörlere Göre Dünya Petrol Kullanımı, 2004-2030 (%)

	Konut	Hizmet	Sanayi	Taşımacılık	Elektrik
2004	6.5	3.1	33.0	51.1	6.3
2010	6.3	3.0	33.1	51.9	5.7
2015	6.2	2.9	32.6	52.7	5.6
2020	6.0	2.8	32.2	53.6	5.4
2025	5.8	2.7	31.6	54.7	5.2
2030	5.5	2.6	31.1	56.0	4.9

Kaynak: EIA, International Energy Outlook 2007, s. 29, (Çevrimiçi),

<http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html>, 15.04.2008

⁵² IEA, **World Energy 2007 Executive Summary**, s. 87, (Çevrimiçi),
<http://www.iea.org/Textbase/npsun/WEO2007SUM.pdf>, 15.04.2008

2.2.3. Doğal Gaz

Fosil yakıtlar grubundan hidrokarbon esaslı doğalgaz, yer altında gözenekli kayaların boşluklarına sıkışmış olarak yada petrol yataklarının üzerinde gaz halinde büyük hacimler şeklinde bulunur. Doğalgaz; %95 metan, az miktarda da etan, propan, bütan ve karbondioksitten oluşan renksiz, kokusuz ve havadan hafif bir gazdır.⁵³

Dünyanın değişik bölgelerinde bulunan doğal gaz rezervleri 2007 yılı sonu itibarıyla 177,36 trilyon m³ olarak hesaplanmıştır. Rezerv sıralamasında Orta Doğu %40,3 payı ile dünyanın birinci büyük doğal gaz rezerv bölgesidir. İran (%15,7), Katar (%14,4), Suudi Arabistan (%4) ve Birleşik Arap Emirlikleri (%3,4) önemli rezervlere sahiptir. Avrupa ve Avrasya bölgesi %33,5 oranında bir pay ile ikinci en yüksek doğalgaz rezervlerine sahip bölgedir. Bu bölgede Rusya Federasyonu %25,2 oranında bir paya, Norveç %1,7 oranında bir paya, Türkmenistan %1,5 oranında bir paya, Kazakistan %1,1 oranında bir paya ve Özbekistan %1 oranında bir paya sahiptir.

Dünya genelinde doğal gaz rezervleri son 20 senede %80'den fazla arttırılmıştır. Bu artış özellikle Rusya, Orta Asya ve Orta Doğu yeni rezerv artırımlarıyla gerçekleşmiştir. Son yıllardaki doğal gaz rezervlerindeki artış ise keşfedilen rezervlerin yeniden gözde geçirilmesinden gelmektedir. Bunun yanında yeni bulunan doğal gaz yatakları daha önce bulunanlardan küçüktür.⁵⁴

1980 -2007 yılları arasında doğal gaz rezervleri incelendiğinde Avrupa ve Avrasya bölgesinin doğal gaz rezerv payları %43,5'den %33,5'e, Kuzey Amerika bölgesinin ise %11,7'den %4,5'e düştüğü, Orta Doğu bölgesinde ise %29,2'den %41,3'e ulaştığı görülmektedir. Diğer bölgelerdeki doğal gaz rezervlerinde önemli değişiklikler görülmemektedir.

⁵³ Makine Mühendisler Odası, **Türkiye'nin Doğal Gaz Temin ve Tüketim Politikalarının Değerlendirilmesi Raporu**, Ankara, 2006, s. 7

⁵⁴ IEA, **World Energy Outlook 2006**, s. 114, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2006/weo2006.pdf>, 10.10.2007

Tablo – 2.9: Dünya Doğal Gaz Rezervlerin Bölgesel Payları, 1980-2007 (%)

Bölge	1980	1985	1990	1995	2000	2007
K. Amerika	11.7	10.2	7.2	5.9	4.6	4.5
O. ve G. Amerika	3.3	3.3	4.0	4.1	4.3	4.4
Avrupa ve Avrasya	43.5	45.6	46.0	44.5	39.1	33.5
Orta Doğu	29.2	27.3	28.8	31.4	36.8	41.3
Afrika	7.1	6.1	6.5	6.9	7.7	8.2
Asya Pasifik	5.3	7.5	7.5	7.3	7.5	8.2

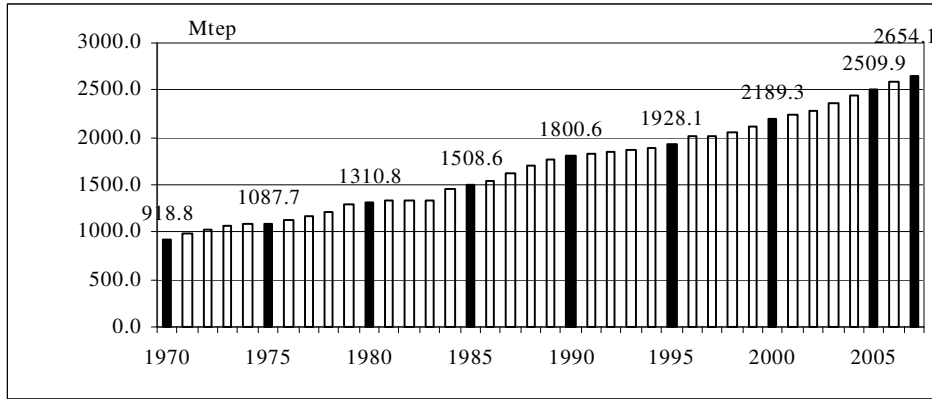
Kaynak: BP, “Statistical Review 2008”, (Çevrimiçi),

http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/downloads/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_review_2008.pdf, 23.06.2008

2.2.3.1. Doğal Gaz Üretimi

Dünyada doğal gaz çok eski yıllardan beri kullanılmakla beraber popüler hale gelmesi 1960'lı yıllara dayanmaktadır ve son 30 yılda dünya doğal gaz üretimi sürekli artış eğimi içerisinde. 1970 yılında 918,7milyon tep olarak gerçekleşen üretim 2007 yılında 2654,1 milyon tep olmuştur.

Grafik – 2.6: Dünya Toplam Doğal Gaz Üretimi, 1970 – 2007 (Mtep)



Kaynak: BP, “Statistical Review 2008”, (Çevrimiçi),

http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/downloads/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_review_2008.pdf, 23.06.2008

Bölgelerin doğal gaz üretimi rezerv durumlarına ve piyasadaki konumuna bağlı olarak geliştiği görülmektedir. Hacim olarak doğal gaz üretiminin büyümesi en çok Orta

Doğu ve Afrika bölgesinde gerçekleşmiştir. Asya Pasifik bölgesinde 1970 yılında doğal gaz üretim payı %1,5 iken Endonezya'nın rezerv artırımlarına bağlı olarak 2007 yılında %13,3'e ulaşmıştır. Venezüella'nın önemli üreticisi olan Orta ve Güney Amerika bölgesinde doğal gaz üretimi hızlı artmaktadır ve 2007 yılı itibariyle dünya doğal gaz üretiminde %5,1'i oranında bir payı bu bölgede gerçekleşmiştir. Kuzey Amerika bölgesi 1970 yılında dünya doğal gaz üretiminin en yüksek payına sahip iken %66,2, 2007 yılında bu bölgenin üretim payı %26,6'a düşmüştür. Buna karşın Avrupa ve Avrasya bölgesi doğal gaz üretim payını %28,3'ten %36,5'e yükselterek lider konumuna gelmiştir. Ancak bu bölgede gelecek yıllarda üretim artışları yavaşlayacağı tahmin edilmektedir. Rusya büyük doğal gaz rezervlerine sahip olmasına rağmen, bu rezervlerin büyük kısmı teknik olarak kullanılması ve pazara ulaştırılması zordur. Ayrıca tahminlere göre Kuzey denizdeki doğal gaz üretimi gelecek on yılda maksimuma ulaşip düşmeye başlayacağı belirtilmektedir.⁵⁵

2007 yılı itibariyle dünya doğal gaz üretiminde lider ülkeler 546,7 milyon tep ve %20,6'lük üretim payı ile Rusya, 499,4 milyon tep %18,8'lik bir üretim payı ile ABD ve 165,3 milyon tep ve 6,2'lik bir üretim payı ile Kanada olmuştur.

Tablo – 2.10: Dünya Doğal Gaz Üretiminin Bölgesel Payları, 1970-2007 (%)

Bölge	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2007
K. Amerika	66.2	52.9	45.4	35.0	32.4	33.6	31.6	26.6
O. ve G. Amerika	1.8	1.9	2.3	2.7	2.9	3.4	4.0	5.1
Avrupa ve Avrasya	28.3	38.5	43.4	49.4	48.7	42.2	39.4	36.5
Orta Doğu	1.9	2.8	2.6	3.8	5.1	7.0	8.5	12.1
Afrika	0.3	1.0	1.6	2.8	3.3	3.9	5.2	6.5
Asya Pasifik	1.5	2.9	4.7	6.3	7.5	9.9	11.2	13.3

Kaynak: BP, "Statistical Review 2008", (Çevrimiçi),

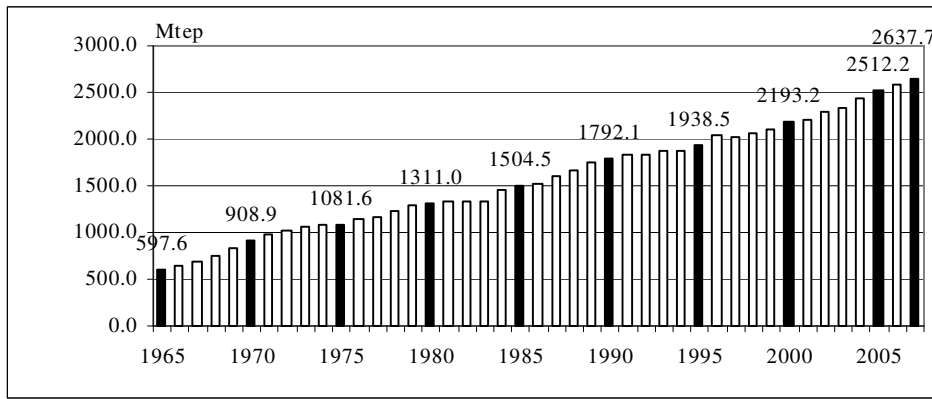
http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/downloads/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_review_2008.pdf, 23.06.2008

⁵⁵ IEA, **World Energy Outlook 2006**, s. 115, (Çevrimiçi),
<http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2006/weo2006.pdf>, 10.10.2008

2.2.3.2. Doğal Gaz Tüketimi

1965 yılından beri sürekli artış eğilimi içerisinde olan dünya doğal gaz tüketimi 2007 yılında %2,5 artmıştır. 1965 yılında 597,6 milyon tep olarak gerçekleşen dünya doğal gaz tüketimi 2007 yılında 2637,7 milyon tep olmuştur.

Grafik – 2.7: Dünya Toplam Doğal Gaz Tüketimi, 1965 – 2007 (Mtep)



Kaynak: BP, “Statistical Review 2008”, (Çevrimiçi),

http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/downloads/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_review_2008.pdf, 23.06.2008

Kuzey Amerika bölgesinin dünya doğal gaz tüketimi içindeki payı 1965 yılında %71,2 iken 2007 yılında %27,6’ya düşmüştür. Buna karşın diğer bölgelerde doğal gaz tüketim miktarları artmıştır. Özellikle Avrupa ve Avrasya bölgesinin doğal gaz tüketim payı %24,1’den %39,4’e, Asya Pasifik bölgesinin doğal gaz tüketim payı %0,9’dan %15,3’e ulaşmıştır.

Doğal gaz tüketiminin %70’şi gelişmiş Kuzey Amerika, Avrupa ve Asya ülkeleri tarafından gerçekleştirilmektedir. 2007 yılında ABD’nin doğal gaz tüketim miktarındaki düşüş, Rusya ve Çin’de gerçekleşen büyük artış ile dengelenmiştir. Dünya doğal gaz tüketimindeki artışın %20’si Çin ve %40’kı Rusya’da gerçekleşmiştir. 2007 yılında dünyanın en yüksek doğal gaz tüketim payına sahip 595,7 milyon tep ve %22,6’lık bir pay ile ABD ve 394,9 milyon tep ve %15’lik bir pay ile Rusya Federasyonu olmuştur. Japonya %3,1’lik tüketim payına sahip en büyük doğal gaz ithalatçısı konumundadır.

Tablo – 2.11: Dünya Doğal Gaz Tüketiminin Bölgesel Payları, 1970-2007 (%)

Bölge	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2007
K. Amerika	71.2	65.1	51.8	44.6	35.0	32.5	34.6	32.5	27.6
O. ve G. Amerika	2.2	1.8	1.9	2.4	2.8	2.9	3.4	3.9	4.6
Avrupa ve Avrasya	24.1	29.8	40.8	44.5	50.3	49.9	43.1	41.6	39.4
Orta Doğu	1.5	1.6	2.1	2.4	3.6	4.8	6.6	7.6	10.2
Afrika	0.1	0.2	0.4	1.3	1.7	1.9	2.1	2.3	2.8
Asya Pasifik	0.9	1.6	2.9	4.8	6.7	8.0	10.1	12.2	15.3

Kaynak: BP, “Statistical Review 2008”, (Çevrimiçi),

http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/downloads/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_review_2008.pdf, 23.06.2008

Doğal gaz dünya enerji ihtiyacının %21’ini karşılamaktadır. Doğal gaz tüketiminin %44’ü sanayide, %31’i elektrik enerjisi üretiminde ve %16’ı konut, hizmet, taşımacılık sektörlerinde kullanılmaktadır. Tablo- 2.12’de doğal gazın sektörlere göre mevcut ve tahmini kullanım payları verilmiştir.

Tablo – 2.12: Sektörlere Göre Dünya Doğal Gaz Kullanımı, 2004-2030 (%)

	2004	2010	2015	2020	2025	2030
Sanayi	44.0	42.6	42.2	43.0	43.4	43.9
Elektrik	31.0	33.9	35.2	35.2	35.5	36.2
Diğer	25.0	23.5	22.7	21.8	21.1	20.9

Kaynak: EIA, International Energy Outlook 2007, s. 39, (Çevrimiçi),

<http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html>, 15.04.2008

2.3.Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji, sürekli kendini yenileyen dolayısıyla tükenmeyen enerji türüdür. Yenilenebilir enerji, direkt veya dolaylı olarak güneşten veya yeraltında oluşan ısıdan elde edilebilir. Yenilenebilir enerji kaynakları güneş, rüzgar, biokütle, jeotermal, dalda ve hidrolik enerjisidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarını üç gruba ayırmak mümkündür.

- Birinci grup, faydalanabilmek için elektrik enerjisine çevrilmesi gereken kaynakları içermektedir. Bunlar su gücü, rüzgar, dalga, güneş foto elementleri.
- İkinci grup, üretildikten sonra çok amaçlı kullanım ve nihai tüketim için dağıtımı gerçekleştirilen kaynakları içermektedir. Bunlar jeotermal ve güneş ısısı enerjisi.

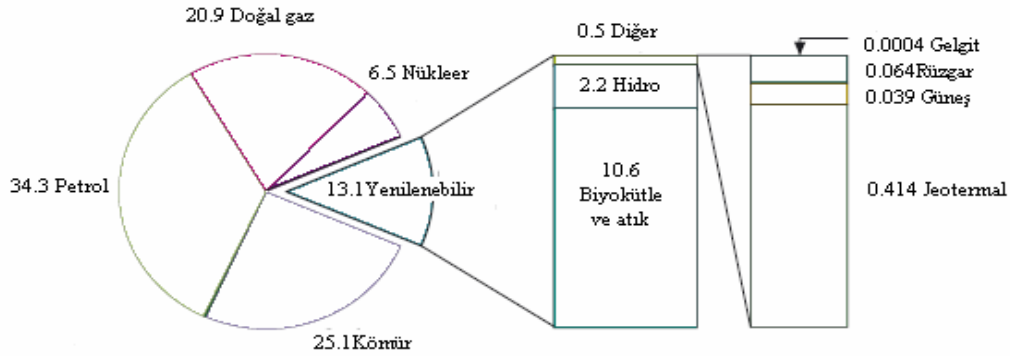
Yapı gereğince bu enerji kaynakların depolanması mümkün olmadığından, rezerv istatistikleri çıkartılamaz.

- Üçüncü grup, yapı gereğince depolanabilen ve üretildikten sonra çok amaçlı olarak farklı sektörlerde kullanılabilen kaynakları içermektedir. Bunlar sanayi atıkları, katı biokütle, biyogazlar, sıvı biyoyakıtlar.⁵⁶

Yenilenebilir enerji kaynakları dünya enerji tüketiminin %14'ünü karşılamaktadır. Ancak teknolojik kapasite, reel ve 2100 yılı için hesaplanan enerji tüketimini kat kat karşılayabilecek durumdadır.⁵⁷

2004 yılı itibariyle yenilenebilir enerji kaynakları, dünya birincil enerji arzının %13,1'ini oluşturmuşlardır. Biokütle ve atıkların payı diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre oldukça yüksektir.

Grafik – 2.8: Yenilenebilir Enerji Kaynakların 2004 yılı İtibariyle Dünya Birincil Enerji Arzındaki Durumları (%)



Kaynak: IEA, **Renewables in Global Energy Supply**, Ocak 2007, s. 3, (Çevrimiçi), http://www.iea.org/textbase/papers/2006/renewable_factsheet.pdf, 10.10.1008

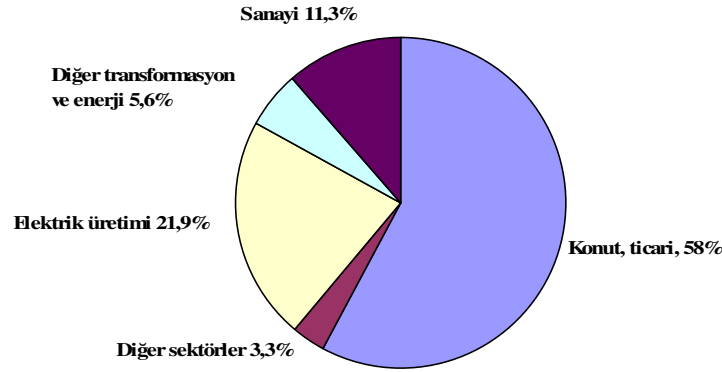
Uluslar arası Enerji Ajansın verilerine göre yenilenebilir enerjinin en çok konut ve hizmet alanında kullanılmaktadır. Güneş ısısının %90'ı konut sektöründe

⁵⁶ IEA, **Rukovodstvo po Energeticheskoy Statistike**, 2007, Paris, s.117, (Çevrimiçi), http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2007/manual_russia.pdf, 10.10.2007

⁵⁷ Greenpeace, **Enerji Revolution: A Sustainable Pathway To A Clean Future For Europe**, 2005, s., (Çevrimiçi), <http://www.greenpeace.org/raw/content/international/press/reports/energy-revolution-a-sustainab.pdf>, 27.09.2007

kullanılmakta ve 2030'da da en çok kullanan sektör olarak kalacağı öngörülmektedir. 2030'da güneş ısısının tüketimi 4 Mtep'den 35 Mtep'e çıkacağı hesaplanmıştır. OECD ülkelerinde üretilen biokütle enerjisinin yarısı sanayide kullanılmaktadır ve 2030'da %9 artacağı beklenmektedir. Afrika'da ise biokütle enerjisinin %29'u, Brezilya'da %36'sı ve Hindistan'da %22'si sanayide kullanılmaktadır.⁵⁸ Grafik – 2.9'da yenilenebilir enerji kaynakların sektörlere göre kullanımı verilmiştir.

Grafik – 2.9: Yenilenebilir Enerji Kaynakların Sektörlere Göre Kullanımı, 2004



Kaynak: IEA, **Renewables in Global Energy Supply**, s. 5, (Çevrimiçi),
http://www.iea.org/textbase/papers/2006/renewable_factsheet.pdf, 10.10.1008

Yenilenebilir enerji kaynakları dünya elektrik üretiminin kömür (%34) ve doğalgazdan (%20 yakın) sonra, nükleer (%16) ve petrolden (%7) önce %18'ini sağlamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin yaklaşık %90'ı hidrolik enerjisinden, %6'sı atıklardan gelmektedir. Jeotermal, güneş ve rüzgar enerjisinden üretilen elektrik %4,5'e ulaşmıştır.⁵⁹

⁵⁸ IEA, **World Energy Outlook 2006**, s. 35, (Çevrimiçi),
<http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2006/weo2006.pdf>, 10.10.2008

⁵⁹ IEA, **Renewables in Global Energy Supply**, Ocak 2007, s. 5, (Çevrimiçi),
http://www.iea.org/textbase/papers/2006/renewable_factsheet.pdf, 10.10.1008

Tablo – 2.13: Dünyada Kurulu Yenilenebilir Enerji Kapasitesi, 2005

		2005 Yılında eklenen	2005 Yılı sonunda	% Artış
Elektrik Enerji Üretimi				
Büyük hidrolik santraller		12 – 14 GW	750 GW	%1.5 – 2
Küçük hidrolik santraller		5 GW	66 GW	%8
Biokütle		11.5 GW	59 GW	%24
Rüzgar türbinleri		2 – 3 GW	44 GW	
Jeotermal güç		0.3 GW	9.3 GW	%3
PV, şebeke bağlantılı	(GW)	1.1 GW	3.1 GW	%55
	(konut)	200000	650000	
PV, şebeke bağlantısız		0.3 GW	2.3 GW	%15
Güneş termal güç		~0	0.4 GW	
Gel-git gücü		~0	0.3 GW	
Sıcak su/ısıtma				
Biokütle			220 GWth	
Güneş kolektörlü	(GWth)	13 GWth	88 GWth	
	(m2)	19 mil m2	125 mil m2	%14
	(konut)	7 milyon	46 milyon	
Jeotermal ısıtma		2.6 GW	28 GWh	%9
Ulaştırma yakıtları				
Etanol üretimi		2.5 milyar litre/yıl	33 milyar litre/yıl	%8
Bodizel üretimi		1.8 milyar litre/yıl	3.9 milyar litre/yıl	%85
Kırsal (şebeke dışı) enerji				
Biokütle pişirme	(klasik+modern)		570 milyon	
	(modern biokütle)		220 milyon	
Evlerde kullanılan biogaz			21 milyon	
Evlerde kullanılan PV		>270000	2.4 milyon	

Kaynak: Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, **Renewables Global Status Report 2006 Update**, Paris, 2006, s.17, (Çevrimiçi), http://www.ren21.net/globalstatusreport/download/-RE_GSR_2006_Update.pdf, 10.10.2007

Yenilenebilir enerji kaynakların dağılımı ülke ve bölgelere göre değişmektedir. Ülkenin yağış miktarı, güneşli gün sayısı, hava akımları vb. iklim ve doğa özelliklerinin yanında teknoloji ve yatırım imkanları da yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım kapasitesini etkilemektedir.⁶⁰ Tablo – 2.14’de bölgelere göre yenilenebilir enerji kaynakların kullanımına yer verilmiştir.

⁶⁰ A.e., s. 8

Tablo – 2.14: Bölgelere göre Yenilenebilir Enerji Kaynakların Kullanımı, 2004

Bölge	TBEA*	Yenilenebilir enerji arzı	TBEA içindeki payı	Toplam Yenileneb. Enerji İçindeki Kaynakların Payı		
				Hidrolik	Güneş, Rüzgar, Jeotermal, Okyanus	Biyokütle ve atık
	Mtep	Mtep	%	%	%	%
Afrika	586	287	49,0	2,6	0,4	97,1
L. Amerika	486	140	28,9	36,1	1,4	62,4
Asya**	1 289	411	31,8	4,0	3,6	92,4
Çin	1 627	251	15,4	12,1	0	87,9
OECD dışı Avrupa	104	11	10,6	43,2	2,5	54,3
Eski SSCB	979	30	3,0	71,4	1,2	27,3
Orta Doğu	480	3	0,7	43,4	24,4	32,2
OECD	5 508	315	5,7	34,6	12,0	53,4
Dünya	11 059	1 404	13,1	16,7	4,0	79,4

* Toplam birincil enerji arzı ** Çin hariç Asya

Kaynak: IEA, **Renewables in Global Energy Supply**, s. 11, (Çevrimiçi), http://www.iea.org/textbase/papers/2006/renewable_factsheet.pdf, 10.10.1008

2.3.1. Hidrolik Enerji

Hidrolik enerji akan su gücünden elde edilen bir enerjidir. Hidrolik enerji üretimi topografı ve meteoroloji şartlara bağlıdır. Üretilen enerji miktarı akan su miktarına doğrudan bağlıdır.⁶¹

İlk olarak düşen suyun gücü mekanik enerji formuna dönüştürülerek su değirmenlerinde kullanılıyordu. 1827’de Fransa’da su türbinlerin icadı bugünkü hidroelektrik santrallerin başlangıcı olmuştur. 19.y.y. küçük ölçekli türbinlerin kullanımı Avrupa ve Kuzey Amerika’da yaygınlaştı. Hidroelektrik santrallerin işletimi ölçek ekonomi özelliğine sahiptir. Bu da 1930 ile 1970’lerde küçük santrallerinden büyük santrallere geçiş trendini başlatmıştır. 1973’te yaşanan petrol krizi teknolojik gelişmeyi yeniden canlandırarak piyasaya yeni hidroelektrik tertibatların ve türbinlerin sürülmesine sebep olmuştur. 1980 ile 1990 yılları arasında petrol fiyatların düşük seviyede kalması ve doğal gaz üretimin artması hidroelektrik sistemlerin geliştirtmesine olan ilgiyi azalmıştır. Serbestleştirme girişimlerin başlatılması ile bazı bölgelerde

⁶¹ IEA, **Renewable Technology**, s.81, (Çevrimiçi), http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/1990/renew_tech1991.pdf, 10.10.2007

hidroelektrik üretim kapasiteleri bağımsız üreticiler (Independent Power Producers) tarafından geliştirilmeye başlamıştır.⁶²

Hidrolik enerjinin üç kullanım şekli vardır: nehir üzerinde baraj (run-of-the-river), su deposu (storage), pompalanan su deposu (pumped storage). Nehir üzerinde kurulan hidroelektrik santrali çok az su depolaması özelliğine sahiptir. Bunlar nehrin su miktarına bağlı olarak çalışmaktadır. Su deposu olan hidroelektrik santraller yağışlı dönemlerde biriktirilen su ile kuraklık dönemlerinde elektrik üretimini sağlar. Pompalanan su deposu olan hidrolik santraller ise suyu bir havuzdan başka havuza pompalayarak nehir akımının sahip olduğu enerjiden daha çok enerji potansiyeline sahip akım yaratabilmektedir.

Hidroelektrik santraller büyük ölçekli ve küçük ölçekli olabilmektedir. Büyük ölçekli tertibatlar, büyük elektrik üreticiler tarafından geliştirilip işletilmektedir ve kapasite olarak yüzlerce megawatt gücündedir. Küçük ölçekli hidroelektrik tertibatlar genellikle özel girişimler, küçük firmalar, elektrik ve hidro firmaları tarafından işletilmekte olup kapasiteleri 20MWh aşmamaktadır. Küçük ölçekli ve büyük ölçekli hidroelektrik tertibatların çalışma prensibi aynıdır, farklı olarak büyük ölçekli tertibatların su birikimini sağlayan depoları olduğu için elektrik üretimini talebe göre günlük ve mevsimlik olarak ayarlanabilmektedir.⁶³

Elektrik, suyun türbin içindeki çarkı döndürmesi ile üretilmektedir. Üretilen elektrik miktarı bir zaman biriminde akan su miktarı ile hidrolik kafa (türbinin su üzerinden mesafesi) büyüklüğüne bağlıdır ve $P = 5,9FH$ formülüne göre hesaplanmaktadır F: su miktarı m^3 olarak, H: hidrolik kafa büyüklüğü metre olarak, P: üretilen elektrik miktarı kWh olarak.⁶⁴

Dünyadaki hidroelektrik enerji kaynakları ağırlıklı olarak Amerika, Avrupa, Asya kıtalarında bulunmaktadır. Dünyanın bilinen ekonomik ve güvenilir hidroelektrik

⁶² IEA, **Renewables for Power Generation**, Paris, 2003, s.39 , (Çevrimiçi), http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/renewpower_2003.pdf, 10.10.2007

⁶³ IEA, **Renewable Technology**, , s.81, (Çevrimiçi), http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/1990/renew_tech1991.pdf , 10.10.2007

⁶⁴ Carol A. Dahl, **a.g.e.**, s. 320

potansiyeli yaklaşık olarak 10000 TWh/yıl olarak tahmin edilmektedir.⁶⁵ Hidroelektrik enerji ekonomik potansiyel olarak en büyük ülke Çin'dir. 2004 verilerine göre Çin'in ekonomik potansiyeli 1260 milyar kWh miktarındadır. Ardından 850 milyar kWh ile Rusya ve 806 milyar kWh ile Brezilya gelmektedir. Dördüncü sırada 536 milyar kWh ekonomik potansiyeli ile Kanada ve ardından 376 milyar kWh ile ABD gelmektedir.⁶⁶

Tablo – 2.15: Dünya Hidroelektrik Enerji Potansiyeli

Bölge	Teorik hidroelektrik potansiyel, GWh/yıl	Teknik yapılabilir hidroelektrik potansiyel, GWh/yıl	Ekonomik yapılabilir hidroelektrik potansiyel, GWh/yıl	İşletmede	
				Kurulu güç, MW	Ortalama üretim, GWh/yıl
Afrika	4 000 000	1 750 000	1 100 000	20 921	83 360
Asya	19 400 000	6 800 000	3 600 000	244 819	800 605
Avustralya	594 000	200 000	90 000	13 274	43 336
Avrupa	3 200 000	1 035 000	791 000	177 397	568 726
K. Amerika	6 312 000	1 663 000	1 000 000	157 681	693 719
G. Amerika	6 200 000	2 700 000	1 600 000	114 433	553 876
Toplam	39 706 000	14 148 000	8 181 000	728 525	2 743 622

Kaynak: Nusret Alemdaroğlu, **Enerji Sektörünün Geleceği Alternatif Enerji Kaynakları ve Türkiye'nin Önündeki Fırsatlar**, İstanbul Ticaret Odası, İstanbul, 2007, s. 17

Hidroelektrik enerji dünyadaki 65 ülkenin elektrik ihtiyacının %50'sini, 32 ülkenin %80'ini, 13 ülkenin bütün ihtiyaçlarını karşılamaktadır.⁶⁷ 1971 yılında hidroelektrik enerji talebi 104 Mtep iken 2002 yılına geldiğinde 224 Mtep olmuştur. Yıllık ortalama %1,8 oranında artış olduğu öngörülmektedir. 2002 yılında toplam enerji talebinin %16'lık kesimini karşılayan hidroelektriğin gelecek yıllarda payının azalacağı ve 2030 yılında %13'ler seviyesine düşeceği, buna karşın elektrik üretiminde diğer yenilenebilir enerji kaynakların payının %2'den 2030 yılında %6'ya çıkacağı tahmin edilmektedir.⁶⁸

⁶⁵ Nusret Alemdaroğlu, **Enerji Sektörünün Geleceği Alternatif Enerji Kanakları ve Türkiye'nin Önündeki Fırsatlar**, İstanbul Ticaret Odası, İstanbul, 2007, s. 15

⁶⁶ World Energy Council (WEC), **Survey of Energy Resources 2007**, Londra, 2007, s.271, (Çevrimiçi), http://www.worldenergy.org/documents/ser2007_final_online_version_1.pdf, 15.01.2008

⁶⁷ Ahmet Eniş, "Enerji Politikaları; Yerli,Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları", **TMMOB Türkiye V. Enerji Sempozyumu Bildirileri**, Makine Mühendisi Enerji Çalışma Grubu, (Çevrimiçi), http://www.emo.org.tr/resimler/ekler/c6744c9d42ec2cb_ek.pdf, 27.09.2007

⁶⁸ IEA, **World Energy Outlook 2004**, s. 228, 262, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2004/weo2004.pdf>, 10.10.2007

Dünyanın ekonomik hidroelektrik potansiyelinin ancak %33 kullanılmaktadır. Bölgesel olarak bakıldığında Avrupa ekonomik hidroelektrik potansiyelinin %71'ini, Kuzey ve Orta Amerika %69'unu, Güney Amerika %35'ini, Avustralya %48'ini, Afrika %8'ini ve Asya %22'sini kullanmaktadır. Buna göre Afrika ve Asya'da bulunan gelişmekte olan ülkelerde ve özellikle de büyük enerji ihtiyacı olan Çin'de hidroelektriğin büyüme göstermesi beklenmektedir. 2030'da dünya kurulu gücün 1431 GW ulaşacağı tahmin edilmektedir. Çin'de 2004'te 105GW olan hidroelektrik kurulu gücün 2030'da 298 GW'a çıkacağı, Hindistan'da ise 31 GW'tan 105 GW'a ulaşacağı öngörülmektedir.⁶⁹

2005 yılında dünya büyük ölçekli hidroelektrik santrallerin kurulu gücü başta Çin (7 GW eklenen), Brezilya (2,4 GW eklenen) ve Hindistan (1,3 GW eklenen) olmak üzere toplam 12-14 GW artmıştır. Küçük ölçekli hidroelektrik santrallerin kurulu gücü dünya çapında 5 GW eklenerek 66 GW kadar arttırılmıştır. Bunun 38,5 GW'ı Çin'de bulunması, küçük ölçekli hidroelektrik santrallere olan yatırım artışlarının devam ettiğini göstermektedir.⁷⁰

2.3.1.2 Hidrolik Enerji Maliyeti

Hydroelectric santrallerin yatırım maliyetleri bölge özelliklerine (topografi, su dengesi) ve yerel imkanlara (planlama ve idari konular, sosyal güvenlik, finans sistemi) göre değişim göstermektedir. Bölge özellikleri tesis teknolojisinin seçiminde en önemli rolü oynarken yerel imkanlar teknik olmayan maliyeti etkilemektedir.⁷¹

İngiltere Sanayi Bakanlığı'nın sermaye tahminlerinin incelemesine göre yüksek kaynaklı bölgeler kW başına üretim açısından düşük kaynaklı bölgelere göre genelde daha ucuzdur. Düşük kaynaklı bölgelerde hız yükselticiye ihtiyaç duyulduğundan dolayı

⁶⁹ IEA, **Renewables in Global Energy Supply**, Ocak 2007, s. 13, (Çevrimiçi), http://www.iea.org/textbase/papers/2006/renewable_sheet.pdf, 10.10.1008

⁷⁰ Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, **Renewables Global Status Report 2006 Update**, Paris, 2006, s.5, (Çevrimiçi), http://www.ren21.net/globalstatusreport/download/RE_GSR_2006_Update.pdf, 10.10.2007

⁷¹ IEA, **Renewables for Power Generation**, Paris, 2003, s.36 , (Çevrimiçi), http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/renewpower_2003.pdf, 10.10.2007

maliyet yükselmektedir. Geçmiş maliyetlere bağlı olarak, büyük ölçekli santrallerin birim üretim maliyeti kW başına 1,0 ile 2,5 pence arasında değişmektedir. Küçük ölçekli santrallerin birim enerji üretim maliyeti oldukça fazla değişkenlik göstermektedir.⁷²

Tablo – 2.16: Gelişmekte Olan Ülkelerde Küçük Hidroelektrik Santrallerin Maliyeti

Cari yatırım maliyeti (kW başına dolar)	Düşük yatırım maliyeti: 1000
	Yüksek yatırım maliyeti: 5000
2010'da beklenen yatırım maliyeti (kW başına dolar)	Düşük yatırım maliyeti: 950
	Yüksek yatırım maliyeti: 4500
Cari üretim maliyeti (kW başına cent)	Düşük üretim maliyeti: 2-3
	Yüksek üretim maliyeti: 9-15
2010'da beklenen üretim maliyeti (kW başına cent)	Düşük üretim maliyeti: 2
	Yüksek üretim maliyeti: 8-13

Kaynak: IEA, **Renewables for Power Generation**, Paris, 2003, s.49 , (Çevrimiçi), http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/renewpower_2003.pdf, 10.10.2007

Bir küçük ölçekli hidroelektrik santralin işletme ömrü 25 yıl üzeri olup işletim ve bakım (O&M) maliyeti genellikle projenin %2-3'ünü oluşturmaktadır. Bazı santraller düşük fiyattan 50 yıla kadar önemli işletim ve onarım maliyetini gerektirmeden faaliyet gösterebilir.⁷³

İngiltere'de gerçekleştirilen fizibilite çalışmalarının ortaya çıkardığı maliyet tahminleri Tablo – 2.17'de izlenebilir.

⁷² IEA, **Renewables for Power Generation**, Paris, 2003, s.40 , (Çevrimiçi), http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/renewpower_2003.pdf, 10.10.2007

⁷³ A.e., s. 41

Tablo – 2.17: Küçük Ölçekli Hidrolik Santraller için Maliyet ve Performans Tahminleri (1999 fiyatları)

	Yeni Alan Yükseklik: 3-400 m	Yenilen Alan Yükseklik: 3-10 m
Yatırım Maliyeti:		
Toplam	£1000-2500/kW	£1000-3000/Kw
İşletme Kurma Maliyeti	34%	55%
İnşaat	48%	31%
Elektrik	10%	7%
Yönetim ve diğer	8%	7%
Yıllık İşletme Maliyeti		
O&M, Sigorta, Kira vb.	Yatırım maliyetinin %2'si	Yatırım maliyetinin %3'ü
Yerel Vergi	£8-13/kW	£8-13/kW
Performans Verisi:		
İşletme Kullanılabilirliği	95%	95%
Ortalama Yük faktörü (küçük-ölçek)	%40-60	%15-95
Operasyon Tipi	Seasonal cycle	Seasonal cycle
Diğer Veriler:		
Yapım Süresi	1-2 yıl	1-2 yıl
İşletme Ömrü	25-40 yıl	25-40 yıl

Kaynak: (Çevrimiçi), <http://www.etsu.com/RESTATS/>, 10.10.2007

2.3.2. Güneş Enerjisi

Güneş ve çevresinde dolanan gezegenlerden oluşan Güneş Sistemi içerisinde yer alan Dünya için güneş, temel bir enerji kaynağıdır. Özellikle, dünyada yaşayan canlılar için güneş, olmazsa olmaz bir kaynaktır. Günlük güneş enerjisi ile dünya aydınlanabilmekte, yağışlar ile su döngüsü sağlanabilmekte, rüzgarlar esebilmekte ve en önemlisi de fotosentez ile canlı yaşam sürdürülebilmektedir.

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ısınma enerjisidir, güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden kaynaklanır.

Dünyaya güneşten saniyede, yaklaşık 1.7×10^{17} jüllük enerji, (170 milyar MW) ışıınımlar gelmektedir. Güneşin saldığı toplam enerji göz önüne alındığında, bu çok küçük bir miktardır. Ancak bu tutar, dünyada insanoğlunun bugün için kullandığı toplam enerjinin 15 - 16 bin katıdır. Dünyaya gelen güneş enerjisi çeşitli dalga boylarındaki

ışınımlardan oluşur ve güneş-dünya arasını yaklaşık 8 dakika aşarak dünyaya ulaşır. Dünyanın dışına, yani hava kürenin dışına güneş ışınlarına dik bir metre kare alana bir saniyede gelen güneş enerjisi, 1357 juldür. Bu değer, tanım gereği, yıl boyunca değişmez varsayılabilir. Bu sayı Güneş Değişmezi olarak bilinir.⁷⁴ Yapılan hesaplamalara göre 10 m² alandan elde edilen güneş enerjisi yaklaşık 1 kW civarındadır. Bu hesaplara bir yılda dünyaya gelen güneş enerjisinin bilinen kömür rezervlerinin 50 katı büyüklüğe sahip olduğu ortaya çıkmıştır.⁷⁵

Güneşten gelen enerjinin yaklaşık %30'u yansıma ve saçılmalarla uzaya geri gider. Yaklaşık %20'si hava kürede soğurulur. Geri kalan %50'si yeryüzünde soğurulur.⁷⁶ Yeryüzüne ulaşan güneş enerjisi doğal dönüşümlere uğrar. Bu dönüşümlerden biri, suların buharlaştırılarak dünyadaki su döngüsünün sağlanmasıdır.

İkinci bir dönüşüm, ışıklabirleşidir. Bu işlem, dünyadaki canlılar için yaşam demektir. Bir saniyede gelen güneş enerjisinin yaklaşık on binde ikisi bu işlem için harcanır. Ya da başka bir deyişle, bitkilerde toplanır. Yani, gelen güneş enerjisinin bu miktarı, biokütleye dönüştürmektedir. Tüm canlıların besin kaynağı bu enerjidir. Biokütle ile otlar oluşur; otları yiyen otoburlar oluşur; otoburları yiyen etoburlar oluşur.⁷⁷

Güneş enerjisinin bir diğer dönüşümü de rüzgarlar ve deniz dalgalarıyla okyanus akıntılarıdır. Rüzgarların oluşması temelinde havanın bazı bölgelerinin değişik etkenler sonucu diğer bölgelere kıyasla daha sıcak ya da daha soğuk olmasından kaynaklanan basınç farklılıkları etkin olmaktadır. Bu ısınma ve soğumalarda da güneş etkin rol oynamaktadır. Deniz dalgaları ve akıntıları temelde rüzgarın etkisiyle ortaya çıkarlar. Dolayısıyla, hem rüzgar, hem de deniz dalgaları akıntılar birer güneş enerjisi türevidir.⁷⁸

⁷⁴ “Dünyaya ulaşan Güneş Enerjisi”, (Çevrimiçi), http://www.youthforhab.org.tr/tr/yayinlar/enerji/g_taniyalim/ulasan.html, 10.10.2008

⁷⁵ Nusret Alemdaroğlu, **a.g.e.**, s. 26

⁷⁶ Economic Commission for Europe, **Energy Reserves and Supplies in the ECE Region**, United Nationalities, New York, 1979, s. 37

⁷⁷ “Dünyaya ulaşan Güneş Enerjisi”, (Çevrimiçi), http://www.youthforhab.org.tr/tr/yayinlar/enerji/g_taniyalim/ulasan.html, 10.10.2007

⁷⁸ Carol Dahl, **a.g.e.**, s. 322

Güneş enerjisinin yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanma çabaları 1970’lerde yaşanan petrol krizinden yüz yıl öncesinde başlamıştır. Denemeler sonucu 1860’larda Auguste Mouchout güneş gücü motorunu icat etmiştir, daha sonra 1900’lerin başında Aubrey Eneas bu motorların ticaretini başlatmıştır. 1907’de Dr. Maier ile Mr. Remshalden parabolik kolektörlerin patentini almışlardır. 20. y.y.’da insanoğlunun yaşamına giren petrol, güneş enerjisi kullanımı ile ilgili gelişmeleri bir ölçüde frenlemiştir. Bununla birlikte 1970’lerde petrol fiyatların artması ile güneş enerjisi üzerindeki çalışmalar, yeniden ivme kazanmıştır. Güneş enerjisi kullanım projeleri ABD, Rusya, Japonya, İtalya, İspanya gibi birçok sanayileşmiş ülkeler tarafından ele alınmıştır. Evlerde sıcak su sağlanmasında güneş kolektörlerin kullanımı yaygınlaşmıştır ve yoğunlaştırılmış güneş enerjisinin kullanıldığı güneş santralleri kurulmaya başlamıştır.⁷⁹

Güneş enerjisi teknolojileri yöntem, malzeme ve teknolojik düzey açısından çok çeşitlilik göstermekle birlikte iki ana gruba ayrılabilir:

- **Isıl Güneş Teknolojileri:** Bu sistemlerde öncelikle güneş enerjisinden ısı elde edilir. Bu ısı doğrudan kullanılabileceği gibi elektrik üretiminde de kullanılabilir.
- **Güneş Pilleri:** Fotovoltaik piller de denen bu yarı-iletken malzemeler güneş ışığını doğrudan elektriğe çevirirler.⁸⁰

2.3.2.1. Isıl Güneş Teknolojileri

Güneş enerjisinden yüksek sıcaklıklarda buhar üretilmesi daha 1860’larda bilinmesine rağmen yaygın kullanımı ve ticari boyut kazanması 1980’leri bulmuştur. İlk ticari güneş motoru (parabolik oluk kolektörü) 45 kW’lık Meadi-Mısır’da 1912’de kurulmuştur. Ar-Ge çalışmaları daha sonra bu tesisi baz alarak pek çok sanayileşmiş

⁷⁹ European Solar Thermal Industry Association, **Concentrated Solar Thermal Power-Now**, 2005, s. 9, (Çevrimiçi), http://www.solarpaces.org/Library/CSP_Documents/Concentrated-Solar-Thermal-Power-Plants-2005.pdf, 10.10.2007

⁸⁰ EİE, “Güneş Enerjisi ve Teknolojileri”, (Çevrimiçi), <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunespv.html>, 10.10.2007

ülkede ilgi toplamıştır. 1980'lerin ortalarında Amerika-İsrail şirketi olan Luz International Company tarafından yoğunlaştırıcı güneş sistemlerin seri halinde kurulması ile teknolojiye büyük bir gelişmeye ulaşılmıştır. 1984 ile 1991 yılları arasında Kaliforniya'da Mojave çölünde ilk büyük ölçekli 9 adet güneş-elektrik üretim istasyonları kurulmuştur. İstasyonların elektrik üretme gücü 30-80 MW olup gelecekte dünyanın güneşli bölgelerinde güneş enerjisi daha da önem kazanacağını göstermekteydi.⁸¹

Teknolojik gelişmeler iki alan üzerinde yoğunlaşmaktadır⁸²:

- Düşük Sıcaklık Sistemleri
- Yoğunlaştırıcı Güneş Sistemleri

Düşük Sıcaklık Sistemleri (Aktif Güneş Isıtma Sistemleri) aynı zamanda Güneş Kolektörlü Sıcak Su Sistemleri olarak adlandırılır. Yaygın olarak kullanılan Güneş Kolektörlü Sıcak Su Sistemleri, düzlemsel güneş kolektörlü veya vakumlu güneş kolektörlü sistemlerdir.

Düzlemsel Güneş Kolektörleri, güneş enerjisini toplayan ve bir akışkana ısı olarak aktaran çeşitli tür ve biçimlerdeki aygıtlardır. En çok evlerde sıcak su ısıtma amacıyla kullanılmaktadır. Ulaştıkları sıcaklık 70°C civarındadır. Düzlemsel güneş kolektörleri, üstten alta doğru, camdan yapılan üst örtü, cam ile absorban plaka arasında yeterince boşluk, metal veya plastik absorban plaka, arka ve yan yalıtım ve bu bölümleri içine alan bir kasadan oluşmuştur. Absorban plakanın yüzeyi genellikle koyu renkte olup bazen seçiciliği artıran bir madde ile kaplanır. Kolektörler, güneşi maksimum alacak şekilde, sabit bir açıyla yerleştirilirler. Güneş kolektörlü sistemler tabii dolaşım ve pompalı olmak üzere ikiye ayrılır. Bu sistemler evlerin yanında, yüzme havuzları ve sanayi tesisleri için de sıcak su sağlanmasında kullanılır. Bu konudaki Ar-Ge çalışmaları sürmekle birlikte, bu sistemler tamamen ticari ortama girmiş durumdadırlar. Dünya

⁸¹ European Solar Thermal Industry Association, **Concentrated Solar Thermal Power-Now**, 2005, s. 8-9, (Çevrimiçi), http://www.solarpaces.org/Library/CSP_Documents/Concentrated-Solar-Thermal-Power-Plants-2005.pdf, 10.10.2007

⁸² Peter Heller, Cristoph Richter, Klaus Henneske, "Solar Thermal Energy and Photovoltaics", (Çevrimiçi), <http://www.german-renewable-energy.com/Renewables/Redaktion/PDF/en/en-Solar-energy-and-photovoltaics.property=pdf,bereich=renewables,sprache=en,rwb=true.pdf>, 10.10.2007

genelinde kurulu bulunan güneş kolektörü alanı 30 milyon m²'nin üzerindedir. En fazla güneş kolektörü bulunan ülkeler arasında Çin, ABD, Japonya, Avustralya İsrail ve Yunanistan yer almaktadır. Türkiye, 7,5 milyon m² kurulu kolektör alanı ve Almanya yaklaşık 5,7 milyon m² kurulu kolektör alanı ile dünyanın önde gelen ülkelerinden biri konumundadır.⁸³ IEA üye ülkelerinde 2,2 milyon m² kurulu kolektör alanından 2000 yılında 24,367 GWh (87,721 TJ) ısı üretilmiştir.⁸⁴ Almanya'da basit 4 kişilik su ısıtıcı sistemin fiyatı (monte fiyatı dahi) 5000-6500 dolar civarındadır ve piyasa payı %80 iken su ve oda ısıtmalı kombine sistem 12000-18500 dolar civarında olup piyasa payı %20'dir.⁸⁵

Vakumlu Güneş Kolektörlerde ise, vakumlu cam borular ve gerekirse absorban yüzeyine gelen enerjiyi artırmak için metal ya da cam yansıtıcılar kullanılır. Bunların çıkışları daha yüksek sıcaklıkta olduğu için (100-120°C), düzlemsel kolektörlerin kullanıldığı yerlerde ve ayrıca yiyecek dondurma, bina soğutma gibi daha geniş bir yelpazede kullanılabilirler.

Diğer Güneş Kolektörlü Sıcak Su Sistemleri olarak **güneş havuzları, güneş bacaları, su arıtma sistemleri, güneş mimarisi, güneş ocakları** şeklinde sayılabilir. Bu sistemlerin ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin azaltılmasına ve verimin artırılmasına yönelik Ar-Ge çalışmaları devam etmektedir.

Yoğunlaştırıcı Güneş Sistemler (YGS), güneş enerjisi uygulamalarında düzlemsel güneş kolektör sistemlerinin yanı sıra daha yüksek sıcaklıklara ulaşmak için kullanılmaktadır. Düzlemsel güneş kolektörleri için kullanılan kavram ve tarifeler, yoğunlaştırıcı kolektörler için de geçerlidir. Bununla birlikte yoğunlaştırıcı kolektör teknolojisi daha karmaşıktır. Kolektörlerde güneş enerjisinin düştüğü net alana “açıklık alanı” ve güneş enerjisinin yutularak ısı enerjisine dönüştürüldüğü yüzeye “alıcı yüzey”

⁸³ EİE, “Isıl Güneş Teknolojileri”, (Çevrimiçi), <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/gunespv.html>, 10.10.2007

⁸⁴ Peter Heller, Cristoph Richter, Klaus Henneske, “Solar Thermal Energy and Photovaltaics”, (Çevrimiçi), <http://www.german-renewable-energy.com/Renewables/Redaktion/PDF/en/en-Solar-energy-and-photovoltaics.property=pdf,bereich=renewables,sprache=en,rwb=true.pdf>, 10.10.2007

⁸⁵ Olivier Dücke, “Solar Energy for Heating and Electrocitry Porduction”, (Çevrimiçi), <http://www.german-renewable-energy.com/Renewables/Redaktion/PDF/en/en-Solar-Power-for-Electricity-and-Heat.property=pdf,bereich=renewables,sprache=en,rwb=true.pdf>, 10.10.2007

denir. Düzlemsel güneş kolektörlerinde açıklık alanı ile alıcı yüzey alanı birbirine eşittir. Yoğunlaştırıcı kolektörlerde ise güneş enerjisi, alıcı yüzeye gelmeden önce optik olarak yoğunlaştırıldığı için alıcı yüzey, açıklık alanında daha küçük olmaktadır.

Güneş enerjisini yoğunlaştıran kolektörlerde en önemli kavramlardan biri “yoğunlaştırma oranı” dır. Yoğunlaştırma oranı; açıklık alanının alıcı yüzey alanına oranı şeklinde tarif edilir. Yoğunlaştırma oranı, iki boyutlu yoğunlaştırıcılarda (parabolik oluk) 300, üç boyutlu yoğunlaştırıcılarda (parabolik çanak) 40000 mertebesindedir. Bu tür kolektörlerde güneş enerjisi, yansıtıcı veya ışın kırıcı yüzeyler yardımı ile doğrusal ya da noktasal olarak yoğunlaştırılabilir. Yoğunlaştırıcı sistemler direkt güneş ışınlamından yararlanarak yüksek sıcaklıkta buhar üretirler ve elektrik üretiminde kullanırlar.⁸⁶

Çeşitli yoğunlaştırıcı güneş sistemleri vardır. Bunalar diğer yenilenebilir ve yenilenemez enerji teknolojisi kombinasyonu şeklinde de olabilir. Ancak en çok kullanılan üç ayrı yoğunlaştırıcı güneş sistemi vardır:⁸⁷

- Parabolik Oluk Kolektörleri
- Merkezi Alıcı Güç Santralleri
- Parabolik Çanak Sistemleri

Parabolik Oluk Kolektörleri, kesiti parabolik olan yoğunlaştırıcı dizlerden oluşur. Kolektörün iç kısmındaki yansıtıcı yüzeyler, güneş enerjisini, kolektörün odağında yer alan ve boydan boya uzanan siyah bir absorban boruya odaklarlar. Kolektörler, genellikle güneşin doğudan batıya hareketini izleyen tek eksenli bir izleme sistemi üzerine yerleştirirler. Enerjiyi toplamak için absorban boruda bir sentetik sıvı dolaştırılır. 400° C kadar ısınan sıvı değişik ısı iletkenlerden geçirilerek yüksek dereceli buhar oluşturulur. Bu aşamadan sonra buhar, yenilenemez enerji kaynakları ile elektrik üreten santrallerde olduğu gibi, elektrik üretimi için jeneratöre gönderilir. Parabolik oluk kolektörleri, doğrusal yoğunlaştırıcı termal sistemlerin en yaygınıdır. Bu sistemlerin en

⁸⁶ “Güneş Enerjisi Teknolojileri”, (Çevrimiçi), http://www.gunisigiaydinlatma.com/index_6.html, 10.10.2007

⁸⁷ European Solar Thermal Industry Association, **Concentrated Solar Thermal Power-Now**, 2005, s. 12, (Çevrimiçi), http://www.solarpaces.org/Library/CSP_Documents/Concentrated-Solar-Thermal-Power-Plants-2005.pdf, 10.10.2007

büyük ve en tanınmış olanı 350 MW gücündeki şimdiki Kramer&Junction eski Luz International santralidir.

Merkezi Alıcı Sistemler (güç kulesi), tek tek odaklama yapan ve heliostat adı verilen aynalardan oluşan bir alan, güneş enerjisini, alıcı denenen bir kule üzerine monte edilmiş ısı eşanjörüne yansıtır ve yoğunlaştırır. Alıcıda bulunan ve içinden akışkan geçen boru yumağı, güneş enerjisini üç boyutta hacimsel olarak absorbe eder. Bu sıvı, Rankine makineye pompalanarak elektrik üretilir. Bu sistemlerde ısı aktarım akışkanı olarak hava da kullanılabilir, bu durumda sıcaklık 800°C'ye çıkar. Heliostatlar bilgisayar tarafından sürekli kontrol edilerek, alıcının sürekli güneş alması sağlanır. Bu sistemlerin kapasite ve sıcaklıkları, sanayi ile kıyaslanabilir düzeyde olup Ar-Ge çalışmaları devam etmektedir.

Parabolik Çanak Sistemleri, iki eksende güneşi takip ederek, sürekli olarak güneşi odaklama bölgesine yoğunlaştırırlar. Termal enerji, odaklama bölgesinden uygun bir çalışma sıvısı (hava, gaz) ile alınarak, termodinamik bir dolaşıma gönderilebilir ya da odak bölgesine monte edilen bir Stirling makine yardımı ile elektrik enerjisine çevrilebilir.

Yoğunlaştırıcı güneş sistemleri, direkt güneş radyasyonu ile çalıştığı için, bu sistemler ancak kuru ve yarı kuru iklime sahip bölgelerde yüksek performans gösterebilmektedir. Tropikal bölgelerde yüksek güneş radyasyonu olmasına rağmen, bu bölgelerde uzun yağmur dönemlerin olması yoğunlaştırıcı güneş sistemlerin kurulması için daha az tercih edilmektedir. Yüksek performans sergileyebilecek bölgeler altı grupta toplanabilir: Güney Afrika, Akdeniz ülkeleri (Kuzey Afrika, Ortadoğu, Güney Avrupa dahil), Pakistan ve Hindistan'ın bazı bölgeleri, Brezilya ve Çili'nin bazı bölgeleri, Meksika ve ABD'nin güneybatısı, Avustralya. Ayrıca Avustralya, ABD'nin güneybatısı ve Güney Avrupa ülkeleri Dünya Bankası'nın uyguladığı program kapsamında finans edilebilir.⁸⁸ İlginç olan şu ki, yüksek performansa sahip ülkeler, Kyoto Protokolü

⁸⁸ Enermodal Engineering Limited, **Cost Reduction Study for Solar Thermal Power Plants Final Report**, 1999, s. 16 (Çevrimiçi), <http://www.solarpaces.org/Library/docs/STPP%20Final%20Report2.pdf>, 10.10.2007

kapsamında CO₂ emisyon sorumlulukları olmayan ülkeler (birçok gelişmekte olan ülke, Avustralya, ABD).⁸⁹

Güneş enerjisinin yetersiz olmadığı zamanlarda, kesintisiz enerji üretimi sağlamak için, doğal gazlı ısıtıcı sistem kullanılmaktadır (hibrid sistemler). Güneş enerjisi yeterli, yetersiz veya hiç olmama durumuna göre sistem üç değişik şekilde çalışır. Güneş enerjisinin yeterli olduğu durumlarda, ısı transfer akışkanı doğrudan güneş tarlasından geçer. Yetersiz veya hiç olmama durumlarında ise doğal gazlı ısıtıcılarla desteklenir veya tamamen bu ısıtıcılar devreye sokulur. Yoğunlaştırıcı güneş sistemleri konvansiyonel yakıt kaynakları ile birlikte kullanılarak performansları arttırılmakta ve teknolojik riskler azaltılabilmektedir.⁹⁰

YGS teknolojik gelişmeler petrol fiyatların yüksek olduğu dönemde artmıştır, ancak 1980’lerde fiyatların düşmesi ile diğer enerji teknolojileriyle rekabet edebilmesi için finansman sorunları ile karşılaşmıştır. 1984-1991 yılında Luz International Ltd. Mojavi çölünde toplam kapasitesi 354 MW olan kurduğu dokuz santralin başarısına rağmen 1991 yılından bu yana yeni YGS kurulmamıştır. 20yy.’ın sonunda faaliyetteki YGS kapasitesi 370 MW olup yıllık üretim kapasitesi 1TWh seviyelerindedir.⁹¹

2.3.2.1.1. Yoğunlaştırıcı Güneş Sistemlerin Maliyeti

Güneş enerjisinden yararlanmak bedava değildir, yatırım ve işletim maliyeti gerektirmektedir. Yoğunlaştırıcı güneş sistemlerin yatırım ve elektrik üretim maliyetleri kullanılan teknoloji (sistem performansı, parçaların boyutu, güç çevirim sistemi vb.), bölgenin özellikleri (radyasyon miktarı, lokalizasyon, toprak kirası vb.), ve piyasa olanakları (üretim hacmi, finansman olanakları, vergilendirme vb.) gibi pek çok

⁸⁹ Cedric Philibert, “The Present and Future Use of Solar Thermal Energy as a Primary Source of Energy”, IEA, France, 2005, s. 9, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/papers/2005/solarthermal.pdf> , 10.10.2007

⁹⁰ EİE, “ Isıl Güneş Teknolojileri”, (Çevrimiçi), <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/gunespv.html>, 10.10.2007

⁹¹ IEA, **Renewables for Power Generation**, Paris, 2003, s.84 , (Çevrimiçi), http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/renewpower_2003.pdf, 10.10.2007

faktörlerden etkilenmektedir.⁹² Değişik ülkelerde parabolik oluk kolektörlü güneş sistemlerin yatırım maliyetleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo – 2.18: Ülkeler için Parabolik Oluk Kolektörlü YGS'in Maliyetleri

Ülke	Tipi	Sistem Performansı(MW)	Maliyet(\$/Kw)
Meksika	Rankine	80MW	\$2244/kW
Ürdün	Rankine	130MW	\$2100/ kW
Hindistan	Rankine	35MW	\$3100/ kW
Morocco	Rankine	42MW	\$2662/ kW
Meksika	ISCCS	128MW	\$1498/ kW
Morocco	ISCCS	196MW	\$877/ kW

Kaynak: Enermodal Engineering Limited, **Cost Reduction Study for Solar Thermal Power Plants Final Report**, Kitchener, 1999, s. 27

Tablo-2.19'da radyasyon derecesi 1700kWh/m² olan bir bölgede YGS teknolojileri için yatırım ve elektrik üretim maliyetlerini göstermektedir.

Tablo – 2.19: YGS Teknolojileri Yatırım ve Üretim Maliyetleri

	Parabolik Oluk Sistem	Güç kuleleri	Parabolik Çanak Sistem
Yatırım Maliyeti Euro/Kw elektrik	2800-3200	4000-4500	10000-12000
Elektrik Üretim Maliyeti Euro/Kw	0,12-0,15	0,15-0,20	0,20-0,25

Kaynak: IEA, **Renewables for Power Generation**, Paris, 2003, s.81 , (Çevrimiçi), http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/renewpower_2003.pdf, 10.10.2007

Yatırım maliyetleri, YGS'lerin elektrik üretim maliyetlerin önemli faktörünü oluşturmaktadır ve %25-40 arasında değişmektedir. İşletim ve bakım maliyetleri (O&M) diğer yenilenebilir enerji teknolojilerine nazaran daha yüksek olup %10-15 seviyesindedir. YGS tesislerin üretim ömrü 20 – 30 yıl arasında değişmektedir.

Elektrik üretim maliyetini etki eden diğer neden de bölgenin radyasyon derecesidir. Yılda 1m²'ye 1700 kWh güneş ışınlamasını alan YGS'ler, yılda 1m²'ye 2200 kWh güneş ışınlamasını alan YGS'den daha düşük miktarda elektrik üretmektedir.

Bugünkü teknoloji ile YGS'den elektrik üretim maliyeti 10-15 USDcent/kWh'dır.⁹³ İspanya, Nevada (ABD), Fas, Cezair, İtalya, Yunanistan, İsrail, Mısır, İran, Hindistan, Güney Amerika ve Meksika'da planlanan teknolojik verimliliği

⁹² A.e., s. 80

⁹³ IEA, **Renewables in Global Energy Supply**, Ocak 2007, s. 27, (Çevrimiçi), http://www.iea.org/textbase/papers/2006/renewable_factsheet.pdf, 10.10.1008

arttırma projelerine göre orta dönemde elektrik üretim maliyetlerini 7-8 USDcent/kWh'a, uzun dönemde 5 USDcent/kWh'a düşürülmesi öngörülmektedir.⁹⁴ 2020 yılında bu haliyle fosil yakıtlarla rekabet edebilir seviyelere ulaşacaktır.

Maliyetlerde azalma olmasının beklenme sebepleri;

- Ar-Ge faaliyetleri
- Sistemi oluşturan parçaların sayısının artması
- Pazar hacminin genişlemesi
- Santrallerin kapasitelerin büyümesi

Gelişmekte olan ülkelerde 30 MW parabolik oluk sistemde yatırım maliyeti 3500 USD/Kw iken 200MW'lık santral için maliyet 2450 USD/kW olmaktadır. Yapılan araştırmalar, santrallerin kapasitelerinde meydana gelen iki katlık artış, yatırım maliyetlerinin %12-14 azalmasına neden olabileceğini göstermiştir. Buna bağlı olarak büyük santrallerin O&M maliyetlerin de düşecektir. Yeni nesil 30 MW'lık bir sistemde O&M maliyeti 1,9 USDcent/kWh ve 200 MW için 1 USDcent/kWh olacaktır.⁹⁵ Aşağıdaki tabloda ölçek ekonomiyeye bağlı planlanan ve tahmin edilen yatırım ve üretim maliyetleri verilmiştir.

Tablo – 2.20: YGS için Planlanan ve Tahmin Edilen Maliyet Değerleri

	Parabolik Oluk Sistem			Güç Kulesi			Parabolik Çanak Sistem		
	2005	2010	2020	2005	2010	2020	2005	2010	2020
Elektrik Üretim Maliyeti USD/kWh	0,10	0,08	0,07	0,11	0,07	0,04	0,15	0,10	0,06
Yatırım Maliyeti USD/W	2,6	2,2	1,4	2,8	2,1	1,1	5,0	3,2	1,2
O&M Maliyeti USD cent/kWh	1,0	0,5	0,4	1,2	0,4	0,3	4,0	1,5	0,9
Toprak Kirası USD/m2	630	315	275	475	265	200	3000	1500	320

Kaynak: IEA, **Renewables for Power Generation**, Paris, 2003, s.96 , (Çevrimiçi), http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/renewpower_2003.pdf, 10.10.2007

⁹⁴ European Solar Thermal Industry Association, **Concentrated Solar Thermal Power-Now**, 2005, s. 4-5, (Çevrimiçi), http://www.solarpaces.org/Library/CSP_Documents/Concentrated-Solar-Thermal-Power-Plants-2005.pdf, 10.10.2007

⁹⁵ IEA, **Renewables for Power Generation**, Paris, 2003, s.88 , (Çevrimiçi), http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/renewpower_2003.pdf, 10.10.2007

2.3.2.1.2. Dünyada Kurulu Güneş Sistemleri

Dünya genelinde kurulu parabolik oluk sitsem kapasitesi 354 MW olup yapım aşamasında olan ve hibrid sistemler dahil edildiğinde kapasite 650 MW'a yükselmektedir. Dünya YGS içerisinde parabolik oluk sistemler %94 oranındadır. Büyüme kapasitesi %20 kabul edildiğinde, 2010 yılında 1600 MW olması beklenmektedir. 2020'de 10 GW seviyesine çıkması beklenmektedir. Tahminler baz alındığında 2020 yılında da parabolik oluk sistemler YGS teknolojileri içerisinde lider durumunda olacaktır.

Güç Kulelerin toplam kurulu kapasitesi 25 MW'tır. Bu değer ABD'de kurulan Solar One ve Solar Two güç kulelerin toplam kapasite değeridir. İspanya'da iki yüksek kapasiteli güç kuleleri (Solar Tres ve PS10) yapım aşamasındadır. Diğer tüm yapım aşamasındaki güç kulelerin toplam kapasitesinin 135 MW olması beklenmektedir. 2005 – 2020 yılları arasında %25 artış olması halinde 2020 yılında kurulu güç kapasitesinin 4 GW olması beklenmektedir.

Parabolik çanak sistem için kurulu güç 1 MW, planlanan projeler ile 40 MW ulaşması beklenmektedir. Sun Lab'ın araştırmasına göre parabolik çanak sistemler YGS teknolojileri içerisinde en hızlı artış gösterenlerdir. 2005-2020 yılları arasında %40 artış olması durumunda 2020 yılında kurulu gücün 6 GW olması beklenmektedir. Bu artışın nedeni olarak gelişmekte olan ülkelerin küçük ölçekli ve şebeke bağlantısız güneş sistemlerine yatırım yapma potansiyellerin olması belirtilmektedir.⁹⁶

İspanya'da 2004 yılında kW başına 18 Eurocent prim uygulaması, kapasiteleri 50 MW'tan yüksek pek çok YGS projelerin başlatılmasına sebep olmuştur ve 2010 yılında kurulu gücün 500 MW olması beklenmektedir. Nevada'da (ABD) 2003 yılında 50 MW kapasiteli parabolik oluk sistemi kurulmasına dair Power Purchase Sözleşmesi imzalanmıştır. 2004 yılında ABD Enerji Bakanlığı finansman desteğini sağlama kararını almıştır. 2015 yılında temiz enerji sağlayan kurulu güç kapasitesinin 1 GW olması beklenmektedir.

⁹⁶ A.e., s. 92-93

Dünya Çevre Hizmeti (Global Environmental Facility) desteği ile Mısır, Hindistan, Meksika, Fas ve Cezayir’de büyük hibrid güneş sistemleri (150-250 MW Integrated Solar Combined Cycle Power Plants- ISCC) kurulması planlanmıştır. Ancak bir çok nedenden dolayı projelerin hiç biri başlatılmamıştır. Önemli nedenlerden biri ülke riskiydi. 2005 yılında Cezayir, ISCC piyasasında ulusal prim uygulamasını başlatan ilk Kuzey Afrika Ülkesi oldu. New Energy Algeria ajansı 10 yılda Avrupa’ya 6000 MW elektrik ihraç etmesini öngörmektedir. NEA ajansına göre “ Cezayir, Avrupa’nın tüm ihtiyacını karşılayacak kapasiteye sahiptir”.

Greenpeace ve The European Solar Thermal Power Industry Federation (ESTIF) uzun dönem senaryo tahminlerine göre, 2025 yılında YGS kurulu gücü 36.850 MW olup yıllık elektrik üretimi 95,8 TWh olacaktır ve 2040 yılında dünya elektrik tüketiminin %5’i güneş termal enerjisi ile karşılanacaktır.⁹⁷

Tablo – 2.21: Yapım Aşamasında Olan YGS

Ülke	Toplam Kapasite (MW)	Solar Kapasite (MW)	Çevrim Sistemi	Şirket/Finansman
Parabolik Oluk Kolektörler				
Cezair	140	35	ISCC	New Energy Algeria
Liddel power Station, Avustralya	2000	50	Kompakt Düz Reflektör	Macquarie Generation and Solar Heat and Power
Kuraymat, Mısır	150	30	ISCC	NREA/gef Grant, JBIC loan
THESEUS-Crete, Yunanistan	50	50	Buhar Çevrimli	Solar Millennium, Flabeg Solar Int., Fichter Solar, OADYC
Mathania, Hindistan	140	30	ISCC	RREC, GEF Grant, KfW loan
Yad, İran	467	17	ISCC	Mapna/İran Enerji Bakanlığı
İsrail	100	100	Buhar Çevrimli ve hibrid	İsrail Çevre Bakanlığı
İtalya	40	40	Buhar Çevrimli	ENEA
Baja California Notre, Meksika	291	30	ISCC	GEF Grant
AinBeni Mathar, Fas	220	30	ISCC	ONE/GEF Grant, African Development Fund
İspanya	12x50	12x50	Buhar çevrimli, 12 saat enerji depo	Abengoa, ACS-Cobra, EHN-SolarGenix, Iberdrola, Solar Millennium
Nevada, ABD	50	50	SG-1 SEGS	Green pricing, Sierra Pacific Resources ve SolarGenix
Merkez Alıcı Sistem				
İspanya	10+2x20	10+2x20	Buhar çevrimli	Abengoa (Spain) group
İspanya	15	15	Molten salt/direct steam	SENER (Spain)
Parabolik Çanak Kolektörler				
Kalifornia, ABD	0,4	0,4	Stirling system	Stirling Energy Systems
EuroDish	0,1	0,1	Stirling system	SBP and Partners

Kaynak: European Solar Thermal Industry Federation, **Concentrated Solar Thermal Power-Now**, 2005, s. 28(Çevrimiçi), http://www.solarpaces.org/Library/CSP_Documents/Concentrated-Solar-Thermal-Power-Plants-2005.pdf, 10.10.2007

⁹⁷ European Solar Thermal Industry Association, **Concentrated Solar Thermal Power-Now**, 2005, s. 10-11, 16-17(Çevrimiçi), http://www.solarpaces.org/Library/CSP_Documents/Concentrated-Solar-Thermal-Power-Plants-2005.pdf, 10.10.2007

Greenpeace, ESTIF ve IEA'nın hazırladığı rapora göre Kuzey Afrika, Yakın ve Orta Doğu ülkeleri en yüksek güneş radyasyonuna sahip ülkelerdir. Bu kaynaklardan hem güneş pilleri hem yoğunlaştırıcı güneş sistemleri ile yararlanılabilir. Ülke nüfusların artışı ve ekonomilerin gelişmesine paralel olarak enerji talebinde de artış beklenmektedir. Bu ülkelerde 2050 yılında Avrupa elektrik talebine eş değer 3500 TWt/yıl olacağı tahmin edilmektedir. Politika önerisi olarak enerji güvenliğinin ve sürdürülebilir gelişmenin sağlanması amacı ile bu devletlerin bölgesel yenilenebilir enerji finansman projelerin başlatılmasını belirtmişlerdir.⁹⁸ Aşağıdaki tabloda Akdeniz bölgesi için teknik ve ekonomik güneş termal enerjisi potansiyel değerleri verilmiştir.

Tablo – 2.22: Akdeniz Bölgesi için Teknik ve Ekonomik Güneş Termal Enerjisi Potansiyeli

	Ekonomik Potansiyel	2050 kadar kullanılabilecek	Direk Normal Işınlanım
	TWh/yıl	TWh/yıl	kWh/m2/yıl
Bahreyn	33	4	2050
Kıbrıs	20	1	2200
Iran	20000	349	2200
Irak	28647	190	2000
İsrail	318	29	2400
Ürdün	6429	40	2700
Kuveyt	1525	13	2100
Lübnan	14	12	2000
Uman	19404	22	2200
Katar	792	3	2000
Suudi Arabistan	124560	135	2500

Kaynak: European Solar Thermal Industry Federation, **Concentrated Solar Thermal Power-Now**, 2005, s.42, (Çevrimiçi), http://www.solarpaces.org/Library/CSP_Documents/Concentrated-Solar-Thermal-Power-Plants-2005.pdf, 10.10.2007

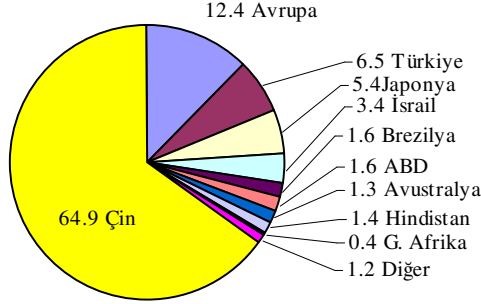
Dünya genelinde aktif güneş ısıtma sistemleri 2004 yılında 77 GWt iken 2005 yılında %14 artış göstererek 88GWt (gigawatt-thermal) yükselmiştir. 2005 yılında 13 GWt yeni kapasite eklenmiştir. Bu değer %80 Çin'de gerçekleşmiş olup (10,5GWt), dünyada kurulu kapasitenin %63,1'ne sahip Çin, lider durumunu korumuştur.⁹⁹

⁹⁸ European Solar Thermal Industry Association, **Concentrated Solar Thermal Power-Now**, 2005, s. 40-42, (Çevrimiçi), http://www.solarpaces.org/Library/CSP_Documents/Concentrated-Solar-Thermal-Power-Plants-2005.pdf, 10.10.2007

⁹⁹ Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, **Renewables Global Status Report 2006 Update**, Paris, 2006, s.5, (Çevrimiçi), http://www.ren21.net/pdf/RE_GSR_2006_Update.pdf, 10.10.2007

Grafik – 2.10:2006 Yılı İtibariyle Dünyada Aktif Güneş Isıtma Sistemleri Kapasitesi (%)

Toplam Kapasite 101.085 GW



Kaynak: Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, **Renewables Global Status Report 2006 Update**, Paris, 2006, s.5, (Çevrimiçi), http://www.ren21.net/globalstatusreport/download/-RE_GSR_2006_Update.pdf, 10.10.2007

Avrupa’da 2006 yılında 2100 MWt yeni kapasite kurulmuştur. 1000 MWt’den fazlası Almanya’da kurulmuştur, bu da tüm Avrupa’da kurulan yeni kapasitenin %50’ni oluşturmaktadır. 2006’da gerçekleşen %47’lik artışı ESTIF (European Solar Thermal Industry Federation) başkanı; “Avrupalılar gelecek güneş olduğunun farkına varmaya başladılar”, şeklinde değerlendirmiştir.¹⁰⁰

¹⁰⁰ European Solar Thermal Industry Federation (ESTIF), “Solar Heating and Cooling on its Way to Mainstream” (Çevrimiçi), http://www.estif.org/fileadmin/downloads/press/ESTIF_pr_070619_Markets.doc, 10.10.2007

Tablo – 2.23: Avrupa için Aktif Güneş Isıtma Sistemleri Piyasa Büyüklüğü

Ülke	2004	2005	Piyasa Payı
	KWth	kWth	%
Avusturya	1459842	1599842	14.52
Belçika	33774	46374	0.42
İsviçre	246722	271222	2.46
Kıbrıs	31514	33614	0.31
Çek Cumhuriyeti	3038	10038	0.09
Almanya	3922800	4517800	40.99
Danimarka	221011	236411	2.15
Estonya	399	210399	1.91
İspanya	294256	399256	3.62
Finlandiya	8386	9786	0.09
Fransa	19187	71687	0.65
Yunanistan	1978690	2097690	19.03
Macaristan	2975	4025	0.04
İrlanda	5103	7203	0.07
İtalya	311	49311	0.45
Litvanya	1155	421155	3.82
Lüksemburg	805	2205	0.02
Letonya	1155	421155	3.82
Malta	10752	14742	0.13
Hollanda	198456	217356	1.97
Polonya	71764	96264	0.87
Portekiz	101465	110915	1.01
İsveç	130038	147538	1.34
Slovenya	6832	8232	0.07
Slovakya	39725	43925	0.40
İngiltere	118944	139944	1.27
Toplam	9771471	11020411	

Kaynak: ESTIF, “New Opportunities and Challenges Through Continuous Growth”, (Çevrimiçi) http://www.estif.org/fileadmin/downloads/press/ESTIF_Solar_Thermal_Markets_in_EU_2006.pdf, 10.10.2007

Aktif güneş ısıtma sistemlerin Türkiye güneyinde otellerde sıcak su sağlamak amacı ile kullanılması, güneş enerjisinin ticaret alanında teknik ve iktisadi optimizasyon açısından diğer ülkeler için bir örnek sergilemiştir.¹⁰¹ İspanya 2006 yılında yeni kurulacak binaların sıcak su ihtiyaçlarının %30-70’nin (bölgedeki iklime bağlı olarak) güneş enerjisi ile sağlanması zorunluluğunu getirmiştir. ABD %25 yatırım desteği

¹⁰¹ Peter Heller, Cristoph Richter, Klaus Henneske, “Solar Thermal Energy and Photovoltaics”, (Çevrimiçi), <http://www.german-renewable-energy.com/Renewables/Redaktion/PDF/en/en-Solar-energy-and-photovoltaics.property=pdf,bereich=renewables,sprache=en,rwb=true.pdf>, 10.10.2007

uygulamakta. Kuzey Afrika, Orta Doğu (Fas, Tunus, Mısır, Ürdün, Suriye dahil) ülkelerinde aktif güneş ısıtma sistemleri ile ilgili politikalar, bina kodları, promosyon programları yürütülmeye devam etmektedir.¹⁰²

REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century) göre aktif güneş ısıtma sistemleri %15-20 artış göstermeye devam etmektedir. Dünya genelinde 2006 yılında 103 GWth kurulu güç, 2007 yılında 121 GWth seviyesine yükselmiştir. 50 milyondan aşkın ailenin sıcak su ihtiyacı güneş enerjisi ile sağlanmaktadır.¹⁰³

2.3.2.2. Güneş Pilleri (PV)

Güneş pilleri (fotovoltaik diyotlar) üzerine güneş ışığı düştüğünde, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren düzeneklerdir. Bu enerji çevriminde herhangi devirgen (hareketli) parça bulunmaz. Güneş pillerinin çalışma ilkesi, fotovoltaik (photovoltaic) olayına dayanır. İlk kez 1839 yılında Becquerel, elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilim, elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğu gözlemleyerek fotovoltaik olayını bulmuştur. Katılarda benzer bir olay ilk olarak selenyum kristalleri üzerinde 1877 yılında G.W. Adams ve R.E. Day tarafında gösterilmiştir. Bunu izleyen yıllarda çalışmalar bakır oksit ve selenyuma dayalı fotodiyotların, yaygın olarak fotoğrafçılık alanında ışık metrelerinde kullanılmasını beraberinde getirmiştir 1914 yılında fotovoltaik diyotların verimliliği %1 değerine ulaşmış ise de gerçek anlamda güneş enerjisini %6 verimlilikle elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik diyotlar ilk kez 1954 yılında Bell Laboratories araştırmalarında Chapin tarafından silikon kristali üzerine gerçekleştirilmiştir. PV güç sistemleri için dönüm noktası olarak kabul edilen bu tarihi izleyen yıllarda araştırmalar ve ilk tasarımlar, uzay araçlarında kullanılacak güç sistemleri için yapılmıştır. PV güç sistemleri 1960'ların başından beri uzay çalışmalarının güvenilir enerji kaynağı olmayı

¹⁰² Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, **Renewables Global Status Report 2006 Update**, Paris, 2006, s.10, (Çevrimiçi), http://www.ren21.net/pdf/RE_GSR_2006_Update.pdf, 10.10.2007

¹⁰³ IEA, **Renewables 2007 Global Status Pre-publication Report**, Aralık 2007, (Çevrimiçi), http://www.ren21.net/pdf/REN21_GSR2007_Prepub_web.pdf, 15.01.2008

sürdürmektedir.¹⁰⁴ Bell Laboratories ilk silikon güneş hücresi patentini 1955 yılında almıştır. Bu hücrelerin verimliliğinin artmasına ve ticaretleşmesine başlangıç noktası olmuştur.¹⁰⁵

1960'lı yıllarda fotovoltaiik güç tanınmaya ve kullanılmaya başlamıştır. PV güç üzerine ilk konferans 1961 yılında BM tarafından düzenlenmiştir. 1963 yılında Japonya'da ilk büyük fotovoltaiik örgü (PV array) kurulmuştur.

Güneş pillerinin yeryüzünde de elektriksel güç sistemi olarak kullanılabilmesine yönelik araştırma ve geliştirme çabaları 1954'lerde başlamış olmasına karşın, gerçek anlamda ilgi 1973 yılındaki "1. petrol bunalımı"nı izleyen yıllarda olmuştur. Amerika'da, Avrupa'da, Japonya'da büyük bütçeli ve geniş kapsamlı araştırma ve geliştirme projeleri başlatılmıştır. Bir yandan uzay çalışmalarında kendini ispatlamış silikon kristaline dayalı güneş pillerinin verimliliğini artırma çabaları ve diğer yandan alternatif olmak üzere çok daha az yarı iletken malzemeye gerek duyulan ve bu neden ile daha ucuza üretilebilecek ince film güneş pilleri üzerindeki çalışmalara hız vermiştir.¹⁰⁶

PV teknolojileri hesap makineleri gibi küçük uygulamalar ve büyük güç santralleri şeklinde kullanılabilir. Ortalama verimliliği teknoloji ve uygulamasına bağlı olarak %6 ile %15 arasında değişmektedir. PV sistemlerin beklenen ömrü 20 ile 30 yıldır. Güneş modülleri çok dayanıklı ve güçlü olup yıllık bozulma oranları 1/1000'dir. İnverter ve pil gibi bazı parçalar daha sık değişmek durumundadır.

Uzmanlara göre 2002 yılında %85 piyasa payına sahip kristal silikon PV sistemleri için yakın gelecekte de piyasa baskınlılığını sürdüreceğini belirtirken, ince film güneş hücrelerin ise uzun dönemde daha ucuz olacağını beklemektedirler. Kristal silikon PV sistemleri küçük alanlarda yüksek verimlilik gösterir. İnce film güneş hücreleri ise daha ucuz parçalardan oluşup kullanılması için daha geniş alanlar gerektirmektedir.

¹⁰⁴ Godfrey Boyle, **Renewable Energy Power for Sustainable Future**, New York, Oxford University Press, s. 66-68

¹⁰⁵ IEA, **Renewables for Power Generation**, Paris, 2003, s.53 , (Çevrimiçi), http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/renewpower_2003.pdf, 10.10.2007

¹⁰⁶ "History of Photovoltaics", (Çevrimiçi), <http://www.pvpower.com/historyofphotovoltaics.html>, 15.01.2008

PV modüllerin büyüklüğü 50 ve 200 MW arasında değişmektedir. PV modülleri elektrik üretimi için seri veya paralel şekilde bağlanan paneller veya blok PV sistemleridir.

İki tip PV sistemi mevcuttur: şebeke bağlantılı ve şebeke bağlantısız. Şebeke bağlantısız PV sistemleri şebekeye bağlantının imkansız olduğu ve ekonomik olmadığı bölgelerde elektrik ihtiyacının karşılanmasında kullanılır. Tipik şebeke bağlantısız PV sistemini oluşturan parçalar; PV modül veya modülleri, pil, akü şarj denetim aygıtı. Pil gün içinde üretilen elektriğin depolanmasında kullanılır. Bazı sistemler, şebeke uyumlu alternatif akım (alternative current AC) elektriğin gerekli olduğu uygulamalarda üretilen elektriği (direct current DC) AC'ye çeviren inverter içerir. Şebeke bağlantısız PV sistemleri, endüstriyel uygulamalarda (telekomünikasyon, su pompalama, sokak aydınlatma vb.) ve kırsal kesimlerde yerel uygulamalarda kullanılabilir. PV sistemleri yerel elektrik şebekesine de bağlanabilir. PV sistemlerin ürettiği elektrik enerjisi doğrudan (ev ve ticari binalarda) kullanabileceği gibi elektrik üreticisi firmalara da satılabilir. Satılan elektrik, güneş sisteminin elektrik üretmediği zamanda (gece) şebekeden geri satın alınabilir. Bu şekilde şebeke, PV sistemi sahibi için “enerji depolama sistemi” rolünü oynayarak, pil ihtiyacını ortadan kaldırır.¹⁰⁷

Tablo – 2.24: PV Sistemlerin Boyutlarına göre Uygulama Alanları

Boyut	Uygulama Alanı
10 W'a kadar	Hesap makinesi, radio, kablosuz bağlantı alıcıları, küçük şarj aletleri, elektrik perdeler
10 W- 100 W	Telefon kulüpleri, trafik ışıkları, deniz fenerleri, parkmetreler, küçük telekomünikasyon sistemleri, meteoroloji sistemleri, güneş evi sistemleri, ilaç depoları
0,1 kW – 1 kW	Orta boy pompalama sistemleri, küçük çatı sistemleri, izole evler için küçük tek başına sistemler, küçük hibrid sistemler
1 kW – 10 kW	Orta boy şebeke bağlantılı binalar, altyapı entegre sistemler, izole evler için büyük tek başına sistemler, orta boy hibrid sistemler
10 kW – 100 kW	Büyük şebeke bağlantılı bina, altyapı entegre sistemler
0,1 MW – 1 MW ve üstü	Çok büyük şebeke bağlantılı bina, altyapı entegre sistemler

Kaynak: IEA, **Renewables for Power Generation**, Paris, 2003, s.54 , (Çevrimiçi), http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/renewpower_2003.pdf, 10.10.2007

¹⁰⁷ IEA, **Renewables for Power Generation**, Paris, 2003, s.54-55 , (Çevrimiçi), http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/renewpower_2003.pdf, 10.10.2007

2.3.2.2.1. Güneş Pillerin (PV) Maliyeti

PV sistemlerde maliyet değişken olup, sistemin büyüklüğü, kurulduğu yer, tüketim tipi, şebeke bağlantısı ve teknik özelliklere bağlıdır. Şebeke bağlantılı bir sistem için en düşük maliyet 4,5 – 6 USD/Watt civarındadır. Şebeke bağlantısı olmayan tek başına sistemler daha pahalıdır. Ancak diğer küçük ölçekli elektrik üretim sistemler ile rekabet edebilir seviyededir.¹⁰⁸

PV sistemlerin yaygın olarak kullanımını engelleyen yüksek yatırım ve sistemi kurma maliyetleridir. PV sistemlerin parçalardan oluşması, basitliği ve sağlamlığı, O&M maliyetlerin düşük olmasını sağlamaktadır. PV sistemlerin kurulu gücü yaklaşık 4000 MW ulaşırken, maliyetlerde hızlı düşüş izlenmektedir. 1978 yılında 1 watt için modül fiyatı 50 dolar iken, 2007 yılında 4 dolara kadar inmiştir.¹⁰⁹

200'den aşkın görüşme ve 150 güneş enerjisi üretici şirketi ile yapılan araştırmada MIT analistleri, güneş enerjisinin “önemli olmak için çok pahalı” görüşünün yanlış olabileceği sonucuna varmışlardır. Bunun için 3 sebep belirtilmektedir. Birincisi, uzmanlar güneş enerjisini ekonomik açıdan incelerken, fosil kaynaklar ile çalışan büyük santrallerde elektrik üretim maliyeti ile karşılaştırmaktadırlar. Maliyetler 2 – 8 USDcent/kWh arasında değişmektedir. Bu da 25 – 50 USDcent/kWh arasında değişen PV sistemlerde üretilen elektrik enerjisi maliyetinden hayli düşüktür. Ancak çatı PV sistemleri kuran aileler elektrik faturalarını önemsemektedir. Bir çok ülkede elektrik fiyatları, güneş enerjisini rekabet edebilir hale getirecek kadar yüksektir. Japonya’da tüketiciler 25 USDcent/kWh daha yüksek fiyatla karşılaşmaktadır. İkinci olarak, PV panel ve PV sistem parçalarının üretim maliyetlerinin sürekli düşüş gösterdiği izlenmektedir. PV panellerin üretim kapasitesi ikiye katlanırken, maliyetler %20 düşmektedir. Yıllık düşüşler de %6 – 8 seviyelerinde olmaktadır. Son olarak analistler, bir çok OECD ülkesinde devletlerin güneş enerjisi kullanım teşviklerini göz ardı etmemektedirler. Almanya’da PV sistemi kuran birine 70 USDcent/kWh ödeme

¹⁰⁸ A.e., s. 55

¹⁰⁹ “PV Cost”, (Çevrimiçi), <http://www.unu.edu/unupress/unupbooks/uu24ee/uu24ee0j.htm>, 15.01.2008

yapmaktadır. Bu da yaklaşık 40 – 50 USDcent/kWh olan üretim maliyetinin üstündedir. Diğer güneş enerjisi için güçlü teşvik ve destek programları olan ülkeler içinde Japonya, Güney Kore, İtalya, İspanya, Çin, ABD yer almaktadır.¹¹⁰

Şebeke bağlantılı sistemlerde yatırım maliyeti 4000 – 13000 USD/kW iken, ortalama kurulum maliyeti 5 – 9 USD/Watt seviyelerindedir. En düşük kurulum maliyeti 4,5 – 5 USD/Watt, Danimarka SOL – 300 programında, American Sacramento District Pioneer programında, Dutch City of the Sun projesinin ikinci aşamasında, Almanya’da Relzow’da kurulan 1,5 MW’lık sisteminde, Japonya’da evlerde uygulanan sistemlerde ulaşılmıştır. Almanya’da kurulum maliyeti bugünlerde düşük seviyelerdedir, çünkü ülke 100 000 Roof Programme kapsamında tecrübe kazanmıştır.

Şebeke bağlantısı olmayan sistemlerde maliyet, sistemin tipine, iklime bağlı olarak değişmektedir. 1 kW üstünde kapasiteye sahip sistemlerde maliyet 10 – 18 USD/Watt arasındadır. Maliyetlerdeki değişkenliğin sebepleri; ülke, projelerin özel durumu, özellikle gerekli depolama kapasitesi olabilmektedir. ABD’nin güneybatısında 4 ile 5 gün depolama kapasitesi olan DC sistemi 10 – 13 USD/Watt’a kurulabilmektedir. İyi iklim koşullarında 10 gün depolama kapasitesine sahip AC sistemin kurulma maliyeti 13 – 17 USD/Watt olabilmektedir. Yüksek verimliliğe ve 20 gün depolama kapasitesine sahip büyük endüstride kullanılan sistem, pil ve diğer sistem kontrollerin maliyeti dahil, en az 20 USD/Watt maliyet gerektirmektedir.

PV sistemlerinde elektrik üretim maliyetindeki en önemli faktör yatırım maliyetidir. Çatı PV sistemi olsun, büyük şebeke sistemleri olsun veya küçük ev sistemleri olsun modül fiyatı yatırım maliyetinin %70’ni oluşturmaktadır. İşletim ve bakım maliyetleri, düşük olup yatırım maliyetinin %0,4 ile %3’ü kadardır. İşletim ve bakım maliyetler, sistemi oluşturan parçaların faaliyet ömürleri ile ilişkilidir. PV modüllerin ekonomik ömrü 20 ile 30 yıl arasındadır. İnverterlerin ömrü daha kısa olup,

¹¹⁰ Nancy Stauffer, “Solar Power Through 2015”, (Çevrimiçi), http://esd.mit.edu/esd_reports/summer2005/solar_power.html, 15.01.2008

PV modülü ömrü sürecinde en az iki kez değiştirilmesi gerekir.¹¹¹ Yatırım maliyetleri farklı bölgelerde aşağı yukarı aynı iken, saat başına elektrik üretim maliyeti (kWh) alan üzerine ulaşan direkt güneş ışınına bağlıdır. Almanya'nın pek çok yerinde verimli PV sistemleri 1100 kWh yıllık güneş ışığı alabilirler ve 1 m² 'den 110 kWh elektrik üretebilirler. Kaliforniya'da aynı sistem 1900 kWh yıllık güneş ışını almakta ve 1 m² 'den 190 kWh elektrik üretebilmektedir. Güneş ışınları %70 daha fazla olduğu Kaliforniya'da Almanya'ya göre %40 daha ucuza elektrik üretilmektedir.

Günümüzde PV sistemlerinde en düşük yatırım maliyeti (4500 USD) ve en yüksek enerji çıktısı olan yerde en ucuz elektrik üretim maliyeti 20 – 30 USDcent/kWh'dır. Çok iyi konumlandırılmış bir PV sisteminde üretim maliyeti 20 USDcent/kWh altına düşebilmektedir.¹¹²

Yapılan tahminlere göre 2030 yılında teknolojik gelişmeler sonucu PV sistemlerin verimliliği %20'ye yükseltilebilecektir. Bu da 1000 kWh yıllık güneş ışını alan bölgede 1 m² 'den 200 kWh elektrik üretebileceğini gösterir. Yatırım maliyetlerin 1100 Euro/kW'a ve O&M maliyetlerin yıllık 11 Euro/kW' a düşeceği öngörülmektedir.¹¹³

Verimliliği yüksek modüller daha az saha gerektirerek aynı miktarda elektrik üretebileceklerdir. Verimliliğin artması hem modül fiyatının hem sistem ekipmanların (BOS- balance-of-system) maliyetinin düşmesine götürür. BOS maliyeti modül fiyatı kadar yüksektir. Aşağıdaki tabloda farklı PV teknoloji ve uygulamaları için toplam sistem maliyetleri verilmiştir.

¹¹¹ M. de Noord, L.W.M. Beurskens, H.J. de Vries, "Potentials And Costs For Renewable Electricity Generation A Data Overview", (Çevrimiçi), <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2003/c03006.pdf>, 10.10.2007

¹¹² IEA, **Renewables for Power Generation**, Paris, 2003, s. 57, (Çevrimiçi), http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/renewpower_2003.pdf, 10.10.2007

¹¹³ M. de Noord, L.W.M. Beurskens, H.J. de Vries, "Potentials And Costs For Renewable Electricity Generation A Data Overview", (Çevrimiçi), <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2003/c03006.pdf>, 10.10.2007

Tablo – 2.25: Farklı PV Teknoloji ve Uygulamaları için Toplam Sistem Maliyetleri (USD/Watt)

Yıl	Modül Tipi	Sistem Tipi	Modül Fiyatı	BOS Maliyeti	Toplam Sistem Maliyeti
1994	Kristal silikon	Büyük güç sistemi	4,25	3,20	7,45
2000	İnce film	Bina entegre	1,00	1,00	3,50
2010	İnce film	Bina entegre	0,80	0,70	1,50

Kaynak: “PV Cost”, (Çevrimiçi), <http://www.unu.edu/unupress/unupbooks/uu24ee/uu24ee0j.htm>, 15.01.2008

2.3.2.2.2. Dünyada PV Sistemleri

Dünya genelinde 2007 yılında %50 artarak PV sistemlerin üretimi 3,8 GW çıkmıştır. 1975 – 2007 yılların kümülatif toplamı 12,4 GW kadardır, bu enerji 2,4 milyon ailenin elektrik ihtiyacını karşılamak için yeterlidir. 2002 yılından itibaren yılda ortalama %48 artan PV sistemlerin üretimi iki yılda bir ikiye katlanmaktadır. Bu artışlar, PV sistemlerin dünyanın çok hızlı büyüme gösteren enerji kaynağı konumuna getirmektedir.¹¹⁴

PV sistemlerin %90’nı en önemli 10 PV sistem üretici tarafından üretilmektedir. Bunlar büyük enerji şirketlerinden Shell, BP, büyük elektronik şirketleri Sarp, Kyocera, Sanyo ve Astropower, RWE(ASE), Isofoton, Mitsubishi, Photowatt.¹¹⁵

PV sistemlerin üreten ilk beş ülke Japonya, Çin, ABD, Almanya ve Taivan gelmektedir. Aşağıdaki tabloda yıllara göre dünyada PV sistemlerin üretim değerleri izlenebilir.

¹¹⁴ Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, **Renewables Global Status Report 2006 Update**, Paris, 2006, s.4, (Çevrimiçi), http://www.ren21.net/pdf/RE_GSR_2006_Update.pdf, 10.10.2007

¹¹⁵ Jonathan G. Dorn, “Solar Cell Production Jumps 50 Percent in 2007”, (Çevrimiçi), <http://www.earth-policy.org/Indicators/Solar/2007.htm>, 15.01.2008

Tablo – 2.26: Yıllara göre Dünya PV Sistemlerin Üretimi (MW)

Yıl	ABD	Japonya	Avrupa	Çin	Tayvan	Hindistan	Diğer	Toplam
1995	34,8	16,4	20,1					77,7
1996	38,9	21,2	18,8					88,7
1997	51,0	35,0	30,4					125,8
1998	53,7	49,0	33,5					154,9
1999	60,8	80,0	40,0					201,3
2000	75,0	128,6	49,8	2,5		10,5	10,5	276,8
2001	100,3	171,2	73,9	3,0	3,5	12,5	21,6	386,0
2002	120,6	251,1	122,1	8,0	8,0	19,1	18,2	547,1
2003	103,3	363,9	200,2	9,0	17,0	23,1	32,2	748,4
2004	138,7	601,5	311,8	35,0	40,0	31,1	35,4	1193,5
2005	154,0	833,0	476,6	134,0	88,0	35,5	65,0	1786,1
2006	201,6	926,9	678,3	369,5	177,5	43,4	123,6	2520,8

Kaynak: IEA, **Renewables for Power Generation**, Paris, 2003, s.59 , (Çevrimiçi),

http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/renewpower_2003.pdf, 10.10.2007

Jonathan G. Dorn, “Solar Cell Production Jumps 50 Percent in 2007”, (Çevrimiçi), <http://www.earth-policy.org/Indicators/Solar/2007.htm>, 10.10.2007

2006 yılında üretimini ikiye katlayan Çin, 2003 yılında %1 piyasa payına sahip iken, bugün bu değeri %18'e yükseltmiştir. Çin, 400 PV sistemi üretici şirketi ile 2008'de dünyanın bir numara üreticisi haline gelebilecek durumundadır. Çin'de Dunhuang şehrinde 100 MW'lık (dünyadaki en büyük PV sistemin kapasitesinden 5 kat daha fazla) büyük PV tarlası kurulması planlanmaktadır. 1996 yılında Çin hükümeti tarafından 'Brightness Program' başlatılmıştır. Hedef köylerin, kırsal alanların ve teknik açıdan şebekeden elektrik ulaştırılması mümkün olmayan mekanlarda yaşayan insanlara elektrik enerjisi ulaştırabilmektir. Programa göre 2010 yılında 23 milyon insana güneş enerjisi sayesinde elektrik enerjisi ulaştırılmış olacaktır. Program kapsamında 2000-2003 yılları arasında 3 milyar dolar harcanarak Moğolistan'da 5500 rüzgar/PV hibrid sistemi, Gansu bölgesinde 12 000 Solar Home System ve 3 PV/dizel sistemi ve Tibet'te 6 PV/dizel hibrid sistemi kurulmuştur.¹¹⁶

Almanya, PV sistemi pazarında lider durumunu 2004 yılında Japonya'dan aldığından beri korumaktadır. Almanya 2006 yılında 1050 MW ekleyerek, bir yılda 1 GW'tan fazla kapasite kuran dünyanın ilk ülkesi olmuştur. Almanya'da PV sistemi

¹¹⁶ Frank Haugwitz, Hansjörg Müller, “Solar Energy: Electricity for Rural Areas”, (Çevrimiçi), <http://www.german-renewable-energy.com/Renewables/Redaktion/PDF/en/en-Solar-energy-Power-for-rural-areas-Energy-Asia-2003-.property=pdf,bereich=renewables,sprache=en,rwb=true.pdf>, 10.10.2007

pazarının hızla büyümesine yol açan etki hükümetin iki destek programı ile gerçekleşmiştir. ‘100 000 Roofs Program’ çerçevesinde tüketicilere 10 yıllık düşük faizli ödünç para sağlandı. Program tüm hedefler sağlandığı için 2003 yılında sona erdi. İkinci hükümet desteği 1999 yılında imzaladığı ‘Renewables Energy Source Act (Feed-In Tarif)’tir. Bu programa göre PV elektriğin şebekeye geri 56 USDcent/kWh ’dan satılma güvencesini vermektedir.¹¹⁷

Dünya’da PV sitemlerin %37 üreten Japon üreticileri, hükümetin desteğinden yararlanmaktadır. 1994 yılında başlatılan ‘70 000 Roofs Program’ PV sistemlerin yaygınlaştırma hedefini gütmektedir ve beklenen önünde gidiyor. Program %50 sistem kurma desteği ile başlamıştır. 2000 yılında bu destek, PV göze fiyatları düşünce ve üretim artınca %35 indirilmiştir. 1994 – 2003 yılları arasında 168000’den fazla evin çatısına toplam 620 MW’ın üstünde PV sistemi kurulmuştur. 2007’de çatısında PV sistemi olan ev sayısı 250000 ulaşmıştır.

ABD’de PV kurulu gücün %31’i Kaliforniya ve New Jersey eyaletlerinde bulunmaktadır. 1999 yılında başlatılan ‘Million Solar Roofs’ programın bir paçası halinde 2006 yılında 3 milyar dolar ayrılmıştır. Hedef 2017 yılında kurulu kapasitenin 3000 MW ulaşmasıdır. 2007 yılında yeni eklenen kapasite 259 MW seviyesindedir.¹¹⁸

Hindistan’da kurulu kapasitenin hemen hemen tümü şebeke dışıdır. Gelişmekte olan ülkelerde kurulu 120 – 130 MW da şebeke dışı projelerdir. Gelişmekte olan ülkeler için, özellikle şebeke bağlantısı olmayan kırsal bölgeler için güneş pilleri ucuz elektrik kaynağı olabilir. 30 aya kadar finansman desteği olan mikro kredi programları ile sağlanan bir PV sistemin aylık maliyeti, aynı dönemde kullanılan kiresin lambaları veya mumların fiyatından daha ucuz olabilmektedir. PV sistemleri yüksek kaliteli elektrik enerjisi üreterek eğitim olanaklarını ve bilgiye ulaşma yollarını sağlar.¹¹⁹

¹¹⁷ “Renewable Energy Sources Act (EEG) Progress Report 2007”, (Çevrimiçi), http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/English/erfahrungsbericht_eeg_2007_zf_en.pdf, 10.10.2007

¹¹⁸ Jonathan G. Dorn, “Solar Cell Production Jumps 50 Percent in 2007”, (Çevrimiçi), <http://www.earth-policy.org/Indicators/Solar/2007.htm>, 10.10.2007

¹¹⁹ Viviana Jimenez, “World Sales of Solar Cell Jump 32 Percent”, (Çevrimiçi), http://www.earth-policy.org/Indicators/2004/indicator12_data.htm, 10.10.2007

Avustralya Viyana’da Temmuz 1998’de yapılan 2.Dünya Fotovoltaik Enerji Konferansında belirtilen fotovoltaik gücün %30 - %40 arasındaki yıllık ortalama büyüme hızının sürmesi, fotovoltaik kurulu gücün 2030 – 2040 arasında 1000 GW düzeyine çıkmasını beraberinde getirecektir.¹²⁰

2.3.3. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisi, hız enerjisine dönüşmüş güneş enerjisidir. Yeryüzünün gerek duyduğu enerjinin tümü güneşten gelir. Güneşten dünyaya her saat 174 423 milyar kWh enerji gelir. Güneşten gelen bu enerjinin yaklaşık %1 – 2’lik kısmı rüzgar enerjisine dönüşür. Işınım farkları nedeni ile atmosferde oluşan basınç farkları sonucu hava hareket ederek kinetik enerji meydana getirir. Rüzgar ise hava basıncından ortaya çıkan hava hareketleridir.¹²¹

İlk insanlar rüzgarın neden meydana geldiğini bilmemekle beraber onun gücünden yararlanma yoluna gitmişlerdir. Bu yönde ilk uygulamalar yelkenli gemilerin yüzdürülmesi yolu ile başlamıştır. Kara topluluklarında gelişen ve dairesel hareketli yel değirmenlerinden güç kaynağı olarak yararlanmak orta ve batı Asya ülkelerinde (İran, Afganistan, Tibet, Çin) başlamıştır. Böylece rüzgar enerjisi, MÖ 4000 yılında yelkenleri hareket ettirmede, mısır ve buğday öğütmede ve su pompalamada kullanılmaktaydı.¹²²

Rüzgarın elektrik enerjisinde ilk kullanımı Amerika’da gerçekleştirilmiştir. 1888’de Charles F. Brush otomatik çalışan ve 12 kW DC (direct current) güç üreten rüzgar makinesini yapmıştır. İlk AC (alternative current) rüzgar türbini 1930’da ABD’de yapılmıştır. Özellikle 1970’li yıllarda yaşanan petrol krizi, modern rüzgar türbinlerin gelişimine önemli katkıda bulunmuştur. Günümüzde rüzgar enerjisi teknolojisi; küçük ölçekli mekanik su pompası, tek başına sistemlerle küçük birimlerin elektrik enerjisi gereksiniminin karşılanması ve doğrudan şebeke bağlantılı rüzgar tarlası (karada ve

¹²⁰ “Fotovoltaik Güç Pilleri ve Güç Sistemleri”, (Çevrimiçi),

<http://www.youthforhab.org.tr/tr/yayinlar/enerji/fotovoltaik/giris.html>, 10.10.2007

¹²¹ Jefferson W. Tester vd., **Sustainable Energy Choosing Among Options**, The MIT Pres, Cambridge, 2005, s. 617

¹²² Zekai Şen, **a.g.e.**, s. 92

denizde) şeklindeki sistemler olarak gelişme göstermektedir. Rüzgar türbin teknolojilerin gelişmesini sağlayan ülkeler Danimarka, Almanya, Hollanda, ABD, İspanya'dır.¹²³

Son 20 yıl içinde rüzgar enerjisi dünyanın en hızlı gelişen enerji kaynağı olmuştur. Rüzgar türbinlerin ticari ve teknolojik gelişmesi türbin büyüklüğüne bağlı olarak gerçekleşmiştir. 1970'lerde rotor çapı 10 m'den ve kapasitesi 20- 35 kW'tan 2003 yılında rotor çapı 124 m'e ve kapasitesi 5000 kW'a çıkmıştır. Son kurulan en büyük türbinlerin kapasitesi 6 MW olup, çoğu Almanya'da kurulmuştur. Büyük bir türbin 100 m yüksekliğinde olabilmektedir ve 5000 evin elektrik ihtiyacını karşılayabilecek kadar enerji üretebilmektedir.¹²⁴

Rüzgar türbinleri kurulduktan hemen sonra elektrik üretmeye başlarlar. Yeni üretilen türbinlerin faaliyet ömrü ortalama 20 yıldır ve bu süre içinde 120000 saat çalışacak şekilde tasarlanmışlardır. Bu süre, bir otomobilin 4000 – 6000 saat çalışma aralığından çok daha fazladır. Rüzgar türbinlerin kanatları ve diğer parçaları ise en az 50 yıl için tasarlanır. Rüzgar türbinlerin büyük çoğunluğu yatay eksenli olup 2 – 3 kanatlıdır. İki rüzgar türbini arasındaki uzaklık 150 – 300 m arasında değişebilir ve kurulduğu arazinin sadece %2'ni işgal ettiklerinden kalan arazi tarım, hayvancılık ve diğer amaçlar için kullanılabilir. Türbinler 3 – 5 m/s rüzgar hızında çalışmaya başlar, ancak hasarı önlemek için 25 m/s rüzgar hızı üzerinde hız denetimi çalışmayı keser.

Rüzgar türbinlerinde elektrik üretimi oldukça basittir. Rüzgar pervaneleri döndürmekte ve rüzgar türbinine bağlı elektrik üretici (jeneratör), mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirir. Rüzgar enerjisi dönüştürme sistemleri 50W ile 2-3 MW arasında mekanik veya elektrik gücü sağlayabilmektedir. Havanın özgül kütlesi az olduğundan, rüzgardan sağlanacak enerji rüzgar hızına bağlıdır. Rüzgar hızı yükseklikle, gücü ise hızının kübü ile orantılı biçimde artar. Rüzgarın sağlayacağı enerji, gücüne ve esme saati sayısına bağlıdır. Özgül rüzgar gücü, hava debisine dik birim yüzeye düşen

¹²³ Godfrey Boyle, **a.g.e.**, s. 252

¹²⁴ The European Wind Energy Association (EWEA), **Wind Energy The Fact An Analysis of Wind Energy in EU25**, 2005, s.3, (Çevrimiçi), http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/WETF/Facts_Summary.pdf, 10.10.2007

güçtür. Topoğrafik koşullara göre yerden 50 m yükseklikte özgül güç, hız 3,5 m/s den küçük iken 50 W/m² den az olabileceği gibi hız 11,5 m/s den büyük iken 1800 W/m² den çok olabilir. Ortalama rüzgar hızı yıldan yıla değişebilir. Rüzgar hızının değişkenliğinden dolayı, rüzgar enerjisi potansiyelinden elde edilecek enerji, yıllık ortalama hız değerinden hesaplanan enerjiden daha fazla olmaktadır.¹²⁵

Deniz üstü (offshore) rüzgar türbinleri, kara rüzgar türbinleri ile aynı teknolojiye sahip. Tek farkı deniz üstü rüzgar türbinleri daha büyük olması; 100 – 120 m yüksekliğinde ve 5000 MW kapasiteye sahip olması. Deniz üstü türbinlerin büyük olması maliyetlerin daha az olmasını sağlar. Deniz altı kablolama ve temeller, kıydan uzak rüzgar enerjisini son zamanlara kadar pahalı bir seçenek yapmış iken, şimdi yeni temel teknolojileri ve megawatt boyutlu offshore rüzgar türbinleri en azından 30 m'ye kadar deniz derinliği için, karadaki türbinler ile yarışabilir. Offshore rüzgarlar türbinleri, karadaki düz arazilerden %50 daha çok enerji üretebildiği için, kıydan uzak bütün yerleşimleri oldukça çekici olmuştur. Yeni teknolojiler 30 m su derinliğine kadar ekonomik olunacağını göstermektedir. 1,5 MW büyüklükteki türbinleri şebekeye bağlantısı ve temel işleri 450 - 500 kW'lık türbinlerinkinden yalnızca %10-20 oranında yüksektir. Deniz-üstü petrol platformları ile ilgili deneyimler, bu platformların korozyon önlemleri ile korunabildiğini göstermektedir.¹²⁶

Rüzgar enerjisi önemli elektrik enerjisi üretim kaynağı olabilir. İspanya'da 2006 yılında elektrik talebinin %9'u rüzgar enerjisi ile karşılanmıştır, Danimarka'da ise %17'i.¹²⁷

Rüzgar enerjisi potansiyelinden maksimum yararlanabilmek için uzun dönem istatistikleri içeren rüzgar atlasları oluşturulmaktadır. Avrupa Rüzgar Atlasına göre kara

¹²⁵ The British Wind Energy Association (BWEA), "Wind Turbine Technology", <http://www.bwea.com/pdf/briefings/technology-2005.pdf>, 10.10.2007

¹²⁶ BWEA, "Offshore Wind Technology", <http://www.bwea.com/pdf/briefings/offshore-2005.pdf>, 10.10.2007

¹²⁷ IEA, **Wind Energy Annual Report 2006**, s. (Çevrimiçi), http://www.ieawind.org/AnnualReports_PDF/2006%20AR%20IEA%20Wind/2006%20IEAWind%20AR_indd.pdf, 15.01.2008

rüzgar potansiyeli 600 TWh/yıl ve deniz üstü potansiyeli 3000 TWh/yıl.¹²⁸ Dünya rüzgar enerjisi potansiyeli açısından yapılan değerlendirmelere göre teknik olarak yararlanabilecek toplam rüzgar kaynağının 53000 TWh/yıl olduğu tahmin edilmektedir. Bu ise dünyanın 2020 yılında gereksinim duyacağı elektriğin iki katından daha fazladır. Bu nedenle, rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretiminde kaynak yetersizliği olması söz konusu değildir.¹²⁹

2.3.3.1. Rüzgar Enerjisi Maliyeti

Rüzgar enerjisi bedava bir enerji kaynağı değildir. Rüzgarın fiyatı yoktur, ama taşıdığı enerjinin tutularak istenilen biçime çevrilmesi için yatırım ve harcama gerektiren rüzgar türbin-üreteç sistemlerine gerek vardır. Bu nedenle rüzgardan üretilen elektriğin bir maliyeti bulunur.¹³⁰

Rüzgar enerjisinden farklı rüzgar çiftliklerinde farklı maliyetlerle elektrik üretilmektedir. Yani değişken bir maliyet söz konusudur. Maliyetleri belirleyen unsurlar: yatırım maliyetleri (rüzgar santralinin kurulumu ve şebekeye bağlantı masrafları); işletme maliyetleri (operasyon, bakım ve kira giderleri); finansman maliyetleri (borç ödenmesi).

Yatırım maliyetleri en büyük orana sahiptir ve yaklaşık %75 – 90 seviyelerinde bulunmaktadır.

İngiltere’de maliyetler için yapılmış bir araştırma göstermektedir ki 5 MW büyüklüğündeki kara rüzgar türbini için maliyetlerin oransal dağılımına bakıldığında; %64 payla birinci sırada rüzgar türbini gelmektedir. Daha sonra %13 ile sivil çalışanlara yapılan ödemeler gelmektedir. Elektrik altyapısı için yapılan harcama %8 bir orana sahiptir. Şebeke bağlantısı için yapılan harcamalar maliyet kaleminde %6’lık bir paya

¹²⁸ EWEA, **Wind Energy The Fact An Analysis of Wind Energy in EU25**, 2005, s.2, (Çevrimiçi), http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/WETF/Facts_Summary.pdf, 10.10.2007

¹²⁹ EWEA, **Wind Force 12**, s. (Çevrimiçi), http://www.ewea.org/documents/WF12_2004.eng.pdf, 10.10.2007

¹³⁰ Godfrey Boyle, **a.g.e.**, s. 278

sahiptir. Sigorta, kanuni masraflar, banka kredi ödemeleri vb. giderler ise toplamda %9'luk bir paya sahiptir.¹³¹

Rüzgar enerjisi en ucuz yenilenebilir enerji kaynaklarından bir tanesidir. Son yıllarda yeni ve çevreyi daha az kirleten bir termik santral ile yarışabilir düzeye gelmiştir. Rüzgar enerjisinden, nükleer santrallerden daha ucuz enerji üretilmektedir. Rüzgardan elektriğin üretilmesi bir çok etkene dayanmaktadır. Ancak, iyi ve rüzgarlı bir sitede kurulan bir santralden üretilen enerji 4 USDcent/kWh'a kadar üretilmektedir. Ancak, küçük güçlü rüzgar santrallerinde üretilen enerjinin birim maliyeti daha yüksek olmaktadır.¹³²

1980'lerde rüzgarda üretilen elektriğin fiyatı 25 USDcent/kWh iken, 1998 de rüzgar türbinlerinin gelişimi ile ortalama 5-8 USDcent/kWh olmuştur. Sağlanan teknolojik gelişmeler ve verim artışları ile bu maliyet sürekli düşürülmüştür. Ortalama 25 yıl aşınma süresi olan türbinler için ilk yatırım gideri ABD de 750 USD/kW düzeyine indirilmiştir. Ancak, Avrupa ve dünya piyasasında modern rüzgar türbinlerinin kuruluş maliyeti 1400 USD/kW a kadar çıkmaktadır. Rüzgar enerjisi kullanımının daha da gelişebilmesi için bu fiyatın 1000 USD/kW ın altında kalması gerekmektedir. ABD de 1981 yılında ilk rüzgar enerjisi projelerinde rüzgar elektriğinin birim maliyeti 30 USDcent/kWh iken 15 yıl sonrasında 5 USDcent/kWh ın altına düşürülmüş olup 1997 yılında 3,5 USDcent/kWh a kadar inen uygulamalar vardır. Avrupa'da rüzgar elektriğinin en yüksek maliyeti 10,2 USDcent/kWh ile kurulu gücün en çok olduğu Almanya da görülmekte, en düşük maliyet ise İngiltere de 5,7 USDcent/kWh düzeyinin altında bulunmaktadır. Bu gün için santral kurmada önemli olan 450 – 750 kW lık türbinlerin ortalama fiyatı 1000 USD/kW dolayındadır. 1000 kW ve daha büyük üçlü türbinler, henüz yeni geliştirilen yeni teknoloji ürünü makineler olduklarından, bunların fiyatları 1400 USD/kW'ın üzerine çıkabilmektedirler. Genelde türbin gücünün artması ile türbin fiyatı düşmektedir.

¹³¹ BWEA, "The Economics of Wind Energy", (Çevrimiçi), <http://www.bwea.com/ref/econ.html>, 15.01.2008

¹³² Danish Wind Power Association, "What Does a Wind Turbin Cost", (Çevrimiçi), <http://www.windpower.org/en/didyouknow.htm>, 10.10.2008

Deniz üstü rüzgar çiftliklerin kuruluş maliyeti kara rüzgar çiftliklerinden daha yüksek olabilmektedir. 2006 yılında 90 MW yeni kapasite eklenen İngiltere’de kuruluş maliyeti 2375 USD/kW’ta çıkmıştır.¹³³

Maliyetleri etkileyen diğer önemli unsur işletim ve bakım (O&M) maliyetleridir. Yeni yüksek kapasiteli rüzgar türbinlerin yıllık O&M maliyeti yatırım maliyetin % 2-3,5 oluşturmaktadır. Bu da 15 USD/MWh ile 25 USD/MWh olmaktadır. O&M maliyetlerin, türbin kapasitelerin artırılması ile düşürülmesi öngörülmektedir.¹³⁴

Rüzgar enerjisinin ekonomik olarak geçerli olabilmesi için, diğer işlerde de olduğu gibi elektrik üretim maliyeti satış fiyatını aşmamalıdır. Genel olarak, rüzgar enerjisi projelerinin ekonomik anlamda onaylanabilmesi için iki önemli faktör göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bunlardan birincisi **teknik faktörler**, ikincisi ise **finansal maliyetidir**.

Teknik Faktörler

Rüzgar türbinleri ne kadar verimli olursa kWh başına maliyet o kadar düşük olur. Verimlilik: bölgenin rüzgar durumuna, bölgenin büyüklüğüne, rüzgar türbinlerinin hazır bulunmasına ve rüzgar türbinlerinin düzenlenme biçimine bağlıdır.

Rüzgarın arada bir kesilme ihtimali bulunmaktadır ve rüzgarın esme durumu coğrafya ve topografyadan oldukça fazla etkilenmektedir. Bir anlık rüzgar hızı ile mevcut enerji arasında zıt bir ilişki bulunmaktadır. Ancak, rüzgar enerji türbinlerinden çıkan enerji miktarı, saniyede 7 – 10 metre civarında olan yıllık ortalama rüzgar hızı ile paralel olarak artmamaktadır. Ortalama rüzgar hızı arttıkça, türbindeki kontrol sistemi enerji üretimini kısıtladığı için rüzgardaki enerjinin büyük bir kısmı dağılmaktadır. Tipik olarak, yıllık ortalama rüzgar hızı saniyede 8 metre olan bir sitede, aynı türbinlerle saniyede 6 metre olan bir siteden % 80 oranında daha fazla enerji üretmesi beklenir. Bu

¹³³ IEA, **Wind Energy Annual Report 2006**, s. (Çevrimiçi), s. 19-20, http://www.ieawind.org/AnnualReports_PDF/2006%20AR%20IEA%20Wind/2006%20IEAWind%20AR.indd.pdf, 15.01.2008

¹³⁴ EWEA, **Wind Energy The Fact An Analysis of Wind Energy in EU25**, 2005, s.7, (Çevrimiçi), http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/WETF/Facts_Summary.pdf, 10.10.2007

durumda yatırım maliyeti aynı olsa da yüksek üretim genel maliyeti düşük seviyelerde tutacaktır.

Rüzgar türbinleri, değişik miktarlarda enerji üretecek şekilde geliştirilmektedir. Avrupa'daki rüzgar çiftliklerinin tipik boyutu 500 – 1500 kW arasındadır. Geniş çaplı bir elektrik enerjisi üretimi, ortalama 20 adet rüzgar türbini gerektirmektedir. Geniş rüzgar çiftlikleri daha ekonomiktir ve 3 MW'lık bir sistem enerjinin kWh'sini 5,9 cent'e üretmesine rağmen, bütün koşulların aynı olduğu bir durumda boyut olarak 51 MW'lık bir sistemin üreteceği enerjinin kWh başına maliyeti 3,6 cent olarak gerçekleşmektedir.

600 kW'lık tipik bir türbinin net üretimi, yıllık ortalama rüzgar hızı saniyede 7 metre olan ve denizden yüksekliği 45 metrede olan bir bölgede yılda 1600 MWh enerji; yıllık ortalama rüzgar hızı saniyede 10 metre olan ve denizden yüksekliği 45 metrede olan bir bölgede yılda 2750 MWh enerji şeklinde olabilmektedir. Türbinler, ömürleri 25 yıl sürecek şekilde tasarlanmıştır ve verimlilikleri % 97 ile % 99 arasında değişmektedir.

Finansal Faktörler

Genel olarak rüzgar enerjisi finansa oldukça bağımlıdır. Bu da şu anlama gelir ki, rüzgar enerjisinin ekonomik bir şekilde sürekliliği, ödünç alınan kaynağa uygulanan faiz oranlarına veya yatırım yapılan sermayeden beklenen orana ve projede kullanılmak üzere alınan kaynağın kaç yılda geri ödeneceği ile çok yakın ilişkilidir. Genel olarak, kısa bir geri ödeme dönemi ve yüksek oranda faiz uygulanması, üretilen enerjinin kWh başına maliyetini yükseltmek zorunda bırakır. Üretilen elektriğin maliyet ölçüğü (USD/kWh) toplam maliyetin şimdiki değerinin (USD) üretilen elektriğe bölümüyle elde edilir (kWh).

Kamu yetkilileri genelde kaynağın rüzgar türbininin işletim ömrü süresince ödenmesini isterler. Buna karşılık, özel sektör yatırımcısı türbinin ömrünü baz olarak almadan kredi verme şartlarına göre daha erken geri ödenmesini istemek zorundadır. Bununla birlikte, kamunun uygulayacağı faiz oranları, özel sektörün uygulayacağı oranlar ile aynı olmamaktadır.

Rüzgar enerjisinin maliyeti yakıt maliyetini içermediği için (yakıtsız çalışmaktadır), gelecekteki yakıt fiyatlarına bağımlı olan yakıt tüketen enerji üretim tesisleri ile karşılaştırıldığında, rüzgar enerjisinin maliyeti gerçek maliyetine oldukça yakın bir şekilde hesaplanabilmektedir. Hiçbir yakıt maliyeti söz konusu olmadığından dolayı, projeye bir defa yatırım yapıldıktan sonra, sürekli tekrarlanan maliyetler arasında yalnızca işletim ve bakım maliyetleri bulunmaktadır. Genel olarak, yüksek veya artan yakıt maliyetleri rüzgar enerjisi sistemlerine yakıt maliyetinin hiçbir katkısı yoktur, hatta sabit veya düşen yakıt fiyatları rüzgar enerji sitemleri için daha olumsuz bir tablo oluşturmaktadır. Rüzgar türbinlerinin kurulması oldukça hızlı ve kolaydır ve böylelikle, inşaat aşamasında yüksek miktarlarda faize maruz kalmadan enerji üretimine geçilebilmektedir. Rüzgar türbinlerinden elde edilen enerjinin maliyeti de bölgeden bölgeye değişiklik göstermektedir.

Türbin teknolojisi geliştikçe rüzgar enerjisinin maliyeti hızlı bir şekilde düşmektedir. İngiltere Enerji Teknolojisi Destek Birimi'nin (ETSU) tahminlerine göre, rüzgar enerjisinin maliyeti düşmeye devam edecektir ve zaman geçtikçe performansı artacaktır. Rüzgar enerjisi maliyetleri 2010 yılında % 75 oranında (tarihi trendlere göre) veya 2025 yılına kadar % 70 oranında (pazar gelişimi, deneyim ve yenilik aracılığıyla gerçekleşen gelişmelere göre) düşeceği tahmin edilmektedir.¹³⁵

2.3.3.2. Dünya Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

Rüzgar enerjisi endüstrisi, diğer sektörlerin “lüks problemi” diye adlandıracakları artan talep karşısında arz sorunu olan bir durum ile yüzleşmektedir. Rüzgar enerjisi son on yıllık dönemde yılda ortalama %30 artış göstermektedir. 1995 yılında dünya kurulu kapasite 4800 MW iken 2006 yılında 74223 MW seviyesine çıkmıştır. Rüzgar

¹³⁵ BWEA, “The Economics of Wind Energy”, (Çevrimiçi), <http://www.bwea.com/ref/econ.html>, 15.01.2008

enerjisinde meydana gelen artışların büyük kısmı Avrupa’da gerçekleşmektedir. Asya ve Kuzey Amerika pazarları da hızlı artış göstermektedir.¹³⁶

2005 yılı %41 artış gösteren rüzgar enerjisi için rekor yılı olmuştur. 2006 yılında 15197 MW yeni kapasite eklenmiştir. Rüzgar enerjisinde meydana gelen bu artışların bir sebebi ülkelerin eski türbinleri daha büyük ve yüksek kapasiteli türbinler ile değiştirmeleridir. Türbin boyutlarında meydana gelen artış daha ucuza daha çok enerji üretilmesini sağlamaktadır. Rüzgar yüksek kesimlerde daha yüksek hızda ve devamlı esmektedir. Kanatların çapında meydana gelen ve rüzgar türbinlerinin boyunda meydana gelen büyüme kanatların daha çok rüzgar süpürmesine ve bu sayede daha yüksek miktarda enerji üretilmesine olanak sağlamaktadır.¹³⁷ 2006 yılında Danimarka’da türbin sayısı azaltılmıştır ancak kurulu kapasite 8 MW’a arttırılmıştır. Almanya 79 eski türbin yerine 135 MW kapasiteye sahip yeni türbinleri yerleştirmiştir. İtalya’da 200 – 450 kW kapasiteye sahip 49 türbini 800 – 1500 kW kapasiteye sahip büyük türbinler ile değiştirmiştir ve toplamda kurulu güç 4 MW arttırılmıştır. Bunun yanında elektrik üretim sürecinde de önemli kolaylıklar sağlamıştır. Hollanda toplam 4,3 MW güce sahip 21 türbin yerine 26,6 MW güce sahip 13 türbin kurarak net kapasiteyi 22 MW arttırmıştır.¹³⁸

Rüzgar enerji projelerin büyümesi, dolayısıyla pazarın büyümesi başta General Elektrik, Shell, Siemens, ABB olmak üzere yeni üretici firmaların pazara girmesini sağlamıştır. Dünyanın dokuz en büyük türbin üreticisi Avrupa’da bulunmaktadır. Avrupa şirketleri 2002’de dünyada satılan türbinlerin %90’nı sağlamışlardır.¹³⁹

¹³⁶ Global Wind Energy Council (GWEC), **Global Wind 2006 Report**, s. 2, (Çevrimiçi), http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen_A-Z/Internationale%20Windenergie/gwec-2006_global_wind_report.pdf, 15.01.2008

¹³⁷ American Wind Energy Association (AWEA), “Wind Power Today”, <http://www.awea.org/pubs/factsheets/WindPowerTodayFinal.pdf>, 10.10.2007

¹³⁸ IEA, **Wind Energy Annual Report 2006**, s. (Çevrimiçi), s. 12, http://www.ieawind.org/AnnualReports_PDF/2006%20AR%20IEA%20Wind/2006%20IEAWind%20AR.indd.pdf, 15.01.2008

¹³⁹ EWEA, **Wind Energy The Fact An Analysis of Wind Energy in EU25**, 2005, s.8, (Çevrimiçi), http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/WETF/Facts_Summary.pdf, 10.10.2007

Tablo – 2.27: İlk On Rüzgar Türbin Üreticileri, 2001

Şirket	Ülke	Satılan MW	Piyasa Payı	İstihdam
Vestas	Danimarka	1630	%23,3	5500
Enercon	Almanya	989	%14,1	4100
Neg Micon	Danimarka	875	%12,5	1805
GE Wind Energy	ABD	861	%12,3	1500
Gamesa	İspanya	649	%9,3	1114
Bonus	Danimarka	593	%8,5	500
Nordex	Almanya	461	%6,6	725
Made	İspanya	191	%2,7	Na
Mitsubishi	Japonya	178	%2,5	Na
REpower	Almanya	133	%1,9	300

Kaynak: IEA, **Renewables for Power Generation**, Paris, 2003, s.154, (Çevrimiçi), http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/renewpower_2003.pdf, 10.10.2007

Rüzgar enerjisi endüstrisinin büyümesini sağlayan iki faktör belirtilebilir. Birincisi, türbin üretiminde ölçek ekonomisi özelliğın olması. İkincisi, ülke enerji politikaların endüstri politikaları ile örtüşmesi.¹⁴⁰

Rüzgar enerjisi kullanımında Avrupa lider konumundadır. 2006 yılında Avrupa’da kurulu kapasite 48545 MW olup, dünya kurulu gücün %65’ini oluşturmaktadır. Kapasitede görülen %19 artış ile yaklaşık 100 TWh elektrik enerjisi üretimi sağlanmıştır. Bu miktar toplam Avrupa elektrik ihtiyacının %3,3’ünü karşılayabilecek seviyededir.

Almanya ve İspanya Avrupa pazarının %50’ni temsil etmektedir. Almanya’da kurulu rüzgar gücü 2006 yılı sonu itibari ile 20622 MW durumundadır. 2006 yılı içinde toplam 2233 MW kapasiteye sahip 1208 yeni rüzgar türbini kurularak 2005 yılına göre % 23,5 oranında artış göstermiştir. 2006 yılında rüzgar enerjisinden üretilen elektrik miktarı 30,6 milyar kWh seviyesindedir. Rüzgar türbinlerin ürettiğı elektrik 82

¹⁴⁰ IEA, **Renewables for Power Generation**, Paris, 2003, s.154 , (Çevrimiçi), http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/renewpower_2003.pdf, 10.10.2007

milyonluk bu ülkenin elektrik talebinin %5,7 karşılamaktadır. Bu eğimler sürmeye devam ederse 2010 yılında bu oranın %10 ulaşması beklenmektedir.¹⁴¹

Tablo – 2.28: Almanya’da Kurulu Rüzgar Gücü Kapasiteleri (MW)

1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
2874	24442	6107	8754	11994	14609	16629	18415	20622

Kaynak: Global Wind Energy Council (GWEC), **Global Wind 2006 Report**, s. 21, (Çevrimiçi), http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen_A-Z/Internationale%20Windenergie/gwec-2006_global_wind_report.pdf, 15.01.2008

Almanya’da rüzgar enerjisi teknolojisi son 20 yıl içinde büyük gelişmeler göstermiştir. Devletin Ar-Ge destekleri, rekabete imkan veren finansman kaynakları gibi olumlu koşullar 1990’larda teknolojik gelişmelerde etkileyici artış sağlamıştır. Almanya’da büyük rüzgar enerjisi endüstrisi kurulmuştur. Alman rüzgar endüstrisi dünya rüzgar türbinlerin ve diğer parçaların %50’sini üretmektedir. 2005 yılı itibari ile endüstri yaklaşık 5 milyar Euro tutarında rüzgar teknolojisi ihraç etmiştir ve 64000 kişiye istihdam sağlamıştır.¹⁴²

Almanya piyasasında büyük gelişme, ‘Sabit Fiyat Yasası’ 1991 yılında imzalanmasıyla gerçekleşmiştir. Bir dönüm noktası olan bu yasa, tüm yenilenebilir enerji üreticilerine, ürettikleri her kWh için, ülkedeki elektrik satış fiyatının yüzde %90’a varan miktarını garantilemiştir. 2000 yılında çıkan ‘Yenilenebilir Enerji Yasası (EEG)’, bir türbinin işletmede olduğu beşinci yıldan sonra %2 azaltılan bir enerji üretim ödemesini başlatmıştır. Bu yasa rüzgarın gittikçe artan rekabet gücünün tanınmasını sağlamıştır. 1 Ocak 2007’de konulan tariflere göre kara rüzgar türbinlerinde üretilen elektrik için başlangıç fiyatı 8,19 Eurocent/kWh ve beş sene sonra baz fiyat 5,17 Eurocent/kWh olacaktır, deniz üstü rüzgar çiftliklerinde ise başlangıç fiyatı 9,10 Eurocent/kWh ve beş sene sonra baz fiyat 6,19 Eurocent/kWh olacaktır.¹⁴³

¹⁴¹ GWEC, **Global Wind Report 2006**, s. 20, (Çevrimiçi), http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen_A-Z/Internationale%20Windenergie/gwec-2006_global_wind_report.pdf, 15.01.2008

¹⁴² German Wind Energy Association, “Wind Energy Efficiency”, <http://www.wind-energie.de/en/topics/wind-energy-efficiency.html>, 15.01.2008

¹⁴³ German Wind Energy Association, “Promoting Wind Energy Through a Minimum Price System”, <http://www.wind-energie.de/en/topics/renewable-energy-law.html>, 15.01.2008

10 Mayıs 2005'te düzenlenen konferansta 'Conference On The İntegration Of Wind Energy in to The German Elektricıty Supply' Alman Enerji Ajansı Dena'nın sunduğu çalışması, büyük rüzgar enerji teknolojilerin elektrik üretim sistemlere entegre edilmesi hem teknik hem ekonomik olarak mümkündür. Konferansta varılan sonuçlara göre Almanya kurulu rüzgar enerjisi kapasitesini 2015'te 36 GW ve 2020'de 48 GW kadar arttırabilir. 2015 yılında yıllık üretilen elektrik 77,2 TWh çıkartılarak ülkenin net elektrik talebinin %14'ü karşılanabilecektir.¹⁴⁴

İspanya, 11615 MW (2007 Ocak itibari ile) kurulu kapasitesi ile ikinci büyük pazar halindedir. 2006 yılında rüzgar enerjisi kurulu kapasitesi %15,8 arttırarak 1587 MW yeni kapasite eklenmiştir. 2006 yılında İspanya'nın elektrik enerjisi ihtiyacının %9'u rüzgar enerjisi ile karşılanmıştır. Rüzgar türbinlerin ürettikleri elektrik enerjisi 22199 GWh seviyesindedir.

İspanya'nın rüzgar enerji üretiminde ikinci lider konumunda olmasının en önemli nedeni güçlü yasal çerçeveye sahip olmasıdır. Üretilen kWh devlet garanti para vermektedir. İspanya hükümeti 'Royal Decree 1634/2006' yasa altında yeni tarifler ilan etmiştir. Bu yasaya göre rüzgar çiftlikleri diğer yenilenebilir enerji kaynakların toplandığı bir merkeze bağlanarak, sistem yönetimi farklı durumlara göre (aşırı yük, stabilizasyon riski, aşırı üretim) ayarlanabilecektir. Bu verimliliği arttırarak maliyette düşüş yaratabilecektir. İspanya Çevre Bakanlığının Avrupa Birliği'nin hedefine uyumlu olarak yayınladığı 'Renewable Energies Plan 2008-2020' göre 2012 yılında elektrik ihtiyacın %32'si yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanması ve rüzgar enerjisi kurulu kapasitesinin 22155 MW yükseltilmesi hedeflenmektedir.¹⁴⁵

Avrupa'da ve dünyada rüzgar enerjisi pazarında başarılı olan diğer ülke Danimarka'dır. 2006 yılı itibari ile Danimarka'da kurulu rüzgar güç 3136 MW seviyesindedir. Danimarka'da elektrik tüketiminin %16'sından fazlası rüzgar enerjisi ile karşılanmaktadır (bazı yıllarda bu oran %20 olmuştur). Parlamentoda alınan kararlar

¹⁴⁴ German Wind Energy Association, "Briefing May 10 2005", (Çevrimiçi), http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/English/050510_briefing_ewea_dena_study.pdf, 15.01.2008

¹⁴⁵ IEA, **Wind Energy Annual Report 2006**, s. (Çevrimiçi), s. 205-207, http://www.ieawind.org/AnnualReports_PDF/2006%20AR%20IEA%20Wind/2006%20IEAWind%20AR_indd.pdf, 15.01.2008

doğrultusunda 2010 yılına kadar bu oranın %25'in üzerine çıkarılacağı hedeflenmiştir. Danimarka rüzgar endüstrisi dünya pazarının yaklaşık %35'ini oluşturmaktadır.¹⁴⁶

Danimarka deniz üstü büyük rüzgar çiftliklerin kurulması önerilerinin geliştirilmesinde dünyaya öncülük etmektedir. Bunların ilki Kuzey Denizde Horns Rev'deki 160 MW büyüklüğünde 2002 yılında kurulmuştur; ikincisi Reedsand Banke'de Nysted'deki çiftlik 2003 yılında tamamlanmıştır. 2008 yılında en az 200 MW'lık rüzgar çiftliği daha tamamlanacaktır.¹⁴⁷

Danimarka'da rüzgar endüstrisinin başarısının nedenlerinden biri; hükümetin ithal yakıtlara bağımlılığı azaltmak, çevrenin durumunu iyileştirmek ve daha fazla sürdürülebilirliğe doğru yol almak gibi hedefleri olan bir dizi ulusal enerji planına gösterdiği bağlılıktır. Ülkedeki gelişmenin bir özelliği, türbinlerin çoğu bireyler ya da yerel kooperatiflere ait oluşudur. Bugün 150 binden fazla Danimarka ailesi, ya bir rüzgar santraline ya da rüzgar santralinin hisselerine sahiptir.¹⁴⁸

Avrupa Birliği yeni 10 üye ülkede başta Polonya, Letonya, Macaristan, Bulgaristan, Romanya olmak üzere rüzgar enerjisi kurul kapasitesi 2006 yılında üçe katlanmıştır; 60 MW'tan (2005) 183 MW'a çıkmıştır.¹⁴⁹

Asya ülkeleri, 2006 yılında 3679 MW kurulan yeni kapasite ile ikinci sırada gelmektedir. 2006 itibari ile toplam kurulu güç 10600 MW olmuştur. 2005 yılına göre %53 artış göstermiştir.

Asya'da pazarın büyük payını 6270 MW kurulu kapasite ile Hindistan almaktadır. Hindistan'da rüzgar enerjisini geliştirmek için ilk adım, 1980'lerin ilk yarısında şimdi Yeni ve Yenilenebilir Enerji Bakanlığı (MNRE) olarak bilinen o zamanki adıyla Gelenksel Olmayan Enerji Kaynakları Bakanlığı (MNES) tarafından atılmıştır. Bakanlığın amacı, ülkenin ekonomik hızlı büyümesinin gerektirdiği artan

¹⁴⁶ A. e., s. 95

¹⁴⁷ BWEA, "Offshore Wind", (Çevrimiçi), <http://www.bwea.com/offshore/worldwild.html>, 10.10.2007

¹⁴⁸ Danish Wind Power Association, " Did You Know", (Çevrimiçi), <http://www.windpower.org/en/didyouknow.htm>, 10.10.2007

¹⁴⁹ GWEC, **Global Wind Report 2006**, s. 5, (Çevrimiçi), http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen_A-Z/Internationale%20Windenergie/gwec-2006_global_wind_report.pdf, 15.01.2008

kömür, petrol ve doğalgaz talebinden uzaklaşarak, yakıt kaynakların çeşitlendirilmesini teşvik etmekte. Hindistan hükümeti 2010 yılına kadar kurulu rüzgar gücünü 10000 MW'a çıkarmayı hedeflemektedir. Bunun yanında Indian Wind Turbin Manufacturers Association (IWTMA) gelecek üç yıl için yıllık kapasite artışının ortalama 1500 – 1800 MW arasında olacağını beklemektedir.¹⁵⁰

Çin, toplam kurulu rüzgar kapasitesini 1347 MW artırarak neredeyse ikiye katlamıştır. Çin, 2604 MW kurulu kapasiteye sahiptir ve dünyanın altıncı büyük pazarını oluşturmaktadır. 1 Ocak 2006'da yürürlüğe giren 'Yenilenebilir Enerji Kanunu' (Renewable Energy Law) yenilenebilir enerji teknolojilerin gelişmesine, uygulanmasına hız katmıştır. Devlet tarafında onaylanan ve yapım aşamasında olan projelere göre 2010 yılında Çin'de kurulu rüzgar gücü 5000 MW olacaktır.¹⁵¹

Kuzey Amerika'da rüzgar enerjisi pazarı büyümeye devam etmektedir. 2006 yılında toplam dünyada kurulan yeni kapasitenin %22'si Kanada ve ABD'de gerçekleşmiştir. Kanada toplam 1459 MW kurulu rüzgar kapasitesine sahiptir. Rüzgar enerjisinde üretilen elektrik (3,8 GWh) ülkenin toplam elektrik ihtiyacının (551 TWh) %0,7'sini karşılamaktadır. Kanada Rüzgar Enerjisi Birliği (CanWEA) tahminlerine göre Kanada'da 2015 yılında 10000 MW kurulu kapasite olacaktır.¹⁵²

ABD'nin rüzgar endüstrisi, rüzgar enerjisinin büyüme hızını %27'ye çıkartarak, 2006 yılında kurulu kapasitesini 11603 MW'a kadar arttırmıştır. Rüzgar türbinlerin ürettikleri elektrik enerjisi (31 TWh) toplan elektrik enerji ihtiyacının %1'ini karşılamaktadır; yani 2,9 milyon Amerikan ailesinin elektrik gereksinimini karşılamaya yetmektedir. ABD rüzgar endüstrisinin uzun dönemli planların hala geçerli olmasını iki neden sağlamaktadır; yüksek talep ve federal üretim vergisi kredisi (PTC). Federal üretim vergisi kredisi, rüzgar teknolojisi ile üretilen elektrik için 1,5 USDcent/kWh kredi verilmesini sağlamakta olup, diğer enerji kaynakları ile rekabet koşullarını eşitlemeye yardımcı olmak için 1992 yılında yürürlüğe sokulmuştur. Amerikan Rüzgar Enerjisi

¹⁵⁰ A.e., s. 38-39

¹⁵¹ A.e., s. 40-41

¹⁵² IEA, **Wind Energy Annual Report 2006**, s.86-85 (Çevrimiçi),

http://www.ieawind.org/AnnualReports_PDF/2006%20AR%20IEA%20Wind/2006%20IEAWind%20AR_indd.pdf, 15.01.2008

Birliği (AWEA), rüzgar potansiyeli ve teknolojik imkanların olması ülkenin elektrik ihtiyacının %20'sini rüzgar enerjisi ile karşılanabileceğini belirtmektedir.¹⁵³

Latin Amerika pazarı, büyüme göstermeye başlamıştır, özellikle Brezilya ve Meksika'da. 2005 yılında yeni eklenen kapasite sadece 6 MW iken, 2006 yılında yeni eklenen kapasite 296 MW olmuştur. Brezilya Rüzgar Enerjisi Merkezinin hazırladığı rüzgar atlasına göre ülkenin rüzgar potansiyeli 143 000 MW civarındadır. 2005 yılı itibari ile toplam kurulu kapasite 28,55 MW iken, 2006 yılın sonunda 239 MW olmuştur. %717 oranında bir artış gerçekleşmiştir. 2001 yılında Brezilya, hidrolik enerjiye bağımlılığın yüksek olması nedeni ile enerji yetersizliği ile karşılaşmıştır. Gelecekte enerji krizi yaşamamak için Brezilya hükümeti yenilenebilir enerji programlarını başlatmıştır. 2002 yılında biokütle, rüzgar, küçük hidrolik sistemlerin kurulmasını teşvik etmek amacı ile PROINFA programı başlatılmıştır. Bunun yanında 2009 – 2015 yılları arasında rüzgar enerji programları doğrultusunda kurulu kapasitenin 5000 MW çıkarılması hedeflenmiştir.¹⁵⁴

Latin Amerika ülkeleri içinde yüksek rüzgar enerjisi potansiyeline (30 000 MW) sahip diğer ülke Meksika'dır. Meksika Rüzgar Enerjisi Birliği (AMDEE), 2006 – 2014 yılları arasında kurulu rüzgar gücün 3000 MW seviyesine artacağını beklemektedir. 2006 yılı itibari ile Meksika'da kurulu rüzgar kapasitesi 87 MW civarındadır.¹⁵⁵

Afrika ve Orta Doğu ülkelerinde rüzgar gücü genç pazar halindedir. 2006 yılında bir önceki yıla göre %63 oranında bir artış gerçekleşmiştir. 172 MW yeni kurulu güç eklenerek toplam kurulu rüzgar gücü 441 MW olmuştur. Büyüme gösteren ülkeler Mısır (145 MW'tan 230 MW'a), Fas (64 MW'tan 124 MW'a), İran (23 MW'tan 48 MW'a).¹⁵⁶

Avustralya'da rüzgar enerjisi pazarı 2006 yılında diğer yıllara göre daha yavaş büyüme göstermiştir. Bunun yanında hükümet tarafından belirlenen Mandatory

¹⁵³ AWEA, "The Economics of Wind Energy", (Çevrimiçi), <http://www.awea.org/pubs/factsheets/EconomicsOfWind-Feb2005.pdf>, 10.10.2007

¹⁵⁴ GWEC, **Global Wind Report 2006**, s. 34-35, (Çevrimiçi), http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen_A-Z/Internationale%20Windenergie/gwec-2006_global_wind_report.pdf, 15.01.2008

¹⁵⁵ A.e., s. 36-37

¹⁵⁶ A.e., s. 5

Renewable Energy Target (MRET) hedefe göre 2010 yılında beklenen yenilenebilir enerji kaynakların elektrik üretimi 9500 TWh gerçekleşmiş olup, rüzgar türbinlerin ürettikleri elektrik miktarı toplam elektrik talebinin %1,2'sini karşılamaktadır. Belirlenen yeni hedeflere göre 2010'da bu oranın %10 olması beklenmektedir.¹⁵⁷

Dünya Rüzgar Enerjisi Raporuna göre 2050 yılında dünya kurulu rüzgar kapasitesi 3 000 GW olacağı tahmin edilmektedir. Büyüyen pazar karşısında rüzgar türbinlerin fiyatı %40 düşeceği de öngörülmektedir.¹⁵⁸

Tablo – 2.29: Dünya Kurulu Rüzgar Gücü (MW)

Bölge/Ülke	2005	2006	Bölge/Ülke	2005	2006
<i>Asya</i>			<i>Avrupa</i>		
Hindistan	4430	6270	Almanya	18415	20622
Çin	1260	2604	İspanya	10028	11615
Japonya	1061	1394	Danimarka	3128	3136
Tayvan	104	188	İtalya	1718	2123
Güney Kore	98	173	İngiltere	1332	1963
Filipinler	25	24	Portekiz	1022	1716
Diğer	13	13	Fransa	757	1567
Toplam	6990	10667	Hollanda	1219	1560
<i>Latin Amerika</i>			Avusturya	819	965
Brezilya	29	237	Yunanistan	573	746
Meksika	3	88	İrlanda	496	745
Kosta Rica	71	74	İsveç	510	572
Caribbean	35	35	Norveç	267	314
Arjantin	27	27	Belçika	167	193
Kolombiya	20	20	Polonya	83	153
Jamaika	20	20	Kalan Avrupa	364	556
Diğer	7	7	Toplam	40898	48545
Toplam	212	508	EU-27	40512	48062
<i>Kuzey Amerika</i>			<i>Afrika/Orta Doğu</i>		
ABD	9149	11603	Mısır	145	230
Kanada	683	1459	Fas	64	124
Toplam	9832	13062	İran	23	48
<i>Pasifik</i>			Tunus	20	20
Avustralya	708	817	Diğer	11	11
Yeni Zelanda	169	171	Toplam	271	441
Pasifik Adaları	12	12			
Toplam	889	1000			
Dünya	59091	74223			

Kaynak: Global Wind Energy Council (GWEC), **Global Wind 2006 Report**, s. 9, (Çevrimiçi), http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen_A-Z/Internationale%20Windenergie/gwec-2006_global_wind_report.pdf, 15.01.2008

¹⁵⁷ IEA, **Wind Energy Annual Report 2006**, s.77, (Çevrimiçi), http://www.ieawind.org/AnnualReports_PDF/2006%20AR%20IEA%20Wind/2006%20IEAWind%20AR_1idd.pdf, 15.01.2008

¹⁵⁸ Greenpeace, **Enerji Revolution: A Sustainable Pathway To A Clean Future For Europe**, 2005, s.31, (Çevrimiçi), <http://www.greenpeace.org/raw/content/international/press/reports/energy-revolution-a-sustainab.pdf>, 27.09.2007

Greenpeace ve Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliğinin öncülüğünde yapılan ‘Wind Force 12’ (Rüzgar Gücü 12) projesine göre rüzgar enerjisinin 2020 yılına kadar dünya elektriğin %12’sini karşılama potansiyeline sahiptir. Çalışma, bu düzeyde genişlemenin karşısında uygulamaya yönelik engellerin (ticari, teknik, kaynağa bağlı) bulunmadığının ve başarıya ulaşmak için ulusal ve uluslar arası politika değişikliğinin gerekli olduğu sonucuna varmıştır. Çalışma, IEA istatistiklerine göre 2020 yılında dünya elektrik enerjisi talebinin 25,578 TWh olacağını belirtmektedir. Rüzgar gücünün, dünya ihtiyacının %12 karşılayabilmesi için yılda 3000 TWh elektrik üretmesi gerekir. Rüzgar gücünün yılda ortalama %25 büyüme göstermesi halinde 2010 yılında toplam 197 500 MW’lık kapasite kurulmuş olacaktır. 2014 yılında toplam kurulu güç 453 000 MW olacaktır. Bu senaryoya göre 2020 yılına geldiğinde toplam kurulu rüzgar gücü 1,2 milyon MW olacak ve yıllık üretimi 3000 TWh olarak gerçekleşecek ve dünya elektrik tüketiminin %12’si bu şekilde karşılanabilecektir. 2020 yılından sonra kurulan yeni kapasite 158 700 MW düzeyinde olup 2040 yılına gelindiğinde 3200 GW kurulu güç kapasitesine ulaşılacaktır ve dünya elektrik tüketiminin %23’nü karşılayabilecektir.¹⁵⁹

2.3.4. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji, yer kabuğunun çeşitli katmanlarında güneş sisteminin bir parçası olarak basınç altında sıkışarak birikmiş buhar, gaz, sıcak su, kızgın toprak ve kaya parçalarının sahip olduğu ısı enerjisi olarak adlandırılır. Jeotermal enerji, yenilenebilir ve temiz enerji kaynağıdır ve fosil yakıtlara alternatif enerji kaynakları arasında en önemlilerden birisi durumundadır.¹⁶⁰

¹⁵⁹ EWEA, **Wind Force 12**, s., (Çevrimiçi), http://www.ewea.org/documents/WF12_2004.eng.pdf, 10.10.2007

¹⁶⁰ Mehmet Şener, “Küreselleşme Fosil Katı Yakıtlar ve Jeotermal Enerji”, Çevrimiçi), **TMMOB Türkiye V. Enerji Sempozyumu Bildirgesi**, Ankara, s. 235, (Çevrimiçi), http://www.emo.org.tr/resimler/ekler/2b30a20abd6331_ek.pdf, 20.10.2007

Jeotermal kelimesi, Yunanca “geo” “yer” ve “therme” “ısı” kelimelerinden gelmektedir. Jeotermal enerji, yeraltı ısısı olarak da adlandırılabilir.¹⁶¹

Yerkabuğunun derinliklerinde var olan bu ısı kaynağı, henüz soğumasını tamamlamamış bir magma kütlesi veya genç bir volkanizma ile ilgilidir. Yerkabuğunun kırık ve çatlaklarından derinlere süzülen meteorik sular bu ısı kaynağıyla ısıtıldıktan ve mineralce zenginleştikten sonra yoğunluk farkı ve basınç nedeni ile yükselirler. Bu sıcak akışkan yerkabuğunun sığ derinliklerinde (1100 – 4000 m), üzerinde geçirimsiz örtü kayalar bulunan, gözenekli ve geçirimli hazne kayalarda toplanır. Hidrotermal sistem olarak bilinen bu sistemde, akışkan, kırıklar aracılığı ile yeryüzüne ulaşarak termal kaynakları oluşturur; ya da sondajlarla çıkartılarak ekonomik kullanıma dönüştürülür. Herhangi bir akışkan içermemesine rağmen bazı teknik yöntemlerle ısısından yararlanılan, yerin derinliklerindeki sıcak kuru kayalar da jeotermal enerji kaynağı olarak nitelendirilmektedir.¹⁶²

Jeotermal enerjisinin, meteorik kökenli olması, onun sürekliliği ve sonsuzluğu anlamına gelmez. Jeotermalin sürdürülebilir olması doğru işletimi ile yakından ilişkilidir. Yerkürenin yaklaşık 10 km derinliği içindeki sıcak kayaların depoladığı enerji 10^{35} Jul kadardır. Bu da teorik olarak dünya enerji gereksiniminin 100 000 yıl boyunca karşılayacak büyüklükte olduğu tahmin edilmektedir. Ancak bugünlerde bu enerjinin büyük bir kısmı ekonomik olarak kullanılır hale getirilememektedir. Gelecekteki teknolojik gelişmeler sayesinde mümkün olabileceği beklenmektedir.¹⁶³

Jeotermal enerjisinin, ilk çağlardan beri farklı amaçlarda kullanıldığı görülmektedir. MÖ. 10 000 yılında jeotermal akışkandan Akdeniz Bölgesinde çanak, çömlek, cam, tekstil, krem imalatında yararlanılıyorlardı. MÖ. 1 500 Romalılar ve Çinliler doğal jeotermal kaynakları banyo, ısınma ve pişirme amaçlı olarak kullanıyorlardı. Kaplıca geleneği 630’da Japon İmparatorluğu’nda yaygınlaşmıştır. 1200 yılında jeotermal enerji ile mekan ve su ısıtma yapılabileceği Avrupalılar tarafından

¹⁶¹ “What Does the Word “Geothermal Mean?”, (Çevrimiçi), <http://geothermal.marin.org/geoenergy.html>, 10.10.2007

¹⁶² Mary H. Dickson, Mario Fanelli, “What is Geothermal Energy?”, (Çevrimiçi), <http://iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy.php>, 10.10.2007

¹⁶³ Jefferson W. Tester vd., **a.g.e.**, s. 454

keşfedilmiştir. 1322 yılında Fransa’da başlayan doğal sıcak su ile evlerin ısıtılması, 1800 yılında yaygınlaşmıştır. 1818 yılında İtalya’da sanayici Francesco Larderel ilk defa jeotermal buhar kullanarak borik asit elde etmiştir. 1833 yılında Paolo Savi tarafından İtalya’daki Larderello Bölgesinin altındaki jeotermal rezervuarın yayılımı araştırılmıştır. 1841 yılında Larderello’da yeni teknikler kullanılarak jeotermal kuyuların açılmasına başlanmıştır. 1860 yılında Kaliforniya’da The Geysers tesisleri açıldı. 1891 yılında ABD (Boise Idaho)’da ilk jeotermal bölge ısıtma sistemi uygulaması gerçekleştirilmiştir. 1904 yılında İtalya’da Larderello’da jeotermal buhardan ilk elektrik üretimi sağlanmıştır. Bu yıldan sonra bir çok ülkede büyük ölçekli merkezi ısıtma proje çalışmaları ve jeotermal elektrik santralleri kurulmaya başlamıştır. 2000 yılında tüm dünyada jeotermalden yaklaşık 800 MW jeotermal elektrik ve 17000 MWt civarında jeotermal doğrudan kullanım gerçekleştirilmiştir.¹⁶⁴

Jeotermal enerjinin kullanımı gelişmekte olan ülkelerde yıllara göre farklı artış hızı göstermiştir. 1975 – 1979 yıllar arasındaki beş yıllık dönemde jeotermal elektrik santrallerin kurulu gücü 75 MW’ten 462 MW çıkmıştır. Takip eden diğer beş yıllık dönemin sonunda (1984) kurulu güç 1495 MW ulaşmıştır. İki dönemde jeotermal elektrik artış oranları %500 ve %223 olmuştur. 1984 – 2000 yıllarını kapsayan 16 yıllık süre içinde artış oranı %150 seviyesinde gerçekleşmiştir. Jeotermal enerji, bazı bölgelerde enerji dengesinin sağlanmasında önemli rol oynamaktadır. Örneğin, 2001 yılında Filipin’de jeotermal kaynaklardan üretilen elektrik miktarı toplam elektrik üretiminin %27’ini oluşturmuştur, Kenya’da %12,4’ünü, Kosta Rica’da 11,4’ünü ve El Salvador’da %4,3’ünü.¹⁶⁵

Jeotermal enerji bazı ülkelerin enerji dengesinin sağlanmasında önemli rol oynamaktadır. Küçük jeotermal enerji kaynakları bile pek çok yerel enerji ihtiyaçların karşılanmasında ve izole bölgelerin yaşam standartların yükseltilmesinde yararlı olmaktadır. Meksika’da dağlarda izole kalan Magarichic köyünde 1997 yılına kadar günde sadece dört saat elektrik üretimini yapan jeneratör vardı. Hükümet tarafından 300

¹⁶⁴ “Jeotermal Enerji Hep Vardı”, (Çevrimiçi), <http://www.jeotermaldernegi.org.tr>, 10.10.2007

¹⁶⁵ Mary H. Dickson, Mario Fanelli, “What is Geothermal Energy?”, (Çevrimiçi), <http://iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy.php>, 10.10.2007

kW kapasiteli ve 3000 USD/kW maliyetinde bir binari güç sistemi kurulmuştur. Kurulan jeotermal tesisin ürettiği elektrik sokakların aydınlanmasını, buzdolabı, televizyon kullanımını, küçük triko fabrikasının kurulmasını, çocukların daha çok kitap okumasını sağlamıştır.¹⁶⁶

Jeotermal enerji kullanımı iki ana grupta toplanabilir:

- Doğrudan kullanım
- Dolaylı olarak elektrik üretiminde kullanım

Sıcaklığı 200⁰C ve daha fazla olan jeotermal akışkandan elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Gelişmekte olan yeni teknolojilere göre 150⁰C ye kadar düşük sıcaklıklı sulardan da elektrik üretilebilmektedir. Ayrıca, son zamanlarda buharlaşma noktaları düşük gazlar (freon, izobütan vb.) kullanılarak 60-90⁰C sıcaklıktaki sulardan da elektrik üretiminde yararlanma çalışmaları sürdürülmektedir. Düşük sıcaklıklardaki jeotermal akışkan (30/150⁰C) doğrudan ısıtmacılıkta kullanılmaktadır. Yeni geliştirilen ısı pompaları yardımıyla suyun sıcaklığı 5⁰C'ye düşünceye kadar akışkandan yararlanabilmektedir. Binaları ve kentleri merkezi sistemle ısıtmada ve sıcak kullanma suyu olarak (İzlanda, Fransa, Japonya, A.B.D., Türkiye, Yeni Zelanda, Macaristan) 40⁰C den fazla sıcaklıktaki jeotermal akışkan kullanılmaktadır. Isıtmacılık yanında jeotermal enerjinin doğrudan kullanım alanları olarak seracılık, kimyasal madde üretimi, yiyecek kurutulması, tropikal bitki ve balık yetiştirme, yüzme havuzu, fizik tedavi merkezleri vb. alanlar sayılabilir. 2000 yılında jeotermal enerjinin doğrudan kullanım alanlarına göre oranları şöyle olmuştur: çiftçilik (tarım) %34, tedavi ve spa %29,4, bina ısıtması %18, seracılık %13,8, endüstri %4,8.¹⁶⁷

Jeotermal enerjiden elektrik enerjisi üreten üç önemli teknoloji vardır. Bunlar ***kuru buhar güç santrali, flash buhar güç santralleri, binari çevrim güç sistemleri.*** Kullanılacak teknoloji jeotermal enerji kaynağının sıcaklığına ve basıncına bağlı olmaktadır. Jeotermal enerji santrallerin çalışması, güneş, rüzgar, hidrolik santrallere

¹⁶⁶ John W. Lund, "100 Years of Geothermal Power Production", (Çevrimiçi), <http://geoheat.oit.edu/bulletin/bull25-3/art2.pdf>, 15.01.2008

¹⁶⁷ "Geothermal Energy,Clean Sustainable Energy", (Çevrimiçi), <http://www.geothermal.org/GeoEnergy.pdf>, 15.01.2008

nazaran günlük ve mevsimlik iklim değişikliklerine bağlı değildir. Jeotermal santralleri %90 verimlilik ile 24 saat çalışabilmektedir.

Kuru buhar sistemleri, jeotermal kaynağın çok sıcak buhar (200°C ve daha fazla) ve çok az su kullanımı ile elektrik üretir. Jeotermal kaynağının sahip olduğu buhar sondaj kuyusundan borular vasıtası ile direk olarak türbinlere gönderilir. Türbinlerin dönmesi jeneratörü çalıştırır. Çalışan jeneratör ile elektrik üretilir. En eski jeotermal güç teknolojisidir. İlk olarak 1904 yılında Lardarello (İtalya)'da kurulmuştur.

Flash buhar güç sistemleri, jeotermal kaynağın sıcak su (182°C ve daha fazla) kullanımı ile elektrik üretir. Akışkan, sahip olduğu basınçtan daha düşük basıncı olan bir tanka pompalanır. Basıncıdaki ani düşüş akışkanın buhara dönüşmesini sağlar. Buhar jeneratörün çalışmasını sağlayarak elektrik üretilir. Buhara dönüşmeyen sıcak su ise borular ile jeotermal kaynağa geri gönderilir.

Binari çevrim güç sistemleri, daha düşük sıcaklıktaki jeotermal kaynağın sıcak su (107°C - 182°C) ve kaynama noktası düşük olan ikinci sıvı (isobutan, isopentan) kullanımı ile elektrik üretir. Sıcak jeotermal akışkan ısı dönüştürücüsünün bir borusundan geçirilerek ikinci borudaki ikincil sıvının ısınması sağlanır. İkincil sıvının buharlaşması sayesinde jeneratör çalışır ve elektrik üretilir. Bu sistemlerin en büyük avantajı düşük sıcaklıktaki jeotermal kaynağı ile çalışabilmesidir. Diğer iki sistem çok az miktarda, genellikle fosil yakıtlardan 50 kat daha az karbondioksit, azot oksit çıkarırken, binari çevrim güç sistemi hiçbir emisyon çıkarmamaktadır. Bu nedenlerle sisteminin gelecekte en çok kullanılacak teknoloji haline geleceği tahmin edilmektedir.¹⁶⁸

Jeotermal güç sistemlerin yeni konsepti **Hot Dry Rock (HDR)**. Aynı zamanda Hot Wet Rock (HWR), Hot Fractured Rock (HFR) ve Enhanced Geothermal Systems (EGS) olarak da bilinmektedir. Sıcak kuru kayalar akışkan içermemesine rağmen, jeotermal enerji kaynağı olarak nitelendirilmektedir. HDR yönteminde; yüksek basınçla sıcak kuru kayalara su pompalanıyor ve kütlede çatlaklıklar oluşuyor. Bu çatlaklara

¹⁶⁸ Masashi Shubaki, "Geothermal Energy for Elektric Power a REPP Issue Brief", (Çevrimiçi), http://www.crest.org/articles/static/1/binaries/Geothermal_Issue_Brief.pdf, 15.01.2008

basılan su, akkor bir ocağa damlayan su gibi anında buhara dönüşüyor. Bu yolla oluşan buhar sistemdeki ikinci bir boru hattıyla yukarı çıkıyor ve santraldeki türbini harekete geçirerek elektrik üretimi sağlanıyor.¹⁶⁹

Jeotermal güç sistemlerin kurulumu pek çok aşamadan geçmekte ve uzun süreli olmaktadır. Bu aşamalar:

- Leasing ve keşif aşaması
- Proje geliştirme ve fizibilite aşaması
- Uygun sondaj bulunması ve geliştirilmesi, proje finansmanı, yapım başlama operasyon aşaması
- Ticari operasyon aşaması
- Saha ve tesis genişletme aşaması

Diğer yenilenebilir enerji yatırımlarından farklı olarak lisans ve izin alma zorluklarından dolayı bu aşamalar 10 yıl kadar sürebilmektedir. Ancak gerekli izinler alındıktan sonra endüstriyel operasyonlar üç yılda tamamlanmaktadır.¹⁷⁰

2.3.4.1. Jeotermal Enerji Maliyeti

Jeotermal enerjinin kullanılabilir olması veya ticaretleşmesi ilk yatırım maliyetine bağlı olarak gelişmektedir. Bunun yanında jeotermal kaynakların verimliliğine, santralin büyüklüğü ve tipi, piyasa koşulları gibi faktörler de dikkate alınması gereken maliyet unsuru olmaktadır. Jeotermal enerji santrallerin yüksek ilk yatırım maliyetlerini gerektirmesi fosil kaynaklar karşısında rekabet gücünü düşürürken, işletme maliyetlerin düşük olması avantaj kazandırmaktadır.¹⁷¹

Yatırım maliyeti, saha, sondaj (kuyu araştırması ve kazılması), sistem (bina, türbin) maliyetlerinden oluşmaktadır. Yatırım maliyetleri kaynağın sıcaklığına, kimyasal

¹⁶⁹ John W. Lund, “100 Years of Geothermal Power Production”, (Çevrimiçi), <http://geoheat.oit.edu/bulletin/bull25-3/art2.pdf>, 15.01.2008

¹⁷⁰ IEA, **Renewables for Power Generation**, Paris, 2003, s. 127 , (Çevrimiçi), http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/renewpower_2003.pdf, 10.10.2007

¹⁷¹ Masashi Shubaki, “Geothermal Energy for Elektric Power a REPP Issue Brief”, (Çevrimiçi), http://www.crest.org/articles/static/1/binaries/Geothermal_Issue_Brief.pdf, 15.01.2008

yapısına ve kullanılacak teknolojiye bağlıdır. ABD Enerji Bakanlığının verilerine göre yatırı maliyetleri 1500 – 3000 dolar arasında değişmektedir. Aşağıdaki tabloda kaynak tipi ve sistem büyüklüğüne göre yatırım maliyetleri verilmiştir.

Tablo – 2.30: Jeotermal Enerjisi Yatırım Maliyeti (USD/kW)

Tesis büyüklüğü	Maliyet	Yüksek verimli kaynak	Düşük verimli kaynak
1 MW – 5MW	Keşif	400 – 800	400 – 1000
	Saha	100 – 200	300 – 600
	Güç sistemi	1100 – 1300	1100 – 1400
	Toplam	1600 – 2300	1800 – 3000
5 MW – 30 MW	Keşif	250 – 400	250 – 600
	Saha	200 – 500	400 – 700
	Güç sistemi	850 – 1200	950 – 1200
	Toplam	1300 – 2100	1600 – 2500
30 MW üstü	Keşif	100 – 200	100 – 400
	Saha	300 – 450	400 – 700
	Güç sistemi	750 – 1200	850 – 1100
	Toplam	1150 – 1750	1350 – 2200

Kaynak: Masashi Shubaki, “Geothermal Energy for Elektric Power a REPP Issue Brief”, (Çevrimiçi), http://www.crest.org/articles/static/1/binaries/Geothermal_Issue_Brief.pdf, 15.01.2008

Avrupa’da maliyetler kW başına 1000 – 10000 Euro arasında değişmektedir. Sıcak kuru kaya sistemlerin (HDR) maliyeti ise 16000 – 18000 Euro arasındadır. Ancak Avrupa Komisyonunun tahminlerine göre 2010 yılında bu değerler 2000 – 3000 Euro/kW düşecektir.¹⁷²

Jeotermal enerji tesisin faaliyet ömrü 30 – 45 yıl arasındadır. Yatırım maliyetleri ilk 15 yılda kendini amorti ediyor. Kalan 15 – 30 içerisinde sadece işletim ve bakım maliyetleri olmaktadır. İşletim ve bakım (O&M) maliyeti 1,5 – 4,5 USDcent/kWh arasında değişmektedir. Jeotermal güç sistemleri zamanın %90’ında çalıştırılabilir. %90 - %98 çıkartmak mümkündür, ancak bu O&M maliyetlerini yükseltmektedir. Büyük tesisler ölçek ekonomisi gereğince daha düşük O&M maliyeti gerektirmektedir.¹⁷³ Tablo – 2.31’de O&M maliyetleri verilmiştir.

¹⁷² Deutschland, Mart 2006, “Jeotermal enerji”, s. 11

¹⁷³ IEA, **Renewables for Power Generation**, Paris, 2003, s.129 , (Çevrimiçi), http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/renewpower_2003.pdf, 10.10.2007

Tablo – 2.31: Jeotermal Güç Sistemlerin O&M Maliyetleri (USD cent/kWh)

Maliyet	1 – 5 MW santral	5 – 30MW santral	30MW üstü santral
Saha	0,35 – 0,7	0,25 – 0,35	0,5 – 0,25
Güç Sistemi	0,45 – 0,7	0,35 – 0,45	0,25 – 0,45
Toplam	0,8 – 1,4	0,6 – 0,8	0,4 – 0,7

Kaynak: Masashi Shubaki, “Geothermal Energy for Elektric Power a REPP Issue Brief”, (Çevrimiçi), http://www.crest.org/articles/static/1/binaries/Geothermal_Issue_Brief.pdf, 15.01.2008

Yatırım maliyetlerin teknolojik gelişmeler sonucu düşeceği öngörülmektedir. Kaliforniya eyaletindeki The Geysers jeotermal kaynak tesislerinde teknolojik gelişmelerin fiyat etkinliğini yarattığını görmek mümkündür. 1981 yılında yatırım maliyeti kW başına 3000 USD, O&M maliyeti 4 USDcent/kWh ve elektrik üretim maliyeti 8,5 USDcent/kWh iken 1991 yılında yatırım maliyetleri kW başına 2600 USD, O&M maliyeti 2,2 USDcent/kWh ve elektrik üretim maliyeti 5,7 USDcent/kWh olmuştur.¹⁷⁴

Elektrik üretim maliyeti, santralin faaliyet ömrü, tüm yatırım ve işletim maliyetleri gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Ancak jeotermal güç sistemlerinde elektrik üretim maliyetini etkileyen en önemli faktör kaynağın sıcaklığıdır. Kaynağa ve kullanılan sisteme göre elektrik üretim maliyetleri 1,5 – 8 USDcent/kWh arasında değişmektedir. Genellikle elektrik üretim maliyeti buhar sistemlerde 1,5 – 2,5 USDcent/kWh (The Geysers); single flash buhar sistemlerinde 2 – 4 USDcent/kWh ve binary çevrim güç sistemlerinde 3 – 5 USDcent/kWh olmaktadır. Avrupa’da geleneksel jeotermal güç sistemlerinde 0,05 – 0,09 Euro/kWh arasında değişmektedir. Sıcak Kuru Kaya sistemlerinde (HDR) ise elektrik üretim maliyeti 0,20 – 0,30 Euro/kWh arasında değişmektedir.¹⁷⁵

Binari güç sistemleri ve HDR sistemlerinde elektrik üretimi bugün itibariyle pahalıdır. Ancak küçük ölçekli ve düşük sıcaklı alanlar için binari güç sistemleri en uygun olarak görünmekte ve kullanılmaktadır. Ar-Ge çalışmalar sonucunda jeotermal enerji kaynaklarından yararlanma maliyetlerin düşeceği öngörülmektedir. Ar-Ge

¹⁷⁴ Godfrey Boyle, a.g.e., s. 376

¹⁷⁵ IEA, **Renewables for Power Generation**, Paris, 2003, s.130 , (Çevrimiçi), http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/renewpower_2003.pdf, 10.10.2007

çalışmaların devam ettiği alanlar: santrallerin verimliliğin artırılması, düşük sıcaklıktaki kaynaklardan binary çevrim ile kullanılacak ikincil akışkanlarla daha fazla verim elde edilmesi, sistemlerde otomasyon sağlanarak O&M maliyetlerin düşürülmesi, rezervuar yönetimi ile atık suların etkin şekilde değerlendirilmesi, keşfedilmiş sahaların genişletilmesi, jeotermal kaynakların araştırma yöntemlerin geliştirilmesi ve haritaların çıkartılması, yeni çevrim sistemlerin ve jeotermal kaynakların keşfi.¹⁷⁶

2.3.4.2. Dünyada Jeotermal Enerji Potansiyeli

Bugün itibariyle jeotermal enerji kaynakları 24 ülkede elektrik üretiminde ve 58 ülkede direk olarak kullanılmaktadır. Dünya jeotermal enerji potansiyeli aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo – 2.32: Dünya Jeotermal Enerji Potansiyeli, 2001

Bölge	Elektrik üretimine elverişli yüksek sıcaklıktaki kaynaklar (TWh/yıl)		Direk kullanım için düşük sıcaklıktaki kaynaklar (milyonTJ/yıl minimum)
	Geleneksel teknoloji	Geleneksel ve binari teknoloji	
Avrupa	1830	3700	>370
Asya	2970	5900	>320
Afrika	1220	2400	>240
Kuzey Amerika	1330	2700	>120
Latin Amerika	2800	5600	>240
Okyanusya	1050	2100	>110
Toplam	11200	22400	>1400

Kaynak: Mary H. Dickson, Mario Fanelli, “What is Geothermal Energy?”, (Çevrimiçi), <http://iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy.php>, 10.10.2007

Uluslararası Jeotermal Enerji Ajansı tahminlerine göre bilinen jeotermal kaynaklardan 78000 MW elektrik enerjisi üretmek mümkündür.¹⁷⁷ Eğer 2002 yılında dünya elektrik enerjisi ihtiyacı 16300 TWh olduğun dikkate alınırsa jeotermal enerji potansiyeli daha net anlaşılabilir.

Jeotermal enerji kaynaklarından elektrik üretimi 1904 yılında başlamış olup (10 kW) 2005 yılı itibariyle jeotermal enerji kurulu kapasitesi 8930 MW olup yıllık elektrik

¹⁷⁶ A.e., s. 136-137

¹⁷⁷ Jefferson W. Tester vd., a.g.e., s. 491

enerjisi üretimi 57000 GWh olmuştur. Yüz yılı aşkın bir süre zarfında jeotermal enerji kurulu kapasitesi ortalama olarak yılda %7 oranla artmıştır (İkinci Dünya Savaşı hariç). 1920'lere kadar artış oranı %8,5 iken 1970'lerde uygulanan ambargo sonrası artış oranı %14'lere çıkmıştır. Ancak petrol fiyatların stabilize edilmesi ile beraber artış oranları %8'e düşmüştür. 1990'ların başında ucuz doğal gaz ve elektrik enerjisi piyasasında başlayan liberalizasyon, kapasite artış oranlarını %3 kadar düşürmüştür. 2005 yılında çevre kirliliği ve küresel ısınma konularına ilişkin alınan kararlar doğrultusunda Kosta Rica, Fransa, İzlanda, İtalya, Kenya, Meksika, Nikaragua, Rusya ve ABD'de jeotermal enerji kurulu kapasitesi 2000 yılına göre %10 daha fazla bir oranla artış göstermiştir.¹⁷⁸ 1975 – 2005 yılları arası jeotermal enerji kurulu güç ve üretilen elektrik miktarı Tablo-2.33'de verilmiştir.

Tablo – 2.33: Jeotermal Kurulu Güç ve Elektrik Üretim Miktarı, 1975 - 2005

Yıl	Kurulu Güç (MW)	Elektrik Üretimi (GWh/yıl)
1975	1 300	veri eksik
1980	3 887	veri eksik
1985	4 764	veri eksik
1990	5 832	veri eksik
1995	6 832	38 035
2000	7 972	49 261
2005	8 933	56 786

Kaynak: **International Geothermal Development**, Ruggero Bertani, "World Geothermal Power Generation 2001 – 2005", Mayıs-Haziran 2006, s. 94, (Çevrimiçi), <http://www.geothermal.org/articles/worldpower05.pdf>, 15.01.2007

Jeotermal enerji kurulu kapasitenin %90'nı ABD, Filipinler, Meksika, İtalya, Endonezya ve Yeni Zelanda'dadır. ABD' de yaklaşık 2600 MW jeotermal elektrik enerji üreten kurulu güç bulunmaktadır. 2005 yılında jeotermal santrallerinde 17917 GWh/yıl elektrik enerjisi üretilmiştir. Utah eyaletinin elektrik enerjisi ihtiyacının %2'si, Kaliforniya eyaletinin %6'sı ve Nevada eyaletinin %10'unu jeotermal enerji kaynakları ile karşılanmıştır. ABD'de jeotermal enerji ile sağlanan elektrik enerjisi miktarı güneş ve kombine rüzgar enerji santrallerinde üretilen elektrik enerjisinden iki kat daha fazladır.¹⁷⁹

¹⁷⁸ Godfrey Boyle, a.g.e, s. 376

¹⁷⁹ "Geothermal Power Production Worldwide", (Çevrimiçi), <http://geothermal.marine.org/geoenergy.html>, 10.10.2007

Dünya’da jeotermal enerji kaynaklarından elektrik üretimi bakımından Filipinler ikinci sırada gelmektedir. Filipinler’de jeotermal enerji kaynakların kullanımı 1979 yılında başlamıştır. 2005 yılı itibariyle 1930 MW kapasitesine sahip 57 jeotermal enerji santrali bulunmakta ve toplam üretilen elektrik enerjisi 9253 GWh/yıl seviyesindedir. Meksika’da 2005 yılı itibariyle toplam kurulu güç 953 MW olup 6282 GWh/yıl elektrik üretimi sağlanmıştır. Ülke toplam enerji ihtiyacının %3’ü jeotermal enerji kaynakları ile karşılanmaktadır. Hükümet tarafında eski santralleri yenileme ve kapasite artırma çalışmaları başlatılmıştır. 2000 – 2003 yılları arasında 59 yeni sondaj yapılmıştır. 2008 yılında Los Humeros bölgesinde 50 MW’lık iki yeni sondaj yapım projeleri başlatılacaktır. İtalya’da kurulu jeotermal güç 791 MW olup 5340 elektrik enerjisi üretilmektedir. Bu miktar toplam elektrik enerjisi ihtiyacının yaklaşık %2’sini karşılamaktadır. İtalya, 2002 yılından beri bütün elektrik üreticilerinde en az %2 yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi koşulunu zorunlu tutmuştur. Endonezya yüksek jeotermal kaynak potansiyeline sahip olmasına rağmen 2000 – 2005 yılları arasında ancak %35 oranında kapasite arttırmıştır. 2005 yılı itibariyle toplam kurulu güç 797 MW ve üretilen elektrik miktarı 6085 GWh/yıl olmuştur.¹⁸⁰ Tablo-2.34’de ülkelere göre kurulu jeotermal güç, artış oranları ve üretilen elektrik miktarları verilmiştir.

¹⁸⁰ **International Geothermal Development**, Ruggero Bertani, “World Geothermal Power Generation 2001 – 2005”, Mayıs-Haziran 2006, s. 98, 102, 104, 106, (Çevrimiçi), <http://www.geothermal.org/articles/worldpower05.pdf>, 15.01.2007

Tablo – 2.34: Dünyada Kurulu Jeotermal Güç

Ülke	1995 MW	2000 MW	2005 MW	2000- 2005 Artış MW	2000- 2005 % Artış	Elektrik Üretimi GWh/yıl	Ülke elektrik enerjisi içindeki payı %
Avustralya	0,2	0,2	0,2	0	-	0,5	-
Avusturya	0	0	1,2	1,2	Yeni	3,2	-
Çin	29	29	28	-1	-	96	Tibet'in %30
Kosta Rica	55	143	163	20	%14	1 145	15
El Salvador	105	161	151	-10	-%6	967	22
Etiyopya	0	7,3	7,3	0	-	0	-
Fransa	4,2	4,2	15	10,8	%250	102	9
Almanya	0	0	0,2	0,2	Yeni	1,5	-
Guatemala	0	33	33	0	-	212	3
İzlanda	50	170	202	32	%19	14 838	17,2
Endonezya	310	589	797	208	%35	6 085	6,7
İtalya	632	785	791	6	%1	5 340	1,9
Japonya	414	547	535	-12	-%2	3 467	0,3
Kenya	45	45	129	84	%186	1 088	19,2
Meksika	753	755	953	198	%26	6 282	3,1
Y. Zelanda	286	437	435	-2	-	2 774	7,1
Nikaragua	70	70	77	7	%11	271	9,8
P.Y. Gine	0	0	6	6	yeni	17	-
Filipinler	1 227	1 909	1 930	21	%1	9 253	19,1
Portekiz	5	16	16	0	-	90	-
Rusya	11	23	79	56	%243	85	-
Tayland	0,3	0,3	0,3	0	-	1,8	-
Türkiye	20	20	20	0	-	105	-
ABD	2 817	2 228	2 564	336	%15	17 917	0,5
Toplam	6 833	7 972	8 933	961	%13	56 786	

Kaynak: **International Geothermal Development**, Ruggero Bertani, "World Geothermal Power Generation 2001 – 2005", Mayıs-Haziran 2006, s. 91, (Çevrimiçi),
<http://www.geothermal.org/articles/worldpower05.pdf>, 15.01.2007

ABD Jeotermal Enerji Birliği yaptığı tahminlere göre gelecek 30 yılda kurulu jeotermal güç kapasitesi Kuzey Amerika'da 22 GW, Batı Afrika'da 10 GW, Endonezya'da 16 GW, Filipinler'de 23 GW seviyesine çıkacaktır. Dünya kurulu kapasite ise şimdiki seviyeden on kat daha fazla olup 85 GW olacaktır.¹⁸¹

Jeotermal enerji kaynakların direk kullanımı 72 ülkede olmaktadır. 2005 yılı itibariyle toplam kurulu güç 28 GWt olup 273 PJ/yıl (PJ=10¹⁵) kullanılabilir termal enerji üretilmiştir. 2000 – 2005 yılları arasında direk kullanılan jeotermal enerji kurulu

¹⁸¹ IEA, **Renewables for Power Generation**, Paris, 2003, s.139, (Çevrimiçi),
http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/renewpower_2003.pdf, 10.10.2007

gücü yılda ortalama %2 oranında artırılarak enerji üretimi %43 oranında yükseltilmiştir. Kullanılan sıcak jeotermal kaynakların %70'i yüzeye yakın kaynaklardır. 2005 yılında direk jeotermal enerji kullanımında lider ülkeler Çin, İsveç, ABD, Türkiye, İzlanda ve Japonya olmuştur. Çin'de kurulu kapasite 3,7 GWt olup 45 PJ/yıl enerji üretilmiştir. Japonya'da ise kurulu kapasite 0,8 GWt olup 10 PJ/yıl enerji üretilmiştir. İzlanda ısınma ihtiyacının %87'ni jeotermal enerji kaynakları ile karşılamaktadır.¹⁸² Türkiye'de 51600 konut eşdeğerine 820 MWt ısı üretilmekte. Türkiye'nin muhtemel ısı potansiyeli ise 31 500 MWt, bunun karşılığı 5 milyon konut ısıtmasını oluşturmaktadır.¹⁸³

Dünyada kurulu jeotermal ısı kapasitesi, kurulu güneş ısı kapasitenin üçte birini oluşturmalarına rağmen üretilen ısı miktarı hemen hemen aynıdır. Bunun sebebi jeotermal enerji güneş ısısından dört kat daha fazla ısı üretmektedir; 1 MW güneş enerjisinden 0,5 - 0,7 GWh/yıl ısı, 1 MW jeotermal enerjiden 2,5 GWh/yıl ısı üretilmektedir. Ancak jeotermal ısı üretimi çok düşük seviyededir ve dünya ısı üretiminin sadece %0,4'ü oluşturmaktadır. Direkt jeotermal ısısının kullanımına ilişkin gelişmeler yeni programın desteklenmesi, yasal düzenlemelerin hazırlanması, ülkeler arasında networkun sağlanması gibi yönlerde devam etmektedir.¹⁸⁴

¹⁸² IEA, "Renewables for Heating and Cooling 2007", (Çevrimiçi),

<http://www.iea.org/textbase/papers/2006/renewable-heating-cooling.pdf>, s. 35

¹⁸³ Mehmet Demirtola, "Türkiye'de Rüzgar ve Jeotermal Enerjisi", **Ulusal Enerji Forumu "Türkiye'nin Yeni Enerji Stratejileri**, Kasım 2001, Bildiriler Kitabı, s. 106

¹⁸⁴ IEA, "Renewables for Heating and Cooling 2007", (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/papers/2006/renewable-heating-cooling.pdf>, s. 192

Tablo – 2.35: Dünyada Jeotermal Enerji Kaynakların Direk Kullanımı, 2000

Bölge/Ülke	Güç (MW)	Enerji (TJ/yıl)	Bölge/Ülke	Güç (MW)	Enerji (TJ/yıl)
OECD Kuzey Amerika			Afrika		
Kanada	377,6	1 023	Cezayir	100	1 586
ABD	4 350	22 250	Mısır	1	15
Meksika	164,2	3 919	Ürdün	153,3	1 540
Latin Amerika			Kenya	1,3	10
Arjantin	100	1586	Tunus	23,1	201
Çili	0,4	7	Orta Doğu		
Kolombiya	13,3	266	İsrail	63,3	1 713
Guatemala	4,2	117	Yemen	1	15
Honduras	0,7	17	Asya		
Peru	2,4	49	Çin	2 282	37 908
Venezüella	0,7	14	Hindistan	80	2 517
OECD Avrupa			Endonezya	2,3	43
Avusturya	255,3	1 609	Kore	35,8	753
Belçika	3,9	107	Nepal	1,1	22
Çek Cumhuriyeti	12,5	128	Filipinler	1	25
Danimarka	7,4	75	Tayland	0,7	15
Finlandiya	80,5	484	Transit Ekonomiler		
Fransa	326	4 895	Ermenistan	1	15
Almanya	397	1 568	Hırvatistan	113,9	555
Yunanistan	57,1	385	Gürcistan	250	6 307
Macaristan	472,7	4 086	Litvanya	21	599
İzlanda	1 469	20 170	Makedonya	81,2	510
İtalya	325,8	3 774	Romanya	152,4	2 871
Hollanda	10,8	57	Rusya	308,2	6 144
Norveç	6	32	Sırbistan	80	2 375
Polonya	68,5	275	Slovenya	42	705
Portekiz	5,5	35	OECD Pasifik		
Slovakya	132,3	2 118	Japonya	1 167	26 933
İsveç	377	4 128	Y. Zelanda	307,9	7 081
İsviçre	547,3	2 386			
Türkiye	820	15 726			
İngiltere	2,9	21			
Toplam Dünya			15 729		192 647

Kaynak: Mary H. Dickson, Mario Fanelli, "What is Geothermal Energy?", (Çevrimiçi), <http://iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy.php>, 10.10.2007

Jeotermal güç endüstrisi beş büyük şirkete aittir. Bunların üçü Japon şirketi, biri İtalyan şirketi ve diğeri İsrail-Amerikan şirkettir. Japon şirketleri ile İtalyan şirketi karşılaştırılabilir pazar paylarına sahiptir. 2000 yılı için jeotermal güç santrallerini kurmada şirketlerin pazar pay dağılımları şöyledir: Toshiba %22, Mitsubishi %19, Fuji %19, Ansaldo %21, Ormat %8 ve diğer şirketler %11.

Yeraltı mühendislik çalışmalarında (jeotermal kaynakların bulunması, araştırılması vb.) ABD, Japonya, Filipinler, Meksika, İtalya, Yeni Zelanda, Fransa gibi ülkeler başarılı olmuştur. Jeotermal elektrik enerjisi sektör büyüklüğü 1999 yılı itibariyle 16000 milyon Euro olmuştur. İstihdam edilen kişi sayısı da 40000 – 45000 arasında olmuştur.¹⁸⁵

2.3.5 Biokütle Enerjisi

Biokütle enerjisi, temel maddesi karbonhidrat olan bitkisel ve hayvansal kökenli doğal maddelerin içerdiği enerjidir. Fosil olmayan bu maddeler teknolojik olarak geliştirilen tesislerde gerekli dönüşümlerden geçilerek biokütle enerjisi elde edilir.¹⁸⁶

Biokütle enerji kaynağı olarak, odun (enerji ormanları, ağaç artıkları), yağlı tohum bitkileri (ayçiçeği, koza, soya vb.), karbonhidrat bitkileri (patates, mısır, pancar vb.), elyaf bitkileri (keten, kenef, kenevir vb.), bitkisel atıklar (dal, sap, kabuk vb.), hayvansal atıklar (gübre), endüstriyel atıklar değerlendirilmektedir. Biokütle yenilenebilir olması, her yerde yetiştirilebilmesi (bitki ve orman), kırsal bölgelerde sosyo-ekonomik gelişme sağlamasına yardımcı olması, çevre kirliliği oluşturmaması, elektrik üretilmesi ve taşıtlar için yakıt elde edilebilmesi için uygun olması nedeni ile önemli bir enerji kaynağı olmaktadır. Petrol, kömür, doğal gaz gibi tükenmekte olan enerji kaynakların kısıtlı olması, ayrıca bunların çevre kirliliği oluşturmaması, biokütle kullanımı enerji sorununu çözmek için giderek önem kazanmaktadır.¹⁸⁷

Biokütle enerjinin temelinde fotosentez yoluyla kazanılan enerji yatmaktadır. Fotosentez ile enerji içeriği yaklaşık olarak 3,10 J/yıl olan organik madde oluşmaktadır. Bu değer dünya enerji tüketiminin 10 katı enerjiye karşılık gelmektedir. Bitkisel ve canlı

¹⁸⁵ IEA, **Renewables for Power Generation**, Paris, 2003, s.131 , (Çevrimiçi), http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/renewpower_2003.pdf, 10.10.2007

¹⁸⁶ Godfrey Boyle, **a.g.e.**, s. 106

¹⁸⁷ Jefferson W. Tester vd., **a.g.e.**, s. 305

organizmaların kökeni olarak ortaya çıkan biokütlenin ölçü birimi ise, belli bir alana oranlanmış yaş ya da kuru kütledir (kg/ha).¹⁸⁸

Biokütle ısı sağlamak, yakıt üretmek ve elektrik üretmek için kullanılmaktadır. İlk kullanılan biokütle enerjisi kaynağı odun, tezek eskiden beri ısı sağlamada veya yemek pişirmede kullanılmaktadır. 19.y.y. ortalarında odun, ABD enerji ihtiyacının %90'nı karşılamaktaydı. Halen kırsal bölgelerde ve özellikle gelişmekte olan ülkelerde geleneksel biokütle kaynağı olan odun ve tezek önemli enerji kaynağı olmaktadır. Latin Amerika'da enerji ihtiyacının ortalama %10'u, Asya'da %7'i, Afrika'da yaklaşık olarak %40'ı odun ile karşılanmaktadır. Geleneksel biokütle, emek yoğun enerji kaynağıdır. Azgelişmiş ülkelerde çok kullanılan biokütle enerjisi, bu ülkelerdeki istihdamın yaklaşık olarak %40'nı teşkil etmektedir. Ormanları bol olan gelişmiş ülkeler için de önemli bir kaynaktır. İsveç'te %8, Kanada'da %14 oranında toplam enerjiye katılım vardır.¹⁸⁹

Biokütlenin yakıt olarak kullanımı daha araba sanayisinin ilk dönemlerinde başlamıştır. Alman asıllı dizel motorlarını icat eden Rudolf Diesel, motoru fındık yağı ile çalıştırmaya denemiştir. Henry Ford, 1903-1926 yılları arasında Ford Model T arabasını dizayn etmiştir ve sadece etanol ile çalıştırmayı başarmıştır. Ancak o dönemde petrol fiyatların düşük olması nedeni ile benzin ile çalışan arabalar üretilmiştir.¹⁹⁰

Biokütle kaynakların elektrik enerjisi üretiminde kullanımı ise gelişen teknoloji ve artan enerji ihtiyacı doğrultusunda 1970'lerden sonra başlamıştır. Biokütle enerjisinin ticaretleştirilmesini, petrol şoku sonrası devletlerin yenilenebilir enerji kaynaklarına önemli destek ve sübvansiyon uygulamaları sağlamıştır. ABD'de biokütle enerjisinin kullanımı 1970'lerin sonunda 850000 varil eşdeğer petrol/gün (boe/day) seviyesine

¹⁸⁸ Semra Türe, Sibel Özdoğan, Ömer Saygın, "Biyokütleden Enerji Üretimi", Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, **Türkiye 6. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliği**, Ankara, Ajans-Türk Matbaacılık Sanayi A.Ş., 1994, s. 146

¹⁸⁹ "Biomass", (Çevrimiçi), <http://www.german-renewable-energy.com/Renewables/Navigation/Englisch/biomass.html>, 10.10.2007

¹⁹⁰ Earth Policy Institute, Danielle Murray, "Ethanol Potential: Looking Beyond Corn", 29 Haziran 2005, (Çevrimiçi), <http://www.earth-policy.org/Updates/2005/Update49.htm>, 10.10.2007

çıkıştır, bu da enerji ihtiyacının %2'sinden fazlasına tekabül etmekteydi. 2000 yılı itibariyle bu oran %3,4 olmuştur.¹⁹¹

Biokütle kaynakları, modern ve klasik biokütle kaynakları olarak iki gruba ayrılabilir. Ağaç kesiminde elde edilen odun ve hayvan atıklarından oluşan tezeğin basit bir şekilde yakılması klasik biokütle enerjisi olarak tanımlanırken, enerji bitkileri, enerji ormanları, ağaç endüstrisi atıkları, tarım kesiminin bitkisel ve hayvansal atıkları ve kentsel atıklardan elde edilen bio-dizel, etanol gibi çeşitli yakıtlar, modern biokütle enerjisinin kaynakları olarak tanımlanır.

Biokütleden enerji üretilmesi için kaynaklar çeşitli teknolojiler ile işlenerek katı, sıvı, gaz yakıtlara çevrilir. Biokütleyi enerjiye dönüştürmek için termokimyasal ve biyokimyasal yöntemler kullanılmaktadır. Termokimyasal yöntemle biokütle kaynaklarından elde edilen gaz ve buhardan ısı ve elektrik üretilmektedir. Biyokimyasal yöntemler sonunda biomotorin, bioetanol, biyogaz gibi ana ürün olan yakıtların yanı sıra, gübre, hidrojen, metan gibi yan ürünler de elde edilmektedir. Biokütle çevrim teknikleri:

— *Termokimyasal çevrim teknikleri*: Doğrudan Yakma, Piroliz, Gazlaştırma

— *Biyokimyasal çevrim teknikleri*: Fermantasyon, Havasız Çürütme, Biofotoliz, Esterleşme Reaksiyonu.¹⁹²

Biokütle kaynakları kullanan çevrim teknikleri, bu tekniklerle elde edilen yakıtlar ve uygulama alanları aşağıda özetlenmiştir.¹⁹³

Biokütle	Çevrim Yöntemi	Yakıtlar	Uygulama Alanları
• Orman artıkları	Havasız çürütme	Biyogaz	Elektrik üretimi, ısınma
• Tarım artıkları	Piroliz	Etanol	Isınma, ulaşım araçları
• Enerji bitkileri	Doğrudan yakma	Hidrojen	Isınma
• Hayvansal atıklar	Fermantasyon, havasız çürütme	Metan	Ulaşım araçları, ısınma

¹⁹¹ Donald L. Klas, "Biomass for Renewable Energy and Fuels", (Çevrimiçi), <http://www.beral.org/cyclopediaofEnergy.pdf>, 10.10.2007

¹⁹² Godfrey Boyle, a.g.e, s. 127

¹⁹³ "Biokütle Enerjisi", (Çevrimiçi), <http://www.youthforhab.org.tr/tr/yayinlar/enerji/biyokutle/giris.html>, 10.10.2007

• Çöpler(organik)	Gazlaştırma	Metanol	Uçaklar
• Algler	Hidroliz	Sentetik yağ	Roketler
• Enerji ormanları	Biofotoliz	Motorin	Ürün kurutma
• Bitkisel ve hayvansal yağlar	Esterleşme reaksiyonu	Motorin	Ulaşım araçları, ısınma, seracılık

Dünyada biokütleden elde edilecek yıllık enerji, 1120000 MW'ı samandan, 500000 MW'ı hayvan atıklarından, 1360000 MW'ı orman atıklarından, 2400000 MW'ı çöplerden ve 17700000 şeker kamışı, odunsu bitkiler gibi enerji tarlalarından olmak üzere yaklaşık olarak toplam 23100000 MW gibi büyük bir potansiyele sahiptir. Biokütle elde etmek için harcanan enerji ve %20 dolayında bir çevrim göz önüne alındığında, yılda net 3000 MW gibi bir enerji elde edilebileceği görülmektedir. Orta verimdeki bir arazi parçası üzerinde yapılan hesaplara göre 1 hektar tarladan yılda ortalama 80-100 ton yağ veya 25 - 30 ton biokütle elde edilmektedir. Böyle bir bölge için yıllık ortalama yağış tutarı 250 mm dolayındadır. İklim koşulları açısından daha uygun olan yarı-tropik bölgelerde ise verim hektar başına 40 ton biokütle düzeyine çıkabilmektedir. Bu potansiyelin yanında biokütlenin, ekonomik, bölgesel, çevre dostu oluşu, biokütle enerjisi ilgi hızla artmaktadır. Biokütle enerjisi kullanımı konusunda dünyada önemli çalışmalar yapıldığı gibi teknolojik olarak en gelişmiş çalışmalar Avrupa'da yapılmaktadır. Özellikle metropol kentlerde çöp atıkların enerjiye dönüştürme çalışmaları yapılmaktadır. Şebeke bağlantılı çalışan çöp termik santraller ile elektrik üretimi sağlanabilmektedir. Ayrıca biokütle enerjisi, karbondioksit salınımını azaltmaya yönelik çalışmalarda en iyi seçenek olarak ortaya çıkmıştır.¹⁹⁴

2.3.5.1. Biokütle Yetiştiriciliği

Biokütle enerjisinin gelecekte önemli enerji kaynağı olmasına ilişkin artan ilgi doğrultusunda birçok ülke, modern biokütle kaynakları olarak tanımlanan (biyogaz, bioetanol, biomotorin) kaynaklar elde etmek için “biokütle yetiştiriciliğe”

¹⁹⁴ IEA, **Guidelines for the Economic Analysis of Renewable Energy Technology Applications**, Kanada, 1991, s.33

başlamışlardır. Biokütle yetiştiriciliğin amacı “enerji ormancılığı” ve “enerji tarımı” ile modern biokütle yakıt hammaddesini elde etmektir.¹⁹⁵

Enerji Ormancılığı

Var olan ormanların kesilerek odun olarak kullanması yerine söğüt, kara kavak, okaliptüs, kavak ve yarı kurak alan bitkisi olarak da cynara gibi bazı hızlı büyüyen ağaçlar enerji amacıyla yetiştirilmektedir. Bu ağaçlar oldukça değişik iklim ve toprak koşullarında yetişebildiği gibi büyüme hızları da diğer ağaçlara göre 10–20 kat arasında değişmektedir. Günümüzde bioteknolojik yöntemlerle enerji ağaçlarının büyüme hızları daha da artırılabilir. Bu ağaçlar genelde her 5 yılda bir budanarak yeniden büyümeleri sağlanır ve hasat edilen dallar biokütle kaynağı olarak kullanılır. Enerji ormanlarından elde edilen ortalama yıllık verim, hektardan 22 ton dolayında biokütle olmaktadır.¹⁹⁶

Büyük ölçekte kısa süreli enerji ormanların yetiştirilmesi gelişmiş ekme-biçme teknolojiler ile mümkündür. Bu aynı zamanda üretilen net enerjinin hesaplanmasını, kar analizlerin yapılmasını gerektirir. Yapılan girdi-çıktı analizlerine göre bu oran 1:10 olmaktadır. Plantasyon ile tüketim yerin arasında mesafenin kısaltılması taşıma maliyetlerini düşürebilir.¹⁹⁷

Avrupa’da kısa dönemli enerji ormanlara olan ilgi gittikçe artmaktadır. Biokütle oluşumun temelinde fotosentez yatmaktadır, bu esasa bağlı olarak farklı verim artırma çalışmaları yürütülmektedir. Verim artırma çalışmaların sonucunda gelecekte yılda hektar başına 30 ton biokütle elde edilebilecektir. Yüksek verim, özel yetiştirme koşullarına bağlıdır. Bunlar su miktarın ayarlanması, iklimin en elverişli zamanın hesaplanması gibi koşullardır. Yapılan hesaplar 1 milyon hektar üzerine kurulacak enerji ormanlarından yılda yaklaşık 7 milyon ton biokütle enerji kaynağı elde edilebileceğini göstermektedir. Bu miktar yaklaşık 30 milyon varıl ham petrole eş değerdir.

¹⁹⁵ Figen Ar, Funda Akdağ, Yüksel Malkoç, Mustafa Çalışkan, “Biokütle Enerjisi ve Biomotorin”, (Çevrimiçi), **TMMOB Türkiye III. Enerji Sempozyumu Bildirgesi**, Ankara, s. 59, (Çevrimiçi), http://www.emo.org.tr/resimler/ekler/12e9d677c_ek.pdf, 20.10.2007

¹⁹⁶ “Biokütle Enerjisi”, (Çevrimiçi), <http://www.youthforhab.org.tr/tr/yayinlar/enerji/bi-yokutle/giris.html>, 10.10.2007

¹⁹⁷ Gustav Siren, “Premises of Energy Forestry in Sweden”, (Çevrimiçi), http://www.rr.ualberta.ca/What's%20Happening/FILS/Publications/FILS_3.pdf, 10.10.2007

Odunun yakılmasıyla elde edilen enerji miktarı odunun elde edildiği ağaç ya da ağaççığın türü ile ağacın hangi organından sağlandığına göre değişmektedir. Yapılan araştırmalara göre; selülozun ısı değerinin 3 bin 450 kcal/Kg; ligninin ısı değeri ise 6 bin kcal/Kg olduğu bilinmektedir. Ayrıca yakılmaları sırasında, geniş yapraklı (kışın yaprağını döken) ağaç ve ağaççık türleri 4 bin 300 kcal/ Kg ve ibre yapraklı ağaç ve ağaççık türlerinin de 4 bin 600 kcal/Kg ısı vermektedir. Buna göre odunun yapısındaki nem düzeyi ne denli yüksek ise, yanma sırasında ortaya çıkan ısının bir kısmının bu nemin buharlaşmasına harcanacak ve görece olarak daha düşük nem düzeyine sahip odundan daha az ısı elde edilecektir. Yapılan araştırmalara göre yılda 13 m³ artımı olan 96 bin hektar genişliğinde bir ibreli ağaç plantasyonundan 400 MW'lık bir enerji üretim tesisi çalıştırılabilecektir.¹⁹⁸

Bazı ülkelerde enerji ormancılığı ile ilgili yapılan uygulamalarda büyük gelişmeler elde edilmiştir. İtalya'nın SAF (Societa Agricolee' Forestale) örgütüne bağlı çiftliklerin bir bölümünde bina ve seraların ısıtılmasında tümüyle odun ve kozalak yakılarak elde edilen buhar ve elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Filipinlerde 1982 yılında 12 bin hektarlık bir alanda kurulan Leucaena leucephala plantasyonu elektrik enerjisi üretiminde, 5 bin hektarlık bir plantasyonu ise çelik fabrikasının enerji girdisinin karşılanmasında kullanılmaktadır. Avustralya'da, günlük üretim kapasitesi 4 bin ton olan bir tesisin enerji gereksinmesi, 10 yıl idare süresiyle işletilen ve yıllık verimi hektarda 24 metre küp olan 740 bin hektar genişliğindeki okalıptüs ormanı (Eucalyptus globulus) işletilmektedir.¹⁹⁹

Kanada ve İsveç, ülkelerinin petrol nedeni ile dışa bağımlılıklarını azaltabilmek için dünyada enerji ormancılığı konusunda uygulanan en büyük iki projeyi yürütmektedirler. Kanada 1975 yılında başlattığı ENFOR (Energy From The Forest) projesi ile orta ve uzun dönem sonunda enerji ormancılığının ülkenin birincil enerji

¹⁹⁸ B. Kavalov, S. D. Peteves, "Status and Perspectives of Biomass-to-Liquid Fuels in the EU", EU Commission Joint Reserch Center, Hollanda, (Çevrimiçi), http://www.senternovem.nl/mmfiles/Status_perspectives_biofuels_EU_2005_tcm24-152475.pdf, 10.10.2007

¹⁹⁹ Yücel Çağlar, "Evdeki Bulgurdan Olmamak için Enerji Ormancılığı", (Çevrimiçi), http://www.emo.org.tr/resimler/ekler/ab06363eea311a0_ek.pdf?dergi, 10.10.2007

kaynağı olmasını amaçlamıştır. İsveç petrol fiyatlarının aşırı ölçüde arttığı 1970'li yıllarda gerekli petrolün karşılanmasında ciddi zorluklarla karşılaşmıştır. İsveç bu yıllarda ithal ettiği petrolün %70'inden fazlasını enerji kullanımında harcamıştır. Petrol borcu konusunda önemli ekonomik sorunların çıkması, hükümetin 1975 yılında 'R+D' Enerji programını yürürlüğe koymasına neden olmuştur. Kısa süreli ormancılığın bir enerji kaynağı olarak uygulanması için 1976 yılında Enerji Ormancılığı Projesi (EFP)'nin parasal olarak desteklenmesine karar vermiştir.

İsveç'te enerji ormancılığı işletmesine uygun toplam alan potansiyeli 1996 yılında 4 milyon hektar büyüklüğünde olup mevcut enerji ormanlarından sağlanan odun materyalinin ısı tesislerinde yakılarak elektrik enerjisine dönüştürülmesi ile ülkenin enerji gereksiniminin yaklaşık %15 karşılanmaktaydı. Uluslararası Enerji Birliğinin Ormancılık Enerji Kurumu (IEA/FE) enerji için odun üretimi konusunda on ülke arasında (Avusturya, Belçika, Kanada, Danimarka, Finlandiya, İrlanda, Yeni Zelanda, Norveç, İsveç ve ABD) bilgi değişimini ve geliştirilmesini sağlar. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) Uluslararası Ormancılık Araştırma Kurumları Birliği (IUFRO) ve Avrupa Ekonomik Topluluğu (EEC)'da bu konuda aktif kuruluşlardır. Biokütle Enerji Müdürlüğü on dört ülke arasında kısa idare süreli plantasyonlar konusunda elli beş proje oluşturmuştur.²⁰⁰

Enerji ormancılığı Amerika'da da önemli bir potansiyeline sahiptir. Kavak, kızılğaç ve akağaç türleri ile bir çok başarılı program gerçekleştirmiştir. 2000 yılında odundan üretilen enerji miktarı 2,737 EJ/yıl ve günlük 1270100 varil eşdeğer petrol/gün olmaktaydı.²⁰¹

²⁰⁰ Nedim Saraçoğlu, "Enerji Ormancılığı Projelerinin Türkiye'nin Enerji Potansiyeline Katkı Olanakları", **Türkiye I. Enerji Sempozyumu : Bildiriler Kitabı** , 1. bs., Ankara, Emo Yayınları, 1996, s. 312, (Çevrimiçi), http://www.emo.org.tr/resimler/ekler/ac462c3beb1a7bb_ek.pdf, 20.10.2007

²⁰¹ Donald L. Klas, "Biomass for Renewable Energy and Fuels", (Çevrimiçi), <http://www.bera1.org/cyclopediaofEnergy.pdf>, 10.10.2007

Enerji Tarımı

Son yıllarda, yüksek büyüme hızlarına sahip ve oldukça verimsiz topraklarda bile yetişebilen enerji bitkileri üzerine yapılan çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bu bitkilerle, günümüzde enerji tarımı olarak da tanımlanabilen yeni bir tarım türü geliştirilmiştir. Bu tarımda kullanılan bitkilerin bazılarının tohumları artık genetik mühendisliği yardımıyla geliştirilmektedir.

Bu bitkiler arasında şeker kamışı, mısır, şeker pancarı, miscanthus, sorgum gibi bitkiler bulunmaktadır. Bu bitkilerin özellikleri C₄ tipi bitki gurubu olarak adlandırılmaktadır. C₄ bitkilerinin genel özellikleri aşağıdaki şekilde verilebilir.

- Düşük karbondioksit ortamda da varlıkları gösterirler,
- Yüksek sıcaklığa gereksinim duyarlar,
- Daha düşük oranda suya gereksinim duyarlar,
- Mevsimsel kuraklığa dayanıklıdır,
- Başlangıçta 4 karbon atomu içeren organik molekülleri bağlarlar,
- Işık şiddetini kullanma yetenekleri yüksektir. ²⁰²

C₄ bitkileri, çok sayıda enerji ürünleri için ana ham maddedir. Enerji bitkileri farklı endüstri dallarında kullanımından dolayı endüstri ülkelerinin çok ilgisini çekmektedir. Bu enerji ürünleri arasında etanol, pirolitik yağ, kalitesi artırılmış yakıtlar, mangal, sentetik gaz, bitkinin su ve şekeri alınmış posa kısmından elde edilen selülozik maddeler sayılabilir. Biokütle ve türevi yakıtlardan enerji sağlanmasından önemli bir uygulama şekli de elektrik üretmektir. Biokütle yakılarak elde edilen elektrik üretimi maliyeti, C₄ bitkileri ekiminden alınacak yüksek verim ile büyük miktarda azaltılabilir.

Avrupa ülkelerinde enerji bitkilerin yetiştirilmesi daha deneme aşamasındadır, Danimarka hariç. Avrupa’da üretilen biyoenerjinin %80’i odun ve odun atıklarından, %13’ü endüstri ve şehir atıklarından, %7’i ise bitki ve diğer kaynaklardan üretilmektedir. Enerji bitkilerin enerji potansiyeli umut vericidir. Enerji üretimi için oldukça düşük maliyet gerektiren tarım atıkları (saman) ile karşılaştırılabilmektedir.

²⁰² “Biokütle Enerjisi”, (Çevrimiçi), <http://www.youthforhab.org.tr/tr/yayinlar/enerji/biyokutle/giris.html>, 10.10.2007

Taşıması ve işletilmesi odun biokütleden daha kolaydır. Avrupa’da en çok ekilen enerji bitkisi miscanthus, ortalama 15 yıl üretim yapabilir ve yılda 15 ton/ha verim elde edilebilmektedir. Miscanthusun tek dezavantajı, köklerin uzun olması tarlaların tekrar kullanımını zorlaştırmasıdır.²⁰³

2.3.5.2. Biokütleden Elektrik Enerjisi Üretimi

Hidroelektrikten sonra yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde dünya genelinde elektrik enerjisi üretiminde kullanılan ikinci kaynak biokütle enerjisidir. Biokütle enerji kaynaklarından özellikle çöp ve atıklar elektrik enerji üretimi için birincil kaynak oluştururken, yağlı tohum bitkileri ve şeker-zengin bitkiler biyoyakıt üretiminde kullanılmaktadır.

Biokütleden elektrik enerji üretiminde en çok kullanılan çevrim teknolojisi *doğrudan yakma teknolojisi* (CHP- combined heat and power). Biokütlenin yakılmasında oluşan ısı/buhar doğrudan pişirmede, bina ısıtılmasında, endüstride kullanılabilir veya dolaylı olarak buhar jeneratörlerinde elektrik enerjisi üretiminde kullanılabilir. Sistemin verimliliği buharın sıcaklığı ile basıncına bağlıdır. Buhar basıncın ve sıcaklığın yüksek olması verimi artırır. Ancak CHP sistemleri kapasitesi (1 – 100 MW) co-fired (kömür ile beraber çalışan 100 – 1500 MW) sistemlerden 10 kat daha küçüktür. Yüksek kaliteli biokütle (odun) ile çalışan modern CHP sistemleri elektrik enerjisi verimliliği maksimum 540°C buhar sıcaklığında ortalama %33 olmaktadır. Sadece elektrik üretimi için kullanımında ise verimlilik %40’ların üstüne çıkabilmektedir. Yeni üretilen ve şehir atıkları (MSW municipal solid waste) ile çalışan sistemlerin elektrik enerjisi verimliliği %28 - %30 ve sıcaklık verimliliği %85 - %90 olmaktadır. MSW sistemlerin bir ton çöpten 600 kWh elektrik enerjisi üretebilirler ve 220 – 240 kg CO₂ çıkarmaktadır. Ancak çıkarılan CO₂ miktarı kömür ile çalışan

²⁰³ B. Kavalov, S. D. Peteves, “Status and Perspectives of Biomass-to-Liquid Fuels in the EU”, EU Commission Joint Reserch Center, Hollanda, (Çevrimiçi), http://www.senternovem.nl/mmfiles/Status_perspectives_biofuels_EU_2005_tcm24-152475.pdf, 10.10.2007

sistemlerden 725 – 1520 kg CO₂ /ton daha azdır. CHP sistemlerinde bu miktar daha da azdır.

Co-fired sistemleri kömür yanında %5 - %10 biokütle ile çalışan sistemlerdir. Farklı biokütle kaynakları ile çalışan 150 yakın co-fired teknolojisi kurulmuştur (Kuzey Avrupa, ABD, Avustralya). Ucuz yerel biokütle kullanımı ile ilk yatırım maliyetlerin geri dönmesi kısa sürede (2 sene) olmaktadır.

Elektrik üretiminde kullanılan diğer sistemler **gazlaştırma, piroliz, havasız çürütmedir**. Bu sistemlerde biokütleden elde edilen gaz türbinlerden geçirilerek jeneratörün çalışması sağlanır ve elektrik enerjisi üretilir. Bu sistemler küçük kapasiteli olup (10 kW – 10 MW) daha çok şebeke dışı elektrik üretmektedir. Biokütle entegre gazlaştırma gaz türbinleri (BIG/GT) şimdilik ticarete konu olmamakta, ancak gelecekte kullanımı artacağı beklenmektedir. İlk %100 biokütle (saman) ile çalışan entegre gazlaştırma kombine çevrim sistemi (IGCC) başarılı şekilde İsveç'te işletilmeye başlamıştır. IGCC sistemleri, kaynak olarak kağıt endüstrisi atıklarını kullanması, CHP sistemleri ile rekabet edecek durumu gelmektedir.²⁰⁴

Biokütle enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretim maliyeti kullanılan teknoloji tipine ve büyüklüğüne, biokütle kaynakların kalitesine ve sağlanmasına bağlı olarak değişmektedir.

Yatırım maliyeti 300 USD/kW'dan (co-firing sistemlerde) 7000 USD/kW'a çıkabilmektedir. Yatırım maliyetleri kurutma tesisleri, stok alanları gibi ek maliyetler nedeni ile artmaktadır. Avrupa'da co-fired sistemi için yatırım maliyeti 500 – 1000 USD/Kw olarak hesaplanmıştır. ABD'de Biopower programın raporuna göre yatırım maliyetleri daha da düşük seviyede (100 – 250 USD/kW). Büyük ölçekli sistemler uzak yerlerden biokütle taşınmasını gerektirirken, küçük ölçekli sistemler ise kW başına daha yüksek yatırım maliyetini gerektirir. Ortalama olarak 1 kW kapasiteli biogüç sistemi yılda 5 400 kWh/yıl elektrik üretir.

²⁰⁴ IEA, **Energy Technology Essentials**, "Biomass for Power Generation and CHP", Ocak 2007, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/techno/essentials31.pdf>, 10.10.2007

Biokütle kaynakların fiyatı kaynak tipine ve kullanım yerine kadar taşıma maliyetine bağlı olmaktadır. Yerel biokütle kullanımı yüksek taşıma masraflarından kurtarmaktadır. Odun (bulky), atıklardan daha pahalı bir biokütle kaynağıdır. Ancak MSW (Municipal Solid Waste) sistemlerde atıkların dönüştürme masrafları söz konusu olabilmektedir. Ortalama olarak 1 kg biokütleden 1,6 kWh elektrik üretilir.

En düşük elektrik üretim maliyeti (2 USDcent/kWh) daha düşük yatırım maliyeti gerektiren co-firing sistemlerde görülmektedir. Yeni gazlaştırma sistemlerinde ise elektrik üretim maliyeti daha yüksek olmaktadır (10 – 15 USDcent/kWh). ABD’de pahalı olmayan biokütle ile çalışan co-firing sisteminde elektrik üretim fiyatı 0,021 USD/kWh, doğrudan yanma sisteminde 0,09 USD/kWh seviyesindedir. Finlandiya’da odun kullanımı ve 60 MW elektrik ve 120 MW termal çıktı kapasitesi ile çalışan CHP sisteminde elektrik üretim maliyeti 0,017 Euro/kWh seviyesindedir. Almanya’da orman atıkları ile çalışan 1 MW biogüç tesisinde 0,185 Euro/kWh ve 20 MW biogüç tesisinde 0,07 Euro/kWh maliyetinde elektrik enerjisi üretilmektedir.²⁰⁵

Tablo-2.36’da bazı biokütle teknolojilerine göre yatırım ve üretim maliyetleri görülebilir.

Tablo – 2.36: Biokütle Teknolojisine Göre Yatırım ve Üretim Maliyetleri

Teknoloji	Verimlilik	Kapasite	Yatırım maliyeti USD/kW	Elektrik üretim maliyeti USD/kW
Co-firing	35 – 40	10 – 50	1100 – 1300	0,05
Buhar çevirme	30 – 35	5 – 25	3000 – 5000	0,11
IGCC	30 – 40	10 – 30	2500 – 5500	0,11 – 0,13
CHP	25 – 30	0,2 – 1	3000 – 4000	0,11

Kaynak: IEA Energy Technology Essentials January 2007, “Biomass for Power Generation and CHP”, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/techno/essentials31.pdf>, 10.10.2007

Dünyada Biokütle Elektrik Üretimi

Biokütle enerji kaynakları dünya elektrik enerji tüketiminin % 1,3’ü karşılamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde hidrolik enerjiden sonra (%90) elektrik üretiminin %6’ı biokütleden sağlanmaktadır. Biokütleden elektrik enerjisi en çok OECD ülkelerinde üretilmektedir. 2000 yılında OECD ülkelerinde üretilen net

²⁰⁵ IEA, **Renewables for Power Generation**, Paris, 2003, s. 106-108 , (Çevrimiçi), http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/renewpower_2003.pdf, 10.10.2007

elektrik enerjisi 13,6 GW katı biokütleden, 2,6 GW gazlaştırılmış biokütleden, 6,8 GW şehir atıklarından ve 2,6 GW çöp ve diğer biokütle kaynaklarından üretilmiştir. Son beş yılda Avrupa’da katı biokütleden elektrik enerjisi üretimi yılda %2,5 oranında artmıştır. Finlandiya’da 2001 yılında toplam elektrik enerjisi üretiminin %17,4’ü biokütle kaynakları ile sağlanmıştır.²⁰⁶

REN21 Global Status Report 2006 göre 2005 yılında 2 – 3 GW yeni kapasite eklenerek dünya kurulu biokütle kapasitesi 44 GW çıkmıştır. 2004 yılında Almanya, Macaristan, Hollanda, Polonya ve İspanya’da yıllık kapasite artışı %50 - %100 ve daha fazla oranında olmuştur. Avustralya, Avusturya, Belçika, Danimarka, İtalya, Güney Kore ve İsveç’te yıllık kapasite artış oranı %10 - %30 olmuştur. Biokütle endüstrisi ABD’de de önemli konuma sahiptir. Orman endüstrisi atıkların %85’i elektrik üretimi için kullanılmaktadır.²⁰⁷ Ayrıca biokütle enerjisi Latin Amerika ülkeleri için de büyük önem arz etmektedir. Brezilya’da 2002 yılında elektrik üretiminin %3’ü biokütle enerji santrallerinde üretilmiştir. Aynı oran Avusturya için de geçerlidir.²⁰⁸

Gelişmekte olan ülkeler (Çin, Brezilya, Hindistan, Latin Amerika, Tayland, Kamboçya) küçük hidrolik, PV ve rüzgar santralleri yanında biokütle güç santrallerini de arttırmaya başlamışlardır. Hindistan’da toplam 70 MW kapasitesinde şebeke dışı elektrik üreten küçük ölçekli biokütle gazlaştırma sistemleri ve 3,8 milyon aile-ölçekli (household-scaled) biyogaz ısıtma sistemleri kurulmuştur. 2005 yılında Çin’de biyogaz kullanıcıların sayısı 17 milyona çıkmıştır. Afrika’da (Fas, Uganda, Malawi, Etiyopya) biokütle ocakların kullanımı da artmaktadır.

Biokütle kaynaklarından elektrik ve ısı üretimine yapılan yatırımlar, yenilenebilir enerji için yapılan yatırımların (38 milyar dolar) %7’ni oluşturmaktadır. Yapılan

²⁰⁶ A.e., s. 110

²⁰⁷ IEA, **Energy Technology Essentials**, “Biomass for Power Generation and CHP”, Ocak 2007, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/techno/essentials31.pdf>, 10.10.2007

²⁰⁸ IEA, **World Energy Outlook 2004**, s. 234, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2004/weo2004.pdf>, 10.10.2007

çalışmalara göre dünya elektrik enerji tüketiminin % 1,3'ü karşılayan biokütle enerji kaynakları 2050 yılında %3 - %5 karşılayacağı tahmin edilmektedir.²⁰⁹

Aşağıdaki tabloda enerji tüketimi sıralamasındaki ilk 11 ülkenin 2000 yılı için biokütle kaynaklarına göre elektrik üretim miktarları verilmiştir.

Tablo – 2.37: Enerji Tüketimi Sıralamasındaki İlk 11 Ülkenin Biokütle Kaynaklarına Göre Elektrik Üretim (TWh/yıl) 2000

Ülke	Toplam Elektrik	Toplam Biokütle	MSW	Endüstri Atıkları	Birincil katı biokütle	Biyogaz
ABD	4003,5	68,805	15,653	6,552	41,616	4,984
Çin	1239,3	1,963	-	-	1,963	-
Rusya	845,3	2,075	-	2,045	0,030	-
Japonya	1081,9	16,518	5,209	-	11,309	-
Hindistan	527,3	-	-	-	-	-
Almanya	567,1	10,121	3,688	3,946	0,804	1,683
Fransa	535,8	3,290	1,995	-	0,949	0,346
Kanada	605,1	7,379	-	-	7,379	-
İngiltere	372,2	4,360	0,695	-	0,700	2,556
G. Kore	292,4	0,396	0,361	-	-	-
Brezilya	332,3	8,519	-	-	8,519	-

*MSW (municipal solid waste): şehir atıkları

Kaynak: IEA Energy Technology Essentials January 2007, “Biomass for Power Generation and CHP”, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/techno/essentials31.pdf>, 10.10.2007

Biokütle teknoloji üretimi üzerinde ise çok az sayıda firma ihtisaslaşmıştır. Danimarka, Finlandiya, İsveç şirketleri önemli biokütle teknolojisi üreticileridir. Biokütle teknolojisi üretiminin bu ülkelerde gelişmiş olmasının nedeni bu ülkelerde ormancılık ve kağıt endüstrisinin önemli paya sahip olması ve yerel biokütle kaynağın sağlanabilmesidir. Danimarka şirketleri saman-yakma ısıtıcı üretiminde pazar lideri durumundadır. Finlandiya şirketleri multi-kombine ısıtıcı üretiminde en büyük pazar payına sahipler. İsveç şirketleri orman biçme sistemlerin üretiminde lider durumundadır. Bio-gazlaştırma teknolojilerin çoğu bu ülkelerde üretilmektedir.²¹⁰

²⁰⁹ IEA, **Energy Technology Essentials**, “Biomass for Power Generation and CHP”, Ocak 2007, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/techno/essentials31.pdf>
<http://www.iea.org/textbase/papers/2007/GermanyG8.pdf>, 10.10.2007

²¹⁰ IEA, **Renewables for Power Generation**, Paris, 2003, s.109 , (Çevrimiçi), http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/renewpower_2003.pdf, 10.10.2007

2.3.5.3. Biyogaz ve Biy yakıt Üretimi

Biyogaz ve biy yakıtlar (biomotorin, bioetanol) modern biokütle kaynakları olarak sayılmaktadır. Bu kaynakların alternatif enerji kaynağı olarak kullanımı, artan dünya enerji ihtiyacının karşısında fosil kaynakların potansiyelinin sınırlı olması ve fiyatların yükselmesi, ayrıca fosil kaynakların kullanımı küresel ısınmaya yol açması ile artmaktadır.

Biyogaz, organik maddelerin oksijensiz ortamda (anaerobik) biometanlaştırma süreçleri sonucu ortaya çıkan renksiz, kokusuz, havadan hafif, parlak, mavi bir alev ile yanan ve birleşmiş organik maddelerin bileşimine bağlı olarak yaklaşık; %40 - %70 metan, %30 - %60 karbondioksit, %0 - %3 hidrojen sülfür ile çok az miktarda azot ve hidrojen bulunan bir gaz karışımıdır. Metan fosil kaynaklar içerisinde doğalgazın, yenilenebilir enerji içerisinde biyogazın temel bileşenidir.

1 m³ biyogazın sağladığı ısı miktarı (4700 – 5700 kcal/ m³);

- 0,62 litre gaz yağı,
- 1,46 kg odun kömürü,
- 3,47 odun,
- 0,43 kg bütan gaz,
- 12,3 kg tezek,
- 4,70 kWh elektrik enerjisi eşdeğerindedir.

1 m³ biyogaza eşdeğer yakıt miktarı ise;

- 0,66 litre motorin,
- 0,75 litre benzin,
- 0,25 m³ propan.²¹¹

Biyogaz önemli potansiyele sahip biokütle enerji kaynağıdır. Biyogaz üretiminde her türlü organik madde ve atıkları kullanılabilir. Bunlar hayvancılık atıkları, tarım atıkları, orman endüstrisi atıkları, deri ve tekstil endüstrisi atıkları, kağıt endüstrisi

²¹¹ “Biyogaz Nedir?”, (Çevrimiçi), <http://www.biyogaz.com/bgn.htm>, 10.10.2007

atıkları, gıda endüstrisi atıkları, şeker endüstrisi atıkları, şehir katı atıklar (MSW) vb.²¹² Biyogaz üretiminde kullanılabilen atıklardan elde edilebilecek gazın verimi ve gazdaki metan miktarı Tablo-2.38’de verilmiştir.

Tablo – 2.38: Çeşitli Kaynaklardan Elde Edilebilecek Biyogaz Verimleri ve Biyogazdaki Metan Miktarları

Kaynaklar	Biyogaz Verimi (litre/kg)	Metan Oranı (Hac. %’si)
Sığır Gübresi	90–310	65
Kanatlı Gübresi	310–620	60
Domuz Gübresi	340–550	65–70
Buğday Samanı	200–300	50–60
Çavdar Samanı	200–300	59
Arpa Samanı	290–310	59
Mısır Sapları ve Artıkları	380–460	59
Keten	360	59
Kenevir	360	59
Çimen	280–550	70
Sebze Atıkları	330–360	Değişken
Ziraat Atıkları	310–430	60–70
Yerfıstığı Kabuğu	365	-
Dökülmüş Ağaç Yaprakları	210–290	58
Algler	420–500	63
Atık Su Çamuru	310–800	65–80

Kaynak: “Biyogaz”, (Çevrimiçi), <http://www.eie.gov.tr/biyogaz.htm>, 10.10.2007

Biyogaz çok yönlü bir enerji kaynağı olarak farklı alanlarda kullanılabilir: doğrudan yakma-ısıtma ve ısıtma, motor yakıtı, yakıt pili olarak kullanım, türbin yakıtı olarak kullanarak elektrik üretimi, doğal gaz içinde katkı olarak ve kimyasal ürünlerde kullanım.

Biyogaz tesisleri amaca uygun olarak farklı teknolojiler kullanılarak kurulmaktadır. Biyogaz tesisleri kapasite olarak; aile tipi (6 – 12 m³ kapasiteli), çiftlik tipi (50 – 100 m³ kapasiteli), köy tipi (100 – 200 m³ kapasiteli), sanayi ölçekli (1000 –

²¹² Philip Eriksson, Martin Olsson, “The Potential of Biogas as Vehicle Fuel in Europe”, (Çevrimiçi), http://websrv5.sdu.dk/bio/download/Biogas_trans.pdf, 10.10.2007

10 000 m³ kapasiteli) olmaktadır. Aile tipi biyogaz tesisleri özellikle Çin’de çok yaygın olarak kullanılmaktadır.²¹³

Organik atıklardan havasız çürütme yoluyla biyogaz üretimi, oldukça basit ve kaynağın bulunduğu her yerde yapılabilecek bir işlemdir. Hindistan’da çeşitli büyüklüklerde bir milyondan fazla biyogaz üretim tesisi bulunmaktadır. Çin’de 1 milyarın üzerindeki nüfusun büyük çoğunluğu yakıt olarak biokütle kullanmakta olup daha çok yemek pişirmek ve aydınlanmak için kullanılan biyogaz üretimi 5 milyondan fazla küçük tesis yaklaşık 25 milyon insan tarafından işletilmektedir. Sayıları 10 000 dolayında olan orta ve büyük ölçekli tesislerden üretilen biyogaz ise elektrik üretimi ve büyük fabrikaların enerji gereksinimi için kullanılmaktadır. Çin’de büyüklüğü 10 kW üzeri olan 800 biyogaz üretim tesisinin toplam kapasitesi 8500 kW civarındadır.²¹⁴

AB ülkeleri açısından biyogaz değerlendirildiğinde 2000 yılında 2304 Mtep olan biyogaz üretimi 2005 yılı itibariyle 5 Mtep ulaşmıştır. Üretimindeki artışlar, biyogaz endüstrisinin büyüyen endüstri olarak değerlendirilebilir. Avrupa Biokütle Birliği (AEBIOM), biokütle enerji kaynakları ile ilişkili destek ve yardım faaliyetlerini yürütmektedir. AEBIOM üyeleri de yerel biokütle grupları olmaktadır (İsveç’te SVEBIO, Danimarka’da DANBIO, İtalya’da ITABIA).²¹⁵ Avrupa ülkelerinde biyogaz üretim miktarları Tablo-2.39’da verilmiştir.

²¹³ “Biyogaz”, (Çevrimiçi), <http://www.eie.gov.tr/biyogaz.htm>, 10.10.2007

²¹⁴ “Biokütle Enerjisi”,

(Çevrimiçi), <http://www.youthforhab.org.tr/tr/yayinlar/enerji/biyokutle/Dunyada.html>, 10.10.2007

²¹⁵ Philip Eriksson, Martin Olsson, “The Potential of Biogas as Vehicle Fuel in Europe”, (Çevrimiçi), http://websrv5.sdu.dk/bio/download/Biogas_trans.pdf, 10.10.2007

Tablo – 2.39: Avrupa Ülkelerinde Yıllara Göre Biyogaz Üretimi (Mtep)

Ülke	2000	2001	2002	2003	2004	2005
İngiltere	897	904	1976	1253	1492	1783
Almanya	525	600	659	1229	1295	1594
Fransa	167	276	302	344	207	209
İspanya	101	134	168	257	295	317
İtalya	143	153	155	201	36	377
Hollanda	143	161	149	109	126	126
İsveç	120	112	147	119	105	105
Portekiz	7	1	76	76	5	10
Danimarka	72	73	62	83	89	92
Avusturya	36	56	59	38	45	45
Belçika	48	45	45	42	74	74
Yunanistan	2	33	33	32	36	36
İrlanda	24	28	28	19	30	35
Finlandiya	17	18	18	16	27	27
Lüksemburg	2	2	2	4	5	7
Polonya	-	-	63	35	45	51
Slovenya	-	-	-	6	7	7
Slovakya	-	-	-	3	6	6
Macaristan	-	-	-	2	4	4
Çek Cumhuriyeti	-	-	-	41	50	56
Toplam	2304	2596	3062	3909	4279	4961

Kaynak: Philip Eriksson, Martin Olsson, “The Potential of Biogaz as Vehicle Fuel in Europe”, (Çevrimiçi), http://websrv5.sdu.dk/bio/download/Biogaz_trans.pdf, 10.10.2007

Biyakıtlar

Biokütle enerji kaynaklarından en çok üretilen biy yakıt türü bioetanol ve biomotorin (biodizel). Biodizel, kolza (kanola), ayçiçeği, soya, aspir gibi yağlı tohum bitkilerinden elde edilen yağların veya hayvansal yağların bir katalizatör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyonu sonucunda açığa çıkan ve yakıt olarak kullanılan bir üründür. Evsel kızartma yağları ve hayvansal yağlar da biodizel hammaddesi olarak kullanılabilir. Biodizel petrol içermez; fakat saf olarak veya her oranda petrol kökenli dizelle karıştırılarak yakıt olarak kullanılabilir. Saf biodizel ve dizel-biodizel karışımları herhangi bir dizel motoruna, motor üzerinde herhangi bir modifikasyona gerek kalmadan veya küçük değişiklikler yapılarak kullanılabilir. Biodizel, dizel ile karışım oranları bazında

B5: %5 Biodizel + %95 Dizel

B20: %20 Biodizel + %80 Dizel

B50: %50 Biodizel + %50Dizel

B100: %100 Biodizel şeklinde adlandırılmaktadır.²¹⁶

Biodizel, motorin motorları dışında da yakıt olarak kullanılabilir. Biomotorin jeneratör yakıtı ve kalorifer yakıtı olarak kullanılabilir. Bunun yanında seralarda, maden ocaklarında ve tüm sanayi dallarında kullanımı mümkündür.²¹⁷

Bioetanol, en çok kullanılan biyoyakıt türüdür. Kullanılan biyoyakıtların %90'dan fazlası bioetanol oluşturmaktadır. Bioetanol, kola (nişasta) ve şeker zengin biokütlenin şekere dönüştürülmesi ve fermantasyon yöntemi ile etanol yakıtı çevrilmesi ile elde edilir. Etanol mısır, şeker kamışı, şeker pancarı, patates, sorgum, tahıl bitkisi gibi bir çok biokütleden üretilir. Beraberinde üretilen yan ürünler (hayvan yemi vb.) üretim maliyetini düşürmektedir. Yeni geliştirilmekte olan teknolojiler ile selülozik biokütle kaynaklarından da (atık, ağaç, saman vb.) etanol üretimi mümkün olabilecektir. Etanol, farklı yüzdeler ile benzin karışımı şeklinde kullanılmaktadır (E5, E10, E85 vb.). Brezilya'da benzin en az %22 oranında bioetanol içermesi gerek.²¹⁸

Biyoyakıtlar, fosil enerji tüketiminin %90'ını karşılayacak potansiyele sahiptir. Fosil yakıt kullanan tüm taşımacılık sektörlerinde kullanılması mümkündür. Diğer özellik biyoyakıt üretimi için kullanılan fosil yakıt ile çıktı miktarında önemli fark vardır.²¹⁹ Argonne National Laboratory ve General Motors Corp. yaptıkları çalışmada her 10 Btu (british termal units) etanol için 1 Btu petrol kullanıldığını göstermişlerdir. Buna göre üretilen her galon (3,78 litre) etanol, önemli miktarda petrol tüketimini azaltmaktadır.²²⁰

²¹⁶ IEA, **Energy Technology Essentials**, "Biomass for Power Generation and CHP", Ocak 2007, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/techno/essentials31.pdf>, 10.10.2007

²¹⁷ Figen Ar, Funda Akdağ, Yüksel Malkoç, Mustafa Çalışkan, "Biokütle Enerjisi ve Biomotorin", **TMMOB Türkiye IV. Enerji Sempozyumu Bildirileri**, 10.12-12.12.2003, Ankara, (Çevrimiçi), http://www.emo.org.tr/resimler/ekler/12e9d677c748374_ek.pdf, 27.09.2007

²¹⁸ IEA, **Energy Technology Essentials**, "Biomass for Power Generation and CHP", Ocak 2007, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/techno/essentials31.pdf>, 10.10.2007

²¹⁹ World Energy Council (WEC), **Transport Technologies and Policy Senarios to 2050 – Excutive Summary 2007**, Londra, 2007, s. 3 (Çevrimiçi), http://www.worldenergy.org/documents/transportation_study_executive_summary_online_version.pdf, 10.10.2007

²²⁰ National Renewable Energy Laboratory (NREL), **From Biomass to Biofuels**, USA, 2006, s.3, (Çevrimiçi), <http://www.nrel.gov/biomass/pdfs/39436.pdf>, 10.10.2007

Bioyakıt üretim maliyeti kullanılan bioyakıt türüne, teknoloji, sistem büyüklüğüne, şeker ve yağ pazar özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Etanol üretim maliyeti sıcak iklime sahip ülkelerde oldukça düşüktür; dünyanın en ucuz etanol üreticisi Brezilya’da olduğu gibi. Sistem büyüklüğü birim maliyetini önemli ölçüde etkilemektedir. ABD’de kapasite büyüklüğünün 55 milyon litre/yıl’dan 150 milyon litre/yıl’a çıkartılması sonucu bir birim kapasite için yatırım maliyeti %40 oranında (üretilen her litre için 0,03 USD) ve O&M maliyeti %15 oranında (üretilen her litre için 0,02-0,03 USD) düşürülmüştür. Büyük ölçekli sistemde üretim maliyeti 0,29 USD/litre (0,43 USD/lge ; litre of gasoline equivalent) olup küçük ölçekli sistemlere göre litre başına 0,05 – 0,06 USD tasarruf yaratmaktadır.²²¹

Biokütle türüne göre Brezilya’da şeker kamışından üretilen etanol maliyeti ortalama 0,30 USD/lge, mısırdan üretilen etanol maliyeti 0,6 – 0,8 USD/lge arasında değişmektedir, selülozik etanol (saman vb.) üretim maliyeti 1 USD/lge olmaktadır.²²²

Tablo – 2.40: Etanol Üretim Maliyeti (USD/litre)

Maliyet	ABD/ mısır (2002)	AB/ buğday (2002)	Brezilya/ şeker kamışı (1990)
Biokütle maliyeti	0,13	0,22 – 0,34	0,127
O&M maliyeti	0,11	0,20 – 0,25	0,167
Yatırım maliyeti	0,05	0,08 – 0,13	0,062
Toplam	0,29	0,35 – 0,62	0,23
Toplam benzin litresine eş değer(lge)	0,43	0,53 – 0,93	0,34

Kaynak: IEA, **Biofuels for Transport 2004**, Paris, 2004, s. 69, 71, 75, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2004/biofuels2004.pdf>, 15.01.2008

Biodizel üretim maliyeti en çok kullanılan biokütle kaynağına bağlıdır, etanola nazaran. Hayvan yağlarından üretilen biodizel en ucuzdur (0,4 – 0,5 USD/lde ; litre eşdeğer petrol). Bitkisel yağlardan üretilen biodizel maliyeti 0,6 – 0,8 USD/lde civarındadır.²²³

²²¹ IEA, **Biofuels for Transport 2004**, Paris, 2004, s.70, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2004/biofuels2004.pdf>, 15.01.2008

²²² IEA, **Energy Technology Essentials**, “Biomass for Power Generation and CHP”, Ocak 2007, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/techno/essentials31.pdf>, 10.10.2007

²²³ A.e.

2002 yılında AB’de büyük ölçekli sistemlerde kolzadan üretilen biodizel maliyeti 0,65 – 0,35 USD/lde arasında değişmekteydi. ABD’de biodizel üretiminde en çok ucuza sağlanabilen soya kullanılmaktadır. Soydan üretilen biodizelin üretim maliyeti 0,38 – 0,55 USD/lde arasında değişmektedir.²²⁴

Dünyada biyoyakıt üretimi yenilenebilir enerji destek programları ve teknolojik gelişmeler sonucu artmaktadır. 2006 yılında biyoyakıt üretimi %15 - %20 oranında artmıştır. 2004- 2007 yılları arasında biyoyakıt üretim miktarları Tablo-2.41’de verilmiştir.

Tablo – 2.41: 2004 – 2007 Yıllarında Dünya Biyoyakıt Üretimi (milyar litre)

Biyoyakıt	2004	2005	2006	2007
Bioetanol	30,5	33	38	44
Biodizel	2,1	3,9	6	8
Toplam	32,6	36,9	44	52

Kaynak: Kaynak: IEA, **Renewables 2007 Global Status Pre-publication Report**, Aralık 2007, http://www.ren21.net/pdf/REN21_GSR2007_Prepub_web.pdf, 15.01.2008

Bioetanol üretiminde lider ülkeler Brezilya ve ABD’dir. Brezilya hükümeti 1970’li yılların ortasında National Fuel Alcohol Programı başlatmıştır. 1980’lerde etanol ulaşım sektöründe benzine göre daha büyük paya ulaşmıştır. Bugün itibariyle etanol pazar payın %60’nı oluşturmaktadır. 1975 yılından 2002 yılına kadar etanol 210 milyar litre benzin yerini almıştır ve ülkeye 52 milyar dolar tasarruf sağlamıştır. 1999 yılında piyasanın serbestleştirilmesinden beri etanol benzine göre %33 oranında fiyat üstünlüğüne sahiptir. Bunun önemli sebeplerinden biri de vergi oranların düşük olması. 2003 yılında ikinci kez en yüksek ihracat gerçekleşmiştir (770 milyon litre). Brezilya en çok Japonya’ya etanol ihracı yapmaktadır. İkinci lider etanol ihracatçı ülke ABD’dir. 2003 yılında çoğunluğu mısırdan olup 10,6 milyar litre etanol üretimi gerçekleşmiştir. Avrupa’da etanol üretimi gelişmemiş durumdadır. 2003 yılında aldıkları karara göre yenilenebilir enerji kullanım oranlarını 2010 yılında %5,75 çıkarmayı amaçlamaktadırlar. Hindistan’da petrol ithalatın %50’si büyüyen taşımacılık sektöründe tüketilmektedir. 2001 yılında etanol kullanımı programı kapsamında 10 bioetanol üretim

²²⁴ IEA, **Biofuels for Transport 2004**, Paris, 2004, s.70, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2004/biofuels2004.pdf>, 15.01.2008

tesisi kurulmuştur. 2003 yılından itibaren etanol karışım benzin (E5) kullanımına başlamıştır. Dünyanın en büyük kapasiteli bioetanol üretim tesisi Çin’de bulunmaktadır. The Jilin Tianhe Ethanol Distillery tesisinin üretim kapasitesi 600 000 ton/yıl veya 2,5 milyon litre/gün.²²⁵

Biodizel üretiminde lider ülke Almanya’dır. 2005 yılında Almanya, Fransa, İtalya, Polonya’da biodizel üretimi %75 oranında yükselmiştir ve ABD’de üçe katlanmıştır.²²⁶ Gelişmiş ülkeler enerji politikaları gereği yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım paylarını artırma uygulamaları kapsamında teşvik ve destek programları yasalarla belirlenmiştir. Avusturya, Fransa, Almanya, İtalya, İrlanda, Norveç, İsveç, Polonya, Slovakya ve Çek Cumhuriyetinde biyodizel yasal olarak vergiden muaftır.²²⁷ Aşağıdaki tabloda 2005 yılı için ülkelere göre biyoyakıt üretim miktarları verilmiştir.

Tablo – 2.42: Ülkelere göre Biyoyakıt Üretimi 2005 (milyar litre)

Ülke	Bioetanol	Biodizel
Brezilya	15	-
ABD	15	0,25
Almanya	0,2	1,9
Çin	1,0	-
Fransa	0,15	0,6
İtalya	-	0,5
İspanya	0,3	0,1
Kanada	0,2	0,1
Hindistan	0,3	-
Kolombiya	0,2	-
İsveç	0,2	-
Çek Cumhuriyeti	-	0,15
Polonya	0,05	0,1
Danimarka	-	0,1
Avusturya	-	0,1
Slovakya	-	0,1
Toplam AB	0,9	3,6
Toplam Dünya	33	3,9

Kaynak: IEA, **Renewables 2007 Global Status Pre-publication Report**, Aralık 2007, http://www.ren21.net/pdf/REN21_GSR2007_Prepub_web.pdf, 15.01.2008

²²⁵ Christofer Berg, “World Fuel Ethanol Analysis and Outlook”, (Çevrimiçi), <http://www.distill.com/World-Fuel-Ethanol-A&O-2004.html>, 15.01.2008

²²⁶ IEA, **Energy Technology Essentials**, “Biomass for Power Generation and CHP”, Ocak 2007, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/techno/essentials31.pdf>, 10.10.2007

²²⁷ IEA, **Biofuels for Transport 2004**, Paris, 2004, s.70, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2004/biofuels2004.pdf>, 15.01.2008

2.3.6. Okyanus Enerjisi

Dünyanın enerji ihtiyacını karşılamak amacı ile yapılan çalışmalara göre önemli potansiyele sahip enerji kaynağı olarak dünyanın dörtte üçünden fazlasını kapsayan okyanuslar oluşturmaktadır. Okyanus enerjisi çevreyi kirletmeden, sürekli kendini yenileyerek tükenmeyecek bir kaynaktır. Okyanustan enerji üretmenin yolu gelgit, dalgalar, okyanus ısısı, akıntılar olarak sayılabilir. Yapılan hesaplamalara göre okyanus enerjisinin teknik ve kullanılabilir potansiyeli Tablo-2.43'te verilmiştir.²²⁸

Tablo – 2.43: Okyanus Enerjisinin Teknik ve Kullanılabilir Potansiyeli

Enerji kaynağı	Teknik potansiyel (GW /yıl)	Kullanılabilir potansiyel (GW/yıl)
Gelgit	2 500 GW/yıl	20
Dalga	2 700 GW/yıl (kıyıda) ve 10 000 GW/yıl (açık denizde)	500
Okyanus ısısı (OTEC)	$2 \cdot 10^5$ GW/yıl	40 (onshore) ve 10 000 (offshore)

Kaynak: Jefferson W. Tester, Elizabeth M. Drake, Michael J. Driscoll vd., **Sustainable Energy Choosing Among Options**, The MIT Pres, Cambridge, 2005, s. 593

Okyanus enerjisinin kullanılabilir hale getirilmesi fikri yeni değildir. Daha Eski Yunanlılarda gelgit ile çalıştıran değirmenler mevcuttu. 1100 – 1900 yılları arasında İngiltere’de, Kuzey Avrupa ülkelerinde gelgit değirmenler yaygındı. Dalga enerjisi konusu üzerine ilk patent 1799 yılında alınmıştır. 1881 yılında okyanus sıcaklığının da kullanılabilir olması fikri ortaya konulmuştur. Okyanus enerjisi üzerine yapılan çalışmaların yanı sıra okyanus enerjisinin ticari amaçlı kullanım düşüncesi 1970 sonrası enerji krizinin ortaya çıkması ile daha da belirgin hale gelmiştir. Özellikle üç tarafı deniz ile çevrili ülkeler bu konuda araştırmalar yaparak elektrik enerjisi elde etme yollarına gidebilirler. Dünya genelinde model aşamasından prototip aşamasına geçen bir çok okyanus enerjisi dönüştürücüsü bulunmaktadır.²²⁹

²²⁸ Jefferson W. Tester vd., **a.g.e.**, s. 593

²²⁹ **A.e.**, s. 590

2.3.6.1. Dalga Enerjisi

Dalgalar, güneş ışınları ve yeryüzündeki değişik yansımaları sonucu ortaya çıkan sıcaklık farklarından dolayı rüzgarların meydana gelmesi ve bunların su üzerinde eserken su yüzeyi ile olan sürtünmesi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Hava hareketlerin ve ısı değişimlerinin, su kütlelerinde meydana getirmiş olduğu dalga hareketleri, bitmez enerji kaynağıdır. Rüzgarlar güneş ışınımı enerjisinden meydana geldikleri için denizdeki dalgalar rüzgardan geçen güneş enerjisinin depolanmış hali olarak düşünülebilir. Güneş gücünün yeryüzündeki ortalama değeri 100 W/m^2 olduğundan, dalga enerjisi miktarı birim dalga kuvveti boyunca 100 kW olmaktadır. Büyük dalgalar, küçük dalgalara göre daha çok enerji miktarı taşımaktadırlar. Dalga enerjisinden elde edilen kW cinsinden güç, yaklaşık olarak dalga yüksekliğinin karesi ve dalga periyodunun kendisi ile doğru orantılıdır.²³⁰

Dalga enerjisi dönüştürme teknolojileri kıyı boyunca, kıyıya yakın ve kıyıdan uzak bölgelerde uygulanmak üzere üç grupta toplanmaktadır.

Kıyı şeridi uygulamalarında üretim sistemleri kıyıda sabitleşmiş veya gömülü halde bulunmaktadır. Kurulması ve işletilmesi diğer uygulamalara göre daha kolaydır. Ayrıca, derin su bağlantılarına ve uzun su altı kablolarına ihtiyaç yoktur. Fakat daha az güce sahip dalga rejimi nedeniyle elde edilen enerji daha az olabilmektedir. Bu uygulamaların yaygınlaşması kıyı şeridi jeolojisi, gelgit seviyesi ve kıyı yapısının korunması gibi etkenlerle sınırlanmaktadır. Kıyı şeridi uygulamalarında üç tip teknoloji kullanılmaktadır. Bunlar *sallanan su kolonu* (*OWC: Oscillating Water Column*), *daralan kanal sistemi* (*TAPCHAN: Taperated Chanel Device*) ve *pendular*.²³¹

Sallanan su kolonu (*OWC*), kısmi olarak su altında bulunan, su seviyesinin altında denize açılan beton veya çelik, çukur yapılardır. Bu sitelerde su kolonu ve onun üstünde bir hava kolonu vardır. Dalgaların sisteme çarpması, su sütununun yükselip alçalmasına dolayısıyla hava sütununun sıkıştırılması veya basıncın düşürülmesine

²³⁰ Zekai Şen, **a.g.e.**, s. 182-183

²³¹ T. W. Thorpe, "An Overview of Wave Energy Technologies: Status, Performance and Cost,(Çevrimiçi),<http://www.waveenergy.net/Library/An%20Overview%20of%20Wave%20Energy.pdf>,15.01.2008

sebepler olur. Sıkıştırılmış havanın, elektrik jeneratörünü çalıştıran türbinine doğru hareketi sağlanır, türbinin çalışması ile elektrik enerji üretilir. Bu sistemler belli sayıda dünya genelinde kurulmuştur (Çin, Hindistan, Japonya, Norveç, İskoçya) ve birkaç çeşidi geliştirilmiştir (European Pilot Tesisi, Wavegen Limpet, Energetech OWC).

Daralan kanal sistemi (TAPCHAN: Taperated Chanel Device); bu sistemlerde su seviyesinin 3 – 5 metre üzerinde duvar yüksekliğine sahip, su haznesini besleyen ve gittikçe daralan bir kanaldan oluşmaktadır. Kanalin daralması dalga yüksekliğinin artmasına sebep olur ve yükselen dalgalar kanal duvarlarından su haznesinin içine boşalır. Su haznede depolandığı için hareketli dalganın kinetik enerjisi potansiyel enerjiye dönüşür. Depolan su türbine verilir. Çok az hareketli parçası olduğundan düşük bakım maliyetine ve yüksek güvenilirliğe sahiptir. Bu sistemlerde ihtiyaç duyulana kadar enerji depolanabilir.

Pendular, bir tarafı denize açılan dikdörtgen bir kutu gibidir. Bu açıklık üzerine sarkaç bir kapak menteşelenmiştir. Kapak dalga hareketi ile ileri geri hareket etmektedir. Bu hareket jeneratörün ve hidrolik pompanın çalıştırılması için kullanılır.

Kıyıya yakın uygulamalar, 10 – 25 m su derinliklerinde gerçekleştirilmektedir. Bu tür sistemlerde OWC'nin değişik tasarımları uygulanmıştır. Wavegen tarafından geliştirilen *OSPREE*'in gücü 1.5 MW'lık rüzgar türbininin dahil edilmesiyle 2 MW'a çıkarılmıştır. Bu sistemin ticaretleştirilmesi ve inşaa maliyetlerin düşürülmesi üzerine çalışmalar devam etmektedir. *Wosp 3500 (Rüzgar ve Okyanus Salınım Enerjisi),* kıyıya yakın dalga ve rüzgar enerjisi istasyonun birleşmesinden oluşmuştur. Eklenen 1,5 MW'lık rüzgar üretim kapasitesi tesis kapasitesini 3,5 MW'a yükseltir.²³²

Kıydan uzak uygulamalar, 40 metreden daha derin sularda kıydan uzak uygulanan cihazlar kullanılmaktadır. Bu tür sistemlerde uzun elektrik kabloların kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Çok çeşit kıydan uzak uygulanan sistemler vardır ve her sistemin kendine göre üstünlükleri ve zorlukları vardır. Geliştirilen bu

²³² “Wave Energy – The Technology-Nearshore Devices”, (Çevrimiçi), http://europa.eu.int/comm/energy_transport/atlas/htmlu/wavpost6.html, 15.01.2008

sistemlerden yaygın olanları *McCabe Dalga Pompası*, *OPT Dalga Enerjisi Dönüştürücüsü*, *Pelamis*, *Archimedes Dalga Salınımı*.²³³

McCabe Dalga Pompası, birbirine menşeli, düzenli bir şekilde sıralanmış ve birbirlerine bağlı hareket eden 3 adet dikdörtgen çelik (4 m genişliğinde) duba içermektedir. Ekstra bir kütle eklenmesi ile merkez dubanın ataletinin artması sağlanır. Enerji ise merkez duba ile diğer dubalar arasına monte edilen hidrolik tulumba vasıtasıyla menteşe noktalarındaki hareketten sağlanmaktadır. 40 m uzunluğundaki bu sistemin prototipi Kilbaha, County Clare ve İrlanda’da kurulmuştur.

OPT Dalga Enerjisi Dönüştürücüsü, Amerika’daki Okyanus Güç teknolojisi (OPT) tarafından geliştirilmiştir. 2 – 5 m çaplı üstü kapalı tabanı açık silindirik bir yapı içerir. Yapının tepesi ile yapı içerisinde yüzen çelik yüzücü arasına hidrolik pompa yerleştirilmiştir. Yapının yüzücüye göre hareket etmesinde enerji üretilir. Bu sistem Doğu Atlantik’te büyük ölçekte denenmiştir. İlk ticari yapılar Avustralya ve Pasifik’te kurulmak üzeredir.

Pelamis, kısmi olarak su içinde yer alan, menteşeli noktalarla birbirine bağlı silindirik bölümlerden oluşan eklemlili bir yapıdır. Dalga ile birleşim noktaları hareket eder ve bu hareketle hidrolik pompalar elektrik jeneratörlerini çalıştırır. Günümüzde 375 kW gücünde ve 130 m uzunluğunda ve 3,5 m çapında bir sistemin geliştirilmesi için çalışmalar devam etmektedir.

Archimedes Dalga Salınımı, 10 – 20 m çapında, içi hava dolu bir yüzücü içermektedir. Sistemin üzerinden geçen dalga, yüzücü içindeki havanın basıncını yükseltir ve düşürür. Yüzücünün zemine göre alçalıp yükselmesi hareketi enerji üretimine sebep olur.

Dalga enerjisi üretim maliyeti

Dalga enerjisinden elektrik enerjisi üretmek için başka enerjiye ihtiyaç yoktur. Bu nedenle dalga enerjisi santrallerinde üretim maliyetleri, ilk yatırım maliyeti ve

²³³ “Wave Energy – The Technology-Offshore Devices”, (Çevrimiçi), http://europa.eu.int/comm/energy_transport/atlas/htmlu/wavint4.html, 15.01.2008

işletme maliyetlerinden (O&M) oluşmaktadır. Yapılan uygulamalara göre ilk yatırım maliyetleri 800 – 2400 USD/kW arasında değişmektedir. Tesis ömürleri ortalama 25 yıl olup O&M maliyeti 1 USDcent/kW olarak hesaplanmıştır. İngiltere’de OWC tesisinde elektrik üretim maliyeti 0,08 USD/kW iken 1,5 MW rüzgar türbini ile beraber çalışan tesiste elektrik üretim maliyeti 0,06 USD/kW düşürülebilmektedir. Teknolojik gelişmeler sonucu elektrik enerjisi 0,35 – 0,65 USD/kW’den üretilebileceği öngörülmektedir.²³⁴

Dünyada dalga enerjisi

Dünyada kurulu ticari dalga enerji santrali İngiltere’de bulunmaktadır. Ayrıca Danimarka, Hindistan, İrlanda, Japonya, İsviçre, Norveç, Portekiz, Güney Kore, ABD, Çin ülkelerinde dalga enerjisine yönelik programlar başlatılmıştır ve yeni yapım aşamasında olan santraller bulunmaktadır. Avrupa ülkelerin dalga enerjisinin kullanılabilir potansiyeli kıydan uzak 120 – 190 TWh/yıl ve kıyıya yakın 34 – 46 TWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Dünya dalga enerjisi potansiyeli 2000 TWh/yıl elektrik üretimi sağlayacak düzeydedir.²³⁵

2004 yılı itibariyle dünya genelinde toplam üretim gelgit enerjisi ile birlikte yaklaşık 1 TWh/yıl civarında olup 2030 yılı için hedef 35 TWh/yıl civarındadır. Eğer okyanuslardaki yenilenebilir enerji kaynağının sadece %0,1’ini bile elektrik enerjisine dönüştürülecek olursa dünyanın toplam enerji ihtiyacının 5 katı kadar enerji üretilebilecektir.²³⁶

²³⁴ T. W. Thorpe, “An Overview of Wave Energy Technologies: Status, Performance and Cost,(Çevrimiçi),<http://www.waveenergy.net/Library/An%20Overview%20of%20Wave%20Energy.pdf>, 15.01.2008

²³⁵ T. W. Thorpe, **A Brief Review of Wave Energy**, Oxfordshire, 1999, s. 153, (Çevrimiçi), <http://www.mech.ed.ac.uk/research/wavepower/Tom%20Thorpe/Tom%20Thorpe%20report.pdf>, 15.01.2007

²³⁶ IEA, **World Energy Outlook 2004**, s. 237, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2004/weo2004.pdf>, 10.10.2007

2.3.6.2. Gelgit Enerjisi

Gelgit enerjisi, yer ve ay arasındaki çekim kuvvetinin ortaya çıkar. Yer küresi kendi eksenini etrafında dönerken, deniz su seviyesinde günde iki defa yükselme ve alçalma meydana gelir. Gelgit olayları ay ve güneş tarafından da etkilenecek zaman zaman artar veya azalır.

Deniz ve okyanus seviyelerinin yükselmesi ve alçalması birbirini takip etmesi durmayan doğa olayıdır. İnsanlar orta çağdan beri bu seviye değişiminden meydana gelen enerjiden yıllarca İngiltere ve Fransa kıyılarında mısır öğütmek için yararlanmıştır. Bu düşünce zamanla daha büyük ölçeklerde yükselme zamanında suyun haliç gibi kıyı şekillerine girerek orada depolanması için haliç ağızlarına barajlar yapılarak ve iki taraflı çalışan türbinler vasıtası ile elektrik enerjisi üretme yoluna gidilmiştir.

Gelgit hareketlerinden elektrik üretmek için, alçalma ve yükselen gelgit arasındaki farkın en az beş metre olması gerekmektedir. Gelgit enerjisi üretmek için körfezler ideal bölgeleri oluşturmaktadır. Ay ve güneş çekimlerinin etkili olduğu dünya bölgelerinde, günde iki defa gelgit enerjisinden yararlanmak mümkündür; suların yükselerek sahil içlerine doğru hareketi ve bunu takiben aynı suyun çekilmesi yani seviye azalması.²³⁷

Gelgit sırasında enerji üretmek için uygun olan haliçler üzerine inşa edilen barajların kapaklarının bulunduğu yerlere dalgıç türbinler yerleştirilir. Kurulan barajın kapakları geçitlerindeki kesit daralmaları gelgitleri sıkıştırır, büyük akıntı hızına sahip su türbinlere doğru akar ve jeneratör vasıtası ile elektrik enerjisi üretilir.

Gelgitin yaklaşık 12 saatlik salınım süresi vardır. Gelgit barajlarında enerji ya içeriye giren suyun hızı ile döndürülen türbinlerden veya bu giriş sırasında enerji üretilmeden baraj arkasındaki su seviyesinin en büyük değere ulaşması ile kapatılan kapaklardan sonra ortaya çıkan su yükünden üretilir.²³⁸

²³⁷ “How It Works”, (Çevrimiçi), <http://www.dti.gov.uk/energy/sources/renewables/renewables-explained/wave-energy/how-it-works/page16696.html>, 10.10.2007

²³⁸ Greenpeace, **Enerji Revolution: A Sustainable Pathway To A Clean Future For Europe**, 2005, s. 78, (Çevrimiçi), <http://www.greenpeace.org/raw/content/international/press/reports/energy-revolution-a-sustainable.pdf>, 27.09.2007

Gelgit enerjisinden elektrik üretim maliyetleri ve baraj için yatırım maliyetleri hakkında yeterince bilgi yoktur. İngiltere’de proje aşamasında olan The Severn barajı için yapılan değerlendirmede kurulacak kapasite 8640 MW, yıllık enerji üretimi 17 TWh, yatırım maliyeti de 8280 milyon pound olarak hesaplanmıştır.²³⁹

Gelgit enerji potansiyeli çok bölge özelliklerine bağlıdır. Bunun yanında dünyada gelgit barajı kurulabilecek bir çok kıyı tespit edilmiştir, özellikle Rusya, Kanada, ABD, Arjantin, Kore, Avustralya, Fransa, Çin, Hindistan. Hesaplamalara göre yeryüzündeki okyanuslardaki gelgit hareketleri her gün devamlı olarak 300 TWh enerji kapasitesi taşımaktadır. Filipinler, Endonezya, Çin ve Japonya’da gelecekte geliştirilebilecek sualtı türbin alanları bulunmaktadır. Gelgit olayların yaşandığı İngiltere’de baraj yapma yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan hesaplamalara göre İngiltere’de gelgit enerji potansiyeli 53 TWh/yıl olup ülkenin 2002 yılındaki elektrik üretiminin %14’ünü oluşturmaktadır. Gelgit enerjisinden elektrik üretmek üzere yapılan en büyük çalışma ise proje aşamasında olan Dalupuri Geçidi projesidir. Filipinlere balı Dalupuri ve Samara adaları arasındaki geçide gelgit çitleri koyularak 2200 MW elektrik üretilmesi planlanmaktadır.²⁴⁰

Bugün dünyada sadece Fransa, Kanada, Çin, Rusya ve Norveç gelgit güç santralleri çalıştırmaktadır ve toplam kapasite 325 MW’tır. En büyük iki ticari gelgit barajlardan biri Fransa’da bulunan 240 MW gücünde La Rance santrali, diğeri Kanada’da bulunan 16 MW Annaapolis santralidir.²⁴¹ Dünyanın en büyük ticari gelgit barajı olan La Rance (Fransa)’da, 1967 yılından beri 240 MW kapasite ile yılda 500 – 600 GWh/yıl elektrik üretilmektedir. 1997 yılı verilerine göre elektrik üretim maliyeti 0,037 USD/kWh olmuştur.²⁴²

²³⁹ Godfrey Boyle, **a.g.e.**, s. 209

²⁴⁰ **A. e.**, s. 223

²⁴¹ Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, **Renewables Global Status Report 2006 Update**, Paris, 2006, s.17, (Çevrimiçi), http://www.ren21.net/pdf/RE_GSR_2006_Update.pdf

²⁴² Jefferson W. Tester vd., **a.g.e.**, s. 596

2.3.6.3. Okyanus Isısı Enerjisi (OTEC)

Okyanus enerjisi kullanımında okyanus sularının değişen sıcaklıklarından yararlanılmaktadır. Okyanus yüzeyindeki su ile derindeki su arasında önemli sıcaklık farkı vardır. Güç sistemleri bu sıcaklık farkından enerji üretebilmektedir.

Okyanus ısısı enerji üretiminde, okyanusların güneşten topladığı ısıdaki enerji elektriğe dönüştürülüyor. Bu yöntemle elektrik elde etmek için yüzeydeki su sıcaklığı ile derindeki su sıcaklığı arasındaki farkın 20 derece olduğu yerler kullanılmaktadır.²⁴³

Tropik suların yüzey sıcaklıklarından mekanik enerji üretimi ilk 1881 yılında Jacque d'Arsonval tarafından geliştirilmiştir. Sıcak su, sistemdeki motoru ısıtan sıvının ısınmasını sağlarken soğuk su, bu sıvının soğumasını sağlar. Sıcak ve soğuk su büyük miktarlarda okyanustan uzun büyük çaplı borulara pompalanır, sonra bu sular üçüncü boru ile tekrar okyanusa dökülür.

Hawaii ve Japonya'da OTEC çalışmaları yapılmaktadır. 1979 yılında Hawaii Ulusal Enerji Laboratuvarı tarafından 52 kW elektrik üretim kapasitesine sahip ancak net olarak 15 kW elektrik enerjisi üretebilen küçük sistemin denemesi yapılmıştır. 1981 yılında Japonya'da okyanus enerjisinden 100 kW elektrik üretim kapasitesine sahip ve net olarak 31 kW elektrik enerjisi üreten kıyı OTEC sistemi tanıtılmıştır. 1992 yılında Hawaii'de yapılan çalışmalar sonunda OTEC sistemlerin üretim kapasiteleri 210 kW yükseltilmiştir.

OTEC sistemlerin kullanımını engelleyen bazı nedenler vardır. Bunlar boruların okyanusta yaşayan organizmalar ile tıkanması, ısı ileticilerin paslanması. Üretilen bir birim güce düşen yatırım maliyeti diğer yenilenebilir enerji kaynakları sistemleri ile rekabet edebilmesi için sistemin tüm parçaları ekonomik olarak üretilmelidir.²⁴⁴

²⁴³ Peter Gevorkian, **Sustainable Energy Systems Engineering**, New York , Mc Grow Hill, 2007, s. 281

²⁴⁴ James A. Fay, Dan S. Golomb, **a.g.e.**, s. 180 – 181

3. TÜRKİYE’NİN FOSİL VE YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Enerji bir ekonominin temel girdiği niteliğindedir. Buna bağlı olarak Türkiye için de büyük önem teşkil etmektedir. Türkiye’de enerjinin diğer tüm sektörlerle sağlanması amacı ile beş yıllık kalkınma planlarında ele alınmıştır. Ayrıca son otuz yılda dünya enerji piyasasında meydana gelen olay ve gelişmelere bağlı olarak yeni enerji strateji ve politika geliştirmektedir.

Türkiye’nin enerji sektörü ile ilgili stratejisinin temel unsurları, ülkenin değişen ve gelişen ihtiyaçlarını ortaya koyarken, küresel ölçekte enerji sektöründe gelişmelere yönelik gerekli duruşu gösterecek şekilde olmaktadır. Ayrıca bu durum ili ilgili Türkiye’nin enerji stratejisi AB üyelik sürecini de içermek üzere AB enerji yönetim hususlarını da yansıtmak durumundadır.²⁴⁵

2006 yılında Türkiye’nin birincil enerji talebinin ancak %26,8’i yerli kaynaklar ile karşılanmıştır. Bu değer, enerji güvenliği açısından Türkiye’nin dışa bağımlılığını göstermektedir. 2007 yılında 21,8 milyar dolar ham petrol ve doğal gaz ithalatı gerçekleştirilmiştir.²⁴⁶

Türkiye’nin enerji ihtiyacı sürekli artmaktadır ve bu artışın devam edeceği görülmektedir. 1960 yılında kişi başına enerji tüketimi 0,389 tep iken 2005 yılında bu değer 1,182 tep olmuştur. 1960 yılında 27,5 milyon olan nüfus ise 2006 yılında yaklaşık olarak 73 milyon olmuştur.²⁴⁷ Artan nüfus ve buna bağlı tüketim artışı, sanayileşme ve kalkınma girişimleri doğrultusunda Türkiye’nin enerji ihtiyacı çoğalacağı görülmektedir. Türkiye, enerji güvenliğini sağlamak amacı ile fosil enerji kaynaklarının yanında enerji çeşitliliğine giderek yenilenebilir ve alternatif enerji kaynaklarını verimli kullanması gerekir.

Türkiye’nin 2006 yılı itibariyle genel enerji dengesi incelendiğinde birincil enerji tüketimi 99825 bin tep olmuştur. Bunun %26’sı kömür (%11 linyit), %33’ü petrol,

²⁴⁵ Nusret Alemdaroğlu, **a.g.e.**, s. 41

²⁴⁶ TÜİK İstatistikleri, (Çevrimiçi), http://www.tuik.gov.tr/VeriBilgi.do?tb_id=12&ust_id=4, 20.05.2008

²⁴⁷ Dünya Bankası Verileri, (Çevrimiçi), <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/DATASTATISTICS.html>, 20.05.2008

%29'u doğal gaz, %5'ü hidrolik ve jeotermal enerji, %4 odun, %1,2 hayvan ve bitkisel atık ve %0,5'si rüzgar ve güneş enerjisi ile karşılanmıştır.

2006 yılında enerji talebinin en yüksek olan sektör sanayi sektörü olmuştur. Birincil enerji talebini içinde sanayi sektörün payı %34, konut sektörün %23, çevrim sektörün %21, ulaştırma sektörün %16, tarımın %4 ve diğer sektörlerin %2 olmuştur.²⁴⁸

Türkiye'nin birincil enerji kaynakların üretimini ağırlıklı olarak kömür ve geleneksel biokütle kaynakları oluşturmaktadır.

Tablo – 3.1: Türkiye'nin Birincil Enerji Kaynakların Üretimi (bin tep)

	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2006
Taş Kömür	2790	2936	2195	2199	2080	1319	1060	1348
Linyit	1735	2745	3738	8212	9524	10735	11418	11545
Asfaltit	15	196	240	225	123	28	9	195
Petrol	3719	3250	2447	2216	3903	3692	2886	2284
Doğal gaz			21	62	193	166	581	839
Hidrolik+Jeotermal	261	508	976	1041	2060	3130	2721	3886
Jeotermal ısı	23	56	60	232	364	437	648	1081
Rüzgar							3	11
Güneş					28	143	262	403
Odun	3845	4369	4730	5210	5361	5512	5081	4023
Hayvan ve bitki atıkları	2128	2414	2953	2539	1847	1556	1376	1146
Biyoyakıt								2
Toplam	14516	16473	17358	21935	25478	26719	26047	26763
Artış		13.4	5.4	26.4	16	4.9	-2.5	2.7

Kaynak: ETKB istatistik değerlerinden hazırlanmıştır, (Çevrimiçi), <http://www.enerji.gov.tr/istatistik.asp>, 20.05.2008

Türkiye'nin enerji tüketimi incelendiğinde ortalama yılda %4 arttığı görülmektedir. Özellikle doğal gaz kullanımı 1980'lerin ortalarından itibaren büyük artış göstermiştir.

²⁴⁸ T.C. Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) İstatistikleri, (Çevrimiçi), <http://www.enerji.gov.tr/istatistik.asp>, 20.05.2008

Tablo – 3.2: Türkiye’nin Birincil Enerji Kaynakların Tüketimi (bin tep)

	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2006
Taş Kömür	2883	3025	2824	3775	6150	5905	9933	14721
Linyit	1732	2692	3970	7933	9765	10605	12519	11188
Asfaltit	15	196	240	225	123	28	9	259
Petrol	7958	14178	16074	18134	23901	29324	32297	32551
Doğal gaz			21	62	3110	6313	13728	28867
Hidrolik+Jeotermal	261	508	976	1041	2060	3130	2721	3886
Jeotermal ısı	23	56	60	232	364	437	648	1081
Rüzgar							3	11
Güneş					28	143	262	403
Odun	3845	4369	4730	5210	5361	5512	5081	4023
Hayvan ve bitki atıkları	2128	2414	2953	2539	1847	1556	1376	1146
Biyoyakıt								2
Toplam	18872	27437	31973	39399	52987	63679	80500	99825
Artış		45	17	23	34	20	26	24

Kaynak: ETKB istatistik değerlerinden hazırlanmıştır, (Çevriniçi), <http://www.enerji.gov.tr/istatistik.asp>, 20.05.2008

Gerçekleşen enerji tüketim ve üretim miktarları arasındaki fark Türkiye’yi enerji ithalatçı konumuna getirmektedir. 1970 yılında yerli enerji üretimi ile %77 oranında karşılanabilen enerji tüketimi, 2006 yılında %26,8’i yerli kalan kısmı enerji ithalatı ile karşılanmıştır. Bu da Türkiye’nin enerji bağımlılığının arttığını göstermektedir.

3.1. Türkiye’nin Fosil Enerji Kaynakları

Türkiye’nin fosil enerji kaynakları taş kömür, linyit, az miktarda olsa da petrol ve doğal gaz sayılabilir. Burada Türkiye’nin fosil enerji kaynakları rezerv, üretim ve tüketim açısından ele alınarak genel durumu gösterilmeye çalışılacaktır.

3.1.1. Kömür

Türkiye’de üç çeşit kömür çıkarılıp enerji üretiminde kullanılmaktadır. Bunlar taş kömür, linyit ve asfaltittir. Türkiye’nin en önemli taş kömür havzası Zonguldak yöresinde, batıda Ereğli’den başlayarak doğuda Söğütözü’ne kadar 200 km uzunluğunda

bir kuşak üzerinde yer almaktadır. Kuzey Batı Anadolu Havzası olarak da bilinen bu bölgenin kanıtlanmış kömür rezervi görünür 428 ve muhtemel 449 milyon tondur. Ayrıca, Antalya-Kemer ve Diyarbakır-Hazro yörelerinde 20 milyon ton kadar ve ekonomik değeri olmayan iki taş kömür yatağı bulunmaktadır. Zonguldak'taki taşkömürü alanın tamamı Türkiye Taşkömürü Kurumunun (TTK) elinde bulunmaktadır.²⁴⁹ Türkiye'nin toplam bilinen taşkömürü rezervi 1331 milyon tondur.

Zonguldak taş kömür havzası, çok karmaşık jeolojik yapıya sahip olması nedeni ile kömür üretimini zorlaştırmakta ve emek gücü gerektirmektedir. Taş kömür arama çalışmaları yeterince kaynak olmaması sebebi ile sınırlı kalmıştır.²⁵⁰

Linyit, Türkiye'nin önemli enerji kaynaklarından biridir. Linyit Türkiye'nin her bölgesinde bulunabilir. Önemli linyit rezervleri ise Afşin-Elbistan, Muğla, Soma, Tunçbilek, Seyitömer, Beyazpazar ve Sivas bölgelerde bulunmaktadır. Bunların %90'nı açık işletme ve %10'u yeraltından kazma yöntemi ile üretilmektedir. 2003 yılı itibariyle Türkiye'nin linyit rezervi 8,4 milyar ton olmuştur. Bu rezervin %34,25'i Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu (TKİ), % 39,89'u Türkiye Elektrik Üretim ve İletim A.Ş. (TEAŞ) ve %25,86 'sı da özel sektör ruhsatlarında bulunmaktadır.

Türkiye'nin linyit rezervlerin %68'i düşük ısı değeri (1100 kcal/kg). Rezervlerin %23,5'i 2000 – 3000 kcal/kg, %5,1'i 3000 – 4000 ve kalan %3,4'ü 4000 kcal/kg üstünde ısı değeri sahiptir.²⁵¹

Türkiye'nin asfaltit yatakları Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Şırnak ve Silopi civarında filonlar şeklinde bulunmaktadır. Her iki alan da TKİ'nin elinde bulunmaktadır. Toplam rezerv 82 milyon tondur. Asfaltit ısı değeri yüksek (18 000 kJ/kg), içinde nadir mineraller bulunan ve katı yakıt olarak kullanılmakla birlikte, sentetik petrol üretimine elverişli hammadde durumundadır. Ancak rezervlerin küçük olması ve açık işletmeye

²⁴⁹ Mustafa Özcan Ültanır, **21. Yüzyıla Girerken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi**, s. 57-58, (Çevrimiçi), <http://www.tusiad.org/turkish/rapor/enerji/pdf/index.html>, 10.10.2007

²⁵⁰ IEA, **Energy Policies of IEA Countries Turkey in Review 2005**, s. 89, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2005/turkey2005.pdf>, 20.05.2008

²⁵¹ "Linyit Rapor", (Çevrimiçi), http://www.maden.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=112&tipi=5&sube=0, 20.05.2008

elverişli rezervlerin önemli bölümünün işletilmiş olması nedeni ile şimdi asfaltit termik santrallerde ve evlerde yakıt olarak kullanılmaktadır.²⁵²

Tablo – 3.3:Türkiye’nin Kömür Rezervleri

Kaynaklar	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam
Taş Kömür*	526	425	368	1 330
Linyit **	7 385	946	479	8 380
Asfaltit**	45	29	8	82

* 2007 yılı değerleri ** 2000 yılı değerleri

Kaynak: TTK, (Çevrimiçi), <http://www.taskomuru.gov.tr/file/faaliyet/2007>;

Maden Mühendisler Odası, (Çevrimiçi), http://www.maden.org.tr/genel/bizden_detay.php, 01.06.2008

Üretim

Türkiye’de taş kömür üretimi Osmanlı döneminde de üretilmekte olup Cumhuriyet döneminde 600 bin ton civarında olmuştur. Daha sonraki yıllarda hızla artan üretim 1940 yılında 3 milyon ton, 1975 yılında 8,5 milyon ton düzeyine çıkmıştır. 1980’li yıllardan itibaren düşmeye başlamıştır ve 2006 yılında 2,3 milyon ton olarak gerçekleşmiştir.

Linyit üretiminde, Cumhuriyet döneminde önemli artış olmamıştır. 1948 yılında 1 milyon ton düzeyinde gerçekleşmiştir. 1970’li yılların başlarında petrol krizine bağlı olarak elektrik üretimine yönelik linyit işletmeleri yatırımların başlaması, linyit üretimini hızlandırmıştır. 1970 yılında yaklaşık olarak 5,8 milyon ton olan linyit üretimi 1998 yılında yaklaşık 65 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Ancak bu yıldan itibaren, doğal gaz alım anlaşmaları nedeni ile düşüş gösteren linyit üretimi 2004 yılında 45 milyon olarak gerçekleşmiştir. Son iki yılda petrol fiyatlarındaki artış nedeni ile linyit üretimi artarak 2006 yılında 61 milyon ton olarak gerçekleşmiştir.²⁵³

Asfaltit üretimi diğer kömür çeşitlerine göre sınırlı kalmaktadır. 1970 yılında 36 bin ton olan asfaltit üretimi hızla artarak 1982 yılında 860 bin ton olarak gerçekleşmiştir. Bu yıldan itibaren asfaltit üretimi düşerek 1994 yılında hiç üretim gerçekleşmemiştir.

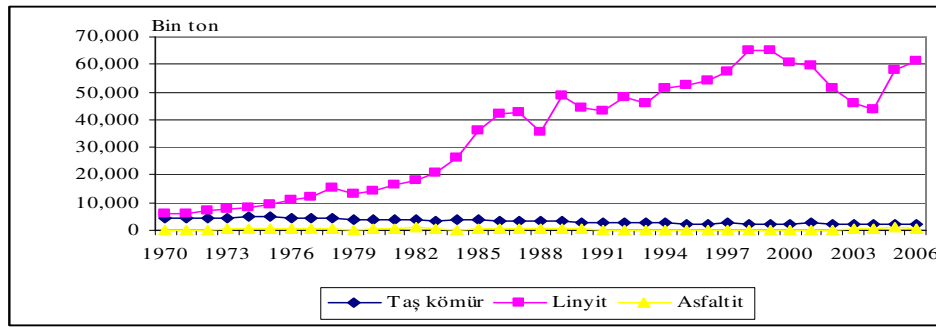
²⁵² Mustafa Özcan Ültanır, **21. Yüzyıla Girerken Türkiye’nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi**, s. 62, (Çevrimiçi), <http://www.tusiad.org/turkish/rapor/enerji/pdf/index.html>, 10.10.2007

²⁵³ Nejat Tamzok, “Küreselleşme, Serbestleşme ve Kömür Endüstrisi”, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ekim 2007, (Çevrimiçi), http://www.emo.org.tr/resimler/ekler/10139afa_33FD145_ek.pdf, 20.05.2008

Takip eden yıllar içerisinde asfaltit üretimi yeniden başlamıştır ve 2006 yılında 452 bin ton olarak gerçekleşmiştir.

2006 yılında toplam birincil 24,1 milyon tep tutarındaki yurtiçi enerji üretimi içerisinde kömürün payı %49 olmuştur. Grafik-3.1’de yıllara göre kömür üretimi verilmiştir.

Grafik – 3.1: Türkiye’nin Kömür Üretimi, 1973 -2006 (bin ton)

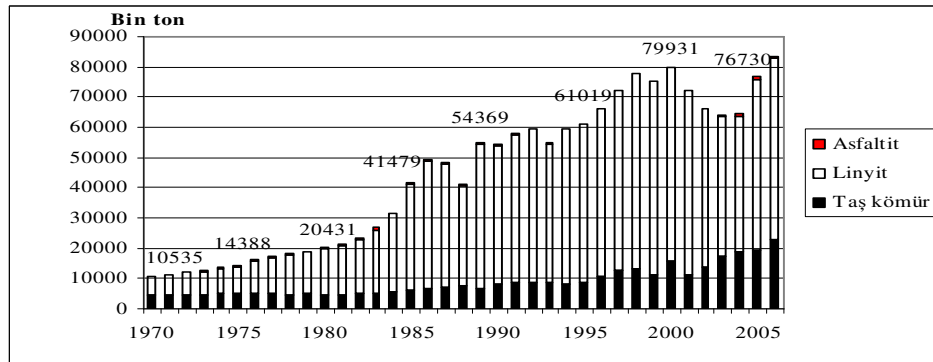


Kaynak: ETKB istatistik değerlerinden hazırlanmıştır, (Çevriniçi), <http://www.enerji.gov.tr/istatistik.asp>, 20.05.2008

Tüketim

Türkiye’de kömür tüketimi 1970 yılında taş kömür tüketimi 4,7 milyon ton, linyit tüketimi 5,8 milyon ton ve asfaltit tüketimi 36 bin ton olmak üzere 10,5 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. 2006 yılı itibariyle taş kömür tüketimi 22,7 milyon ton, linyit tüketimi 60 milyon ton ve asfaltit tüketimi 602 bin ton olmak üzere toplam 83,6 milyon ton kömür tüketilmiştir.

Grafik – 3.2: Türkiye’nin Kömür Tüketimi, 1970-2006 (bin ton)



Kaynak: ETKB istatistik değerlerinden hazırlanmıştır, (Çevriniçi), <http://www.enerji.gov.tr/istatistik.asp>, 20.05.2008

2006 yılı itibariyle toplam ülke enerji ihtiyacının %40'kını kömür ile karşılanmıştır. Elektrik üretiminde kömür kullanımı %24,4 olmuştur. Bu oranın %18,4'ü yerli linyit kömürünün, kalan %8'i ise ithal kömür ve taş kömürün payıdır. Üretilen ve ithal edilen kömürün sektörlere göre kullanım payları incelendiğinde 1970 yılında konut sektöründe kömürün payı %31,1 iken 2006 yılında %9,5 olmuştur. Buna karşın elektrik üretiminde kömürün payı %31,1'den %66,6'ya yükselmiştir. Ulaştırma sektöründe 1970 yılında kömür tüketimi %10,2 iken 1995 yılından itibaren kömürün payı sıfırlanmıştır. Sanayide kömürün tüketim payı %3,7 azalmıştır.

Sanayi sektöründe kömür demir çelik ve çimento üretiminde kullanılmaktadır. Türkiye demir çelik üretiminde ülkeler sıralamasında on beşinci, çimento üretiminde on birinci sırada yer almaktadır. Demir çelik sanayi 400,000 milyon ton civarında Çin menşeli metallurjik kok ve 250,000 milyon ton Rusya, Avustralya ve Venezüella menşeli PCI kömür ithal etmektedir. İthal edilen taş kömürün %25'i demir çelik, çimento sanayisinde ve konut ısıtmalarda kullanılmaktadır. Son yıllarda doğal gaz kullanımının artması ile kömür ithalat hedefleri azalmıştır.²⁵⁴

Tablo – 3.4: Türkiye’de Sektörlere göre Kömür Tüketimi (%)

Sektör	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2006
Konut	31.2	34.8	37.8	31.7	22.5	17.6	9.6	10.3	9.5
Sanayi	27.5	27.3	24.3	20.3	25.6	18.0	25.1	19.9	23.8
Ulaştırma	10.2	5.8	2.2	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Elektrik	31.1	32.1	35.6	47.2	51.8	64.4	65.3	69.8	66.6

Kaynak: ETKB istatistik değerlerinden hazırlanmıştır, (Çevrimiçi), <http://www.enerji.gov.tr/istatistik.asp>, 20.05.2008

Uzmanlar, kömür tüketiminin 2010'da %56 artacağını, 2010 -2020 yılların arasında iki yada üçe katlanacağını tahmin etmektedirler. Bu artışa özellikle elektrik enerjisi üretiminde linyit kullanımının artması neden olacağını belirtmektedirler.²⁵⁵ Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yapılan tahminlere göre 2010 yılında kömür tüketimi 35584 Mtep, 2020 yılında 80501 Mtep ulaşacaktır.²⁵⁶

²⁵⁴ Sabri Oral, “İthal Kömür”, (Çevrimiçi), <http://www.komur.org.tr/makale.html>, 20.05.2008

²⁵⁵ IEA, **Energy Policies of IEA Countries Turkey in Review 2005**, s. 95, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2005/turkey2005.pdf>, 20.05.2008

²⁵⁶ ETKB, (Çevrimiçi), <http://www.enerji.gov.tr/istatistik.asp>, 20.05.2008

3.1.2. Petrol

Türkiye petrol bakımından zengin olmayan bir ülkedir. Ancak kaynak arama ve üretim çalışmalarını devam ettirmektedir. 1954 yılında petrol aranmasına ve işletilmesine yerli ve yabancı özel sermayenin girmesine izin verilmiştir. 1954 – 1997 yılları arasında 188 şirket, petrol arama ve işletme faaliyetinde bulunmuştur.²⁵⁷ 2006 yılında 44 şirket (25’u yabancı, 19’u yerli) arama çalışmalarını sürdürmüştür. On iki şirket (10’u yabancı, 2’i yerli) ise petrol ayrı veya başka şirketle ortaklaşa üretiminde bulunmuştur. Türkiye Petrol Anonim Ortaklığı (TPAO) en büyük petrol üreticisidir ve toplam üretimin %68’ini gerçekleştirmektedir. TPAO’yu Turkse Preenco N.V. %25 payı ile takip etmektedir.²⁵⁸ Türkiye’de önemli petrol şirketleri petrol arama ve işletme faaliyetini TPAO, petrol rafine faaliyetini Türk Petrol Rafineleri A. Ş. (TÜPRAŞ), petrol ürünlerini dağıtım faaliyetini Petrol Ofisi A.Ş (POAŞ) ve petrol ve doğal gaz taşıma ve ithalatını faaliyetini Boru Hatları ile Petrol Taşıma A.Ş. (BOTAS) tarafından gerçekleştirilmektedir.

Türkiye az miktarda petrol rezervlerine sahiptir. Ham petrol rezervleri genel olarak Güney Anadolu Bölgesinde bulunmaktadır. 2006 yılı itibariyle 1290 arama, 533 tespit, 1392 üretim, 30 enjeksiyon, 81 istikşaf olmak üzere toplam 3326 kuyu açılmıştır. Açılan kuyuların toplam alanı 6 388 741 metredir.

2006 yılı itibariyle Türkiye’de ispatlanmış, muhtemel ve mümkün petrol rezervlerin toplamı 984,5 milyon seviyesindedir. Toplam üretilebilir petrol miktarı 126,4 milyon ton olup, üretilebilir petrolün 84,8 milyon tonu üretilmiş ve 41,5 milyon ton üretilebilir petrol kalmıştır.²⁵⁹

²⁵⁷ Mustafa Özcan Ültanır, **21. Yüzyıla Girerken Türkiye’nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi**, s. 64, (Çevrimiçi), <http://www.tusiad.org/turkish/rapor/enerji/pdf/index.html>, 10.10.2007

²⁵⁸ Petrol İşleri Genel Müdürlüğü, (Çevrimiçi) http://www.pigm.gov.tr/2006_petrol_rezervleri.htm, 20.05.2008

²⁵⁹ Petrol İşleri Genel Müdürlüğü, “İstatistikler”, (Çevrimiçi) <http://www.pigm.gov.tr/>, 20.05.2008

Türkiye’de mevcut petrol sahaların çoğu tükenme aşamasına gelmiştir, ancak tekrar üretim yöntemi potansiyeli mevcuttur. Bunun yanında Türkiye’de petrol giderek daha derin kuyularda bulunabilmektedir.²⁶⁰

Tablo – 3.5: 2006 Yılı Sonu ile Türkiye’de Ham Petrol Rezervleri (milyon ton)

Şirketler	Rezervuardaki*	Kümülatif üretilen	Üretilabilir	Kalan üretilabilir
TPAO	694 692 681	97 661 146	68 600 284	29 060 862
N.V.Türkse Perenco	181 746 469	48 698 622	41 182 760	7 515 862
Petroleum E.M.I. & Dorchester	73 087 198	12 746 190	11 184 647	1 561 543
Toreador Turkey Ltd. & TPAO	6 967 064	2 569 940	2 348 423	221 517
N.V.Türkse Perenco & TPAO	15 780 890	3 959 199	1 639 610	2 319 589
Aladdin & GYP	8 577 159	1 349 658	1 128 104	221 554
Aladdin & MDT	3 601 190	900 085	267 848	632 237
Aladdin & TMO	9 671	9 671	4 499	5 172
Aladdin & EPS & AVE	6 938	6 938	5 970	968
Amity Oil & TPAO	13 620	13 555	12 949	606
Thrace Basın	878	878	737	141
Toplam -Total	984 483 758	167 915 882	126 375 831	41 540 051

*İspatlanmış, muhtemel ve mümkün rezervler toplamıdır

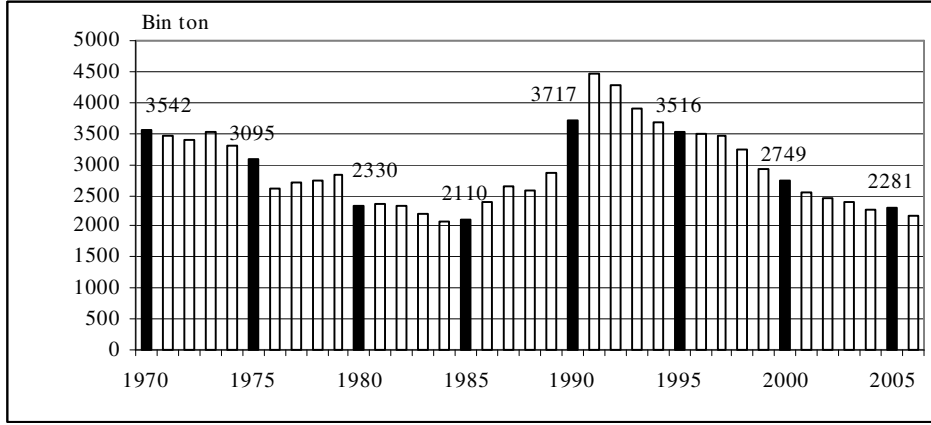
Kaynak: Petrol İşleri Genel Müdürlüğü, (Çevrimiçi) http://www.pigm.gov.tr/2006_petrol_rezervleri.htm, 20.05.2008

Üretimi

Türkiye’de petrol üretimi yıllara göre incelenirse 1970 yılında 3,5 milyon ton seviyesinde olan petrol üretimi 1985 yılına kadar giderek azalmış ve 2,1 milyon olarak gerçekleşmiştir. 1985 yılından sonra artmaya başlayan petrol üretimi 1991 yılında 4,5 milyon tona ulaşmış ve takip eden yıllarda yeniden azalmaya başlamıştır. 2006 yılı itibariyle petrol üretimi 2,2 milyon ton olarak gerçekleşmiştir.

²⁶⁰ Mustafa Özcan Ültanır, **21. Yüzyıla Girerken Türkiye’nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi**, s. 66, (Çevrimiçi), <http://www.tusiad.org/turkish/rapor/enerji/pdf/index.html>, 10.10.2007

Grafik – 3.3: Türkiye’nin Petrol Üretimi, 1973 -2006 (bin ton)



Kaynak: ETKB istatistik değerlerinden hazırlanmıştır, (Çevrimiçi), <http://www.enerji.gov.tr/istatistik.asp>, 20.05.2008

2006 yılında ülke içinde üretilen petrol miktarı toplam petrol tüketiminin ancak %6,9'unu oluşturmuştur. Geri kalan petrol ihtiyacının karşılanması için petrol ithalatı Türkiye için zorunlu olmaktadır. Türkiye yıllık ortalama petrol ithalatı 23 milyon ton olmaktadır. Bu da ülkenin döviz ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Petrol fiyatlarında meydana gelen dalgalanmalar, ülkede ekonomik sorunlar yaratabilir.

Tablo – 3.6: Türkiye’nin Ham Petrol İthalatı, 1996 -2007 (milyon ton)

1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
22.767	23.324	23.791	22.837	21.363	23.142	23.708	24.029	23.917	23.390	23.787	23.446

Kaynak: TÜİK istatistik değerlerinden hazırlanmıştır, (Çevrimiçi), http://www.tuik.gov.tr/VeriBilgi.do?tb_id=12&ust_id=4, 20.05.2008

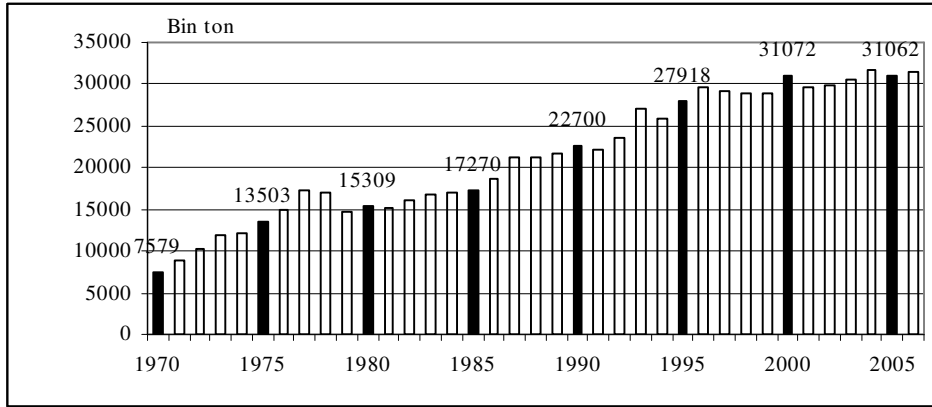
Türkiye’nin petrol ithalatının büyük bir kısmı Orta Doğu ve Afrika’dan gerçekleştirilmektedir. 2003 yılında en büyük miktar İran’dan (%29), Libya’dan (%19) ve Suudi Arabistan (%16) ithal edilmiştir. Türkiye’nin petrol ithalat ettiği diğer ülkeler Irak, Suriye, Mısır, Cezayir, Rusya olmaktadır.²⁶¹

²⁶¹ IEA, **Energy Policies of IEA Countries Turkey in Review 2005**, s. 75-78, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2005/turkey2005.pdf>, 20.05.2008

Tüketim

Türkiye’de petrol tüketimi 1970 yılında 7,6 milyon tondan 2006 yılında 31,4 milyon tona çıkmıştır. Ancak 1979, 1994, 1999, 2001 yıllarında ülkede ve dünyada yaşanan olaylar sonucu petrol tüketiminde azalmalar olmuştur.

Grafik – 3.4: Türkiye’nin Petrol Tüketimi, 1973 -2006 (bin ton)



Kaynak: ETKB istatistik değerlerinden hazırlanmıştır, (Çevriniçi), <http://www.enerji.gov.tr/istatistik.asp>, 20.05.2008

2006 yılında petrolün toplam birincil enerji tüketimindeki payı %32,6 olmuştur. Toplam arz edilen petrolün %14’ü enerji sektöründe kullanılmıştır. 31,4 milyon ton olan petrol tüketiminin 1,8 milyon tonu konut sektöründe, 3,9 milyon tonu sanayide, 3,1 milyon tonu tarımda, 14 milyon tonu ulaştırma sektöründe ve kalan 8,5 milyon tonu elektrik enerjisi üretiminde ve diğer sektörlerde kullanılmıştır. Petrol en çok ulaştırma sektöründe kullanılmakta olup sektörün petrol tüketimindeki payı %44,7 olmuştur.

Tablo – 3.7: Türkiye’de Sektörlere göre Petrol Tüketimi (%)

Sektör	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2006
Konut	15.6	15.7	14.6	12.2	12.6	13.2	10.8	8.5	5.8
Sanayi	24.4	23.4	25.2	21.9	23.4	22.3	12.4	13.8	12.5
Tarım	6.4	4.9	5.9	8.2	8.1	8.4	8.7	9.3	9.9
Ulaştırma	33.2	33.2	31.3	33.4	36.5	37.6	36.3	42.1	44.7
Elektrik ve diğer	2.5	22.8	23.0	24.4	19.4	18.5	26.8	26.3	27.1

Kaynak: ETKB istatistik değerlerinden hazırlanmıştır, (Çevriniçi), <http://www.enerji.gov.tr/istatistik.asp>, 20.05.2008

Uzmanlar, ekonomik büyüme kaydettikçe Türkiye’nin petrol ihtiyacının artacağını ve petrol tüketiminin 2020 yılına kadar %74 oranında artış göstereceğini

tahmin etmektedirler. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yapılan tahminlere göre 2010 yılında petrol tüketimi 39,9 milyon ton, 2020 yılında 58,9 milyon tona ulaşacaktır.²⁶²

3.1.3. Doğal Gaz

Türkiye'nin doğal gaz rezervleri petrol rezervleri gibi sınırlıdır. Türkiye'de doğalgazın varlığı ilk 1970 yılında Kırklareli Kurumlar bölgesinde tespit edilerek, 1976 yılında Pınarhisar Çimento Fabrikası'nda kullanılmaya başlamıştır. Türkiye'nin bilinen doğal gaz üretim alanları Trakya ve Güneydoğu Anadolu bölgesinde bulunmaktadır. Üretimin % 83'den çoğu Hamitabat sahasından yapılmaktadır.²⁶³ TPAO, yerel ve yabancı şirketlerle doğal gaz arama çalışmalarını yürütmektedir. 2003 yılında TPAO toplam 22 doğal gaz sahalarının 16'sına sahiptir. Bu sahaların çoğu kıyı sahalarıdır. İlk kıyıdan uzak sahası olan Kuzey Marmara sahasında 1997 yılında doğal gaz çıkartılmaya başlamıştır. Türkiye'de doğal gaz ithalatını, ihracatını ve toptan satışını BOTAŞ gerçekleştirmektedir. Doğal gaz dağıtımı ise yerel distribütör şirketleri tarafından yapılmaktadır.²⁶⁴

2006 yılı itibarıyla Türkiye'de ispatlanmış, muhtemel ve mümkün doğal gaz rezervlerinin toplamı 21, 856 milyar m³ seviyesindedir. Toplam üretilebilir doğal gaz miktarı 16,405 milyar m³ olup, üretilebilir petrolün 8,6 milyar m³ üretilmiş ve 7,738 milyon ton üretilebilir petrol kalmıştır.

²⁶² ETKB, (Çevrimiçi), <http://www.enerji.gov.tr/istatistik.asp>, 20.05.2008

²⁶³ Mustafa Özcan Ültanır, **21. Yüzyıla Girerken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi**, s. 66, (Çevrimiçi), <http://www.tusiad.org/turkish/rapor/enerji/pdf/index.html>, 10.10.2007

²⁶⁴ IEA, **Energy Policies of IEA Countries Turkey in Review 2005**, s. 99-100, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2005/turkey2005.pdf>, 20.05.2008

Tablo – 3.8: 2006 Yılı Sonu ile Türkiye’de Doğal Gaz Rezervleri (m³)

Şirketler	Rezervuardaki*	Üretilbilir	Kümülatif üretim	Kalan üretilbilir
TPAO	11 263 837 545	8 251 257 545	6 777 555 166	1 473 702 379
N.V.Turkse Perenco	4 654 326 807	3 258 023 101	173 940 387	3 084 082 714
Amity Oil İnt. & TPAO	1 459 267 558	1 095 350 669	755 676 943	339 673 726
Thrace Basin	1 643 200 000	1 434 100 000	725 615 427	708 484 573
Thrace Basin & Pinnacle Turkey	496 227 637	496 227 637	234 113 889	262 113 748
Toreador & TPAO & SET	2 339 300 000	1 870 600 000		1 870 600 000
Toplam	21 856 159 547	16 405 558 952	8 666 901 812	7 738 657 140

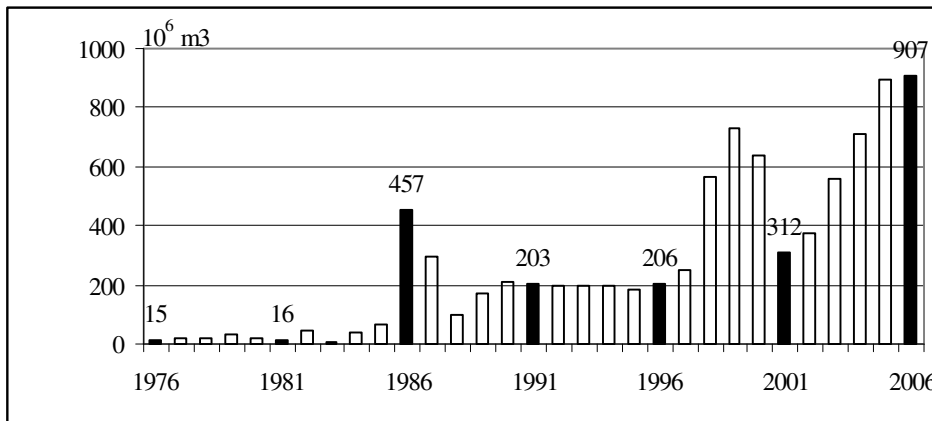
*İspatlanmış, muhtemel ve mümkün rezervler toplamıdır

Kaynak: Petrol İşleri Genel Müdürlüğü, (Çevrimiçi) http://www.pigm.gov.tr/2006_petrol_rezervleri.htm, 20.05.2008

Üretim

Türkiye’de doğal gaz üretimi ilk kez 1976 yılında 15 milyon m³ seviyesinde gerçekleşmiştir. 1986 yılında doğal gaz üretiminde bir sıçrama olmuştur ve üretim 8 milyon m³ çıkmıştır. 1987 – 1997 yılları arasında doğal gaz ortalama 185 milyon m³ seviyesinde üretilmiştir. 1999 yılında 731 milyon m³ seviyesine ulaşan doğal gaz üretimi 2001 yılında yaşanan kriz nedeni ile 312 milyon m³ seviyesine düşmüştür. Takip eden yıllarda doğal gaz üretimi artış göstererek 2006 yılında 907 milyon m³ ulaşmıştır.

Grafik – 3.5: Türkiye’nin Doğal Gaz Üretimi, 1973 -2006 (bin ton)



Kaynak: ETKB istatistik değerlerinden hazırlanmıştır, (Çevrimiçi), <http://www.enerji.gov.tr/istatistik.asp>, 20.05.2008

Türkiye’de üretilen doğal gaz ülke doğal gaz ihtiyacının yaklaşık %2’sini karşılamaktadır. Bu da Türkiye’yi doğal gaz ithalatçısı konumuna getirmektedir. Tüm doğal gaz ithalat faaliyetleri BOTAŞ tarafından gerçekleştirilmektedir ve sekiz uzun dönem alım satım anlaşması vardır.

Tablo – 3.9: Doğal Gaz Alım Anlaşmaları

Mevcut Anlaşmalar	Miktar (Plato)	İmzalanma Tarihi	Süre (Yıl)	Durumu
	(Milyar m ³ /yıl)			
Rus. Fed. (Batı)	6	14 Şubat 1986	25	Devrede
Cezayir (LNG)	4	14 Nisan 1988	20	Devrede
Nijerya (LNG)	1.2	9 Kasım 1995	22	Devrede
İran	10	8 Ağustos 1996	25	Devrede
Rus. Fed. (Karadeniz)	16	15 Aralık 1997	25	Devrede
Rus. Fed. (Batı)	8	18 Şubat 1998	23	Devrede
Türkmenistan	16	21 Mayıs 1999	30	?
Azerbaycan	6.6	12 Mart 2001	15	Devrede

Kaynak: BOTAŞ, (Çevrimiçi), http://www.botas.gov.tr/dogalgaz/dg_alim_ant.as, 20.05.2008

2007 yılında ithal edilen doğal gazın %63,5’i Rusya Federasyonu’ndan, %16’sı İran’dan, %11,7’si Cezayir’den, %4’ü Nijerya’dan, ilk kez %3,5’i Azerbaycan’dan ve %0,5’i spot piyasalarından ithal edilmiştir. Toplam 36,450 milyar m³ gaz ithal edilmiş olup, doğal gaz satış miktarı 35,064 milyar m³ olmuştur. Satışların 19,658 milyar m³’ü elektrik enerjisi, 7,836 milyar m³’ü sanayi ve 7,570 milyar m³’ü konut sektörlerine yapılmıştır.²⁶⁵

²⁶⁵ BOTAŞ, “Doğal Gaz Ticareti”, (Çevrimiçi), http://www.botas.gov.tr/dogalgaz/dg_ticareti.asp, 20.05.2008

Tablo – 3.10: Türkiye’nin Yıllar İtibarıyla Doğal Gaz Alımları (milyar m³)

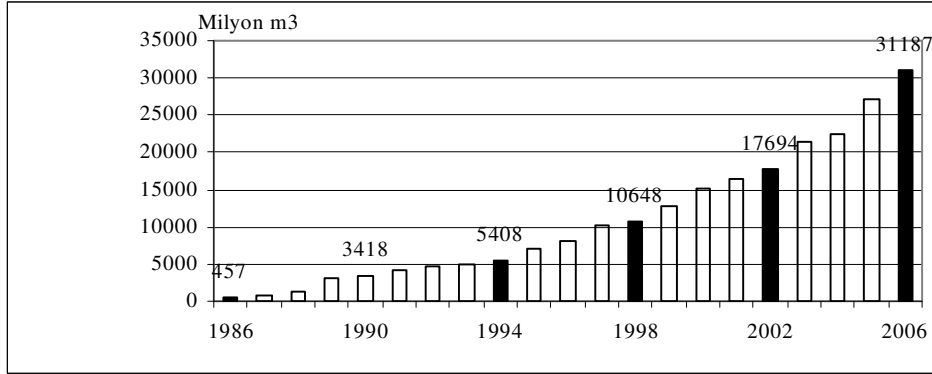
	Rusya Fed.Batı Hattı	İran	Rusya Fed. Maviakım	Azerbaycan	Nijerya Lng	Cezayir Lng	Spot Lng	Toplam
1987	433	-	-	-	-	-	-	433
1988	1.136	-	-	-	-	-	-	1.136
1989	2.986	-	-	-	-	-	-	2.986
1990	3.246	-	-	-	-	-	-	3.246
1991	4.031	-	-	-	-	-	-	4.031
1992	4.43	-	-	-	-	-	-	4.43
1993	4.952	-	-	-	-	-	-	4.952
1994	4.957	-	-	-	-	418	-	5.375
1995	5.56	-	-	-	-	1.058	240	6.859
1996	5.524	-	-	-	-	2.436	80	8.041
1997	6.574	-	-	-	-	3.3	-	9.874
1998	6.539	-	-	-	-	3.051	644	10.233
1999	8.693	-	-	-	77	3.256	332	12.358
2000	10.079	-	-	-	780	3.962	-	14.821
2001	10.931	115	-	-	1.337	3.985	-	16.368
2002	11.603	669	-	-	1.274	4.078	-	17.624
2003	11.422	3.52	1.252	-	1.126	3.867	-	21.188
2004	11.106	3.558	3.238	-	1.034	3.237	-	22.174
2005	12.857	4.322	4.969	-	1.03	3.851	-	27.028
2006	12.246	5.691	7.403	-	1.118	4.203	80	30.741
2007	13.799	6.158	9.346	1.279	1.42	4.277	170	36.45
2008/3	4.916	1.094	3.945	1.474	481	1.852	339	14.101

Kaynak: BOTAŞ, (Çevrimiçi), http://www.botas.gov.tr/dogalgaz/dg_alim_ant.asp, 20.05.2008

Tüketim

Türkiye’de doğal gaz tüketimi az miktarda 1976 yılında sanayide ve 1987 yılında diğer sektörlerde kullanılmaya başlaması ile hızlı artış göstermiştir, özellikle 1990’ların yarısından itibaren. 1976 yılında 15 milyon m³ seviyesinde olan doğal gaz tüketimi 1986 yılında 457 milyon m³ ve 2006 yılında 31187 milyon m³ seviyesine yükselmiştir.

Grafik – 3.6: Türkiye’nin Doğal Gaz Tüketimi, 1976 -2006 (milyon m³)



Kaynak: ETKB istatistik değerlerinden hazırlanmıştır, (Çevriniçi), <http://www.enerji.gov.tr/istatistik.asp>, 20.05.2008

2006 yılı itibariyle doğal gazın toplam birincil enerji tüketimi içindeki payı %29 olmuştur. Doğal gazın çoğu elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır. 2006 yılında elektrik enerji üretiminde doğal gazın payı %48 olmuştur. Toplam doğal gaz tüketimi 31187 milyon m³ seviyesinde olup bunun %22’i konut, %22,7’i sanayi, %0,46’ı ulaştırma ve en büyük pay %54,1’i elektrik ve diğer sektörlerde gerçekleştirilmiştir.

Tablo – 3.11: Türkiye’de Sektörlere göre Doğal Gaz Tüketimi (%)

Sektör	1987	1990	1995	2000	2005	2006
Konut		1.4	14.3	21.7	21.1	22.8
Sanayi	8.7	23.8	33.7	12.7	20.8	22.7
Ulaştırma			0.01	0.03	0.02	0.46
Elektrik ve diğer	91.3	74.8	51.9	65.5	58	54.1

Kaynak: ETKB istatistik değerlerinden hazırlanmıştır, (Çevriniçi), <http://www.enerji.gov.tr/istatistik.asp>, 20.05.2008

Devlet tarafından yapılan tahminlerde doğal gaz tüketiminin 2010 yılına kadar yılda %10,5 oranında ve daha sonraki yıllarda %3,2 oranında artış göstererek 2020 yılında üçe katlanacağı beklenmektedir. Çoğu elektrik enerjisi üretiminde kullanılan doğal gaz tüketiminin yeni artışları konut ve sanayi sektörlerin tüketim miktarların artması ile olacağı belirtilmektedir. Konya-İzmir, Gümüşhane-Trabzon ve Bayburt-Rize

boru hatların tamamlanması ile 60 şehirde ve nüfusun %80'i evlerde doğal gaz kullanılabilir. ²⁶⁶

3.2.Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Türkiye büyük yenilenebilir enerji potansiyeline sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynakları, yerel enerji üretimi için katkı sağlayan kömürden sonra ikinci önemli enerji kaynağıdır. 2006 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerji miktarı 10552 bin tep olmuştur, bu da toplam birincil enerji üretiminin %39,5'ini oluşturmaktadır. Türkiye'de kullanılan yenilenebilir enerji kaynakların yarısından fazlasını yanan yenilenebilir enerji kaynakları ve atıklar (odun, hayvan ve bitki atıkları), kalanını hidrolik ve jeotermal enerji oluşturmaktadır. İstatistik verilerine göre bu enerji kaynakları eskiden beri kullanılmakta iken güneş enerjisinden enerji üretimi 1986 yılında, rüzgar enerjisinden enerji üretimi 1998 yılında ve biyoyakıt üretimi 2006 yılında başlamıştır. Bugün çok az miktarda üretilen güneş ve rüzgar enerjisi, gelecekte artacağı beklenmektedir.

²⁶⁶ IEA, **Energy Policies of IEA Countries Turkey in Review 2005**, s. 105, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2005/turkey2005.pdf>, 20.05.2008

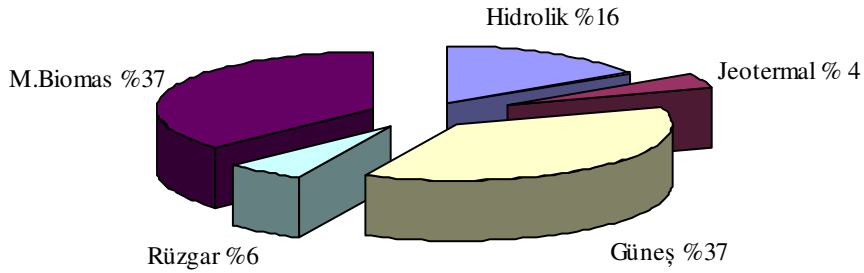
Tablo – 3.12: Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Potansiyeli

Kaynaklar	Brüt	Teknik	Ekonomik(kullanılabilir)
Hidrolik Enerji			
MW	107500	53750	34862
Milyar kWh/yıl	430	216	124,5
Jeotermal Enerji			
Isı (MW)	31500	7500	2843
Mtep/yıl	-	5,4	1,8
Elektrik (MW)	4500	500	350
Milyar kWh/yıl	-	-	1,4
Güneş enerjisi			
Isı+Elektrik (MW)	111500 x 10 ³	1400000	116000
Milyar kWh/yıl	977000	6105	305
Mtep/yıl	80000	500	25
Rüzgar enerjisi (karasal)			
Elektrik(MW)	200000	5500	20000
Milyar kWh/yıl	400	110	50
Rüzgar enerjisi (deniz)			
Elektrik(MW)	-	60000	-
Milyar kWh/yıl	-	180	-
Dalga/Deniz enerjisi			
Elektrik(MW)	75000	9000	-
Milyar kWh/yıl	150	18	-
Klasik Biomass Enerji			
Yakıt Mtep/yıl	30	10	7
Klasik Biomass Enerji			
Yakıt Mtep/yıl	90	40	25

Kaynak: Mustafa Özcan Ültanır, **21. Yüzyıla Girerken Türkiye’nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi**, s. 73, (Çevrimiçi), <http://www.tusiad.org/turkish/rapor/enerji/pdf/index.html>, 10.10.2017

Yenilenebilir enerji kaynakların ekonomik(kullanılabilir) potansiyeli 68 Mtep/yıl olup bu toplamdaki kaynakların payları Grafik-3.7’de gösterilmiştir.

Grafik – 3.7: Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları Ekonomik Potansiyelinin Kaynaklara Göre Dağılımı (%)



Kaynak: Mustafa Özcan Ültanır, **21. Yüzyıla Girerken Türkiye’nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi**, s. 73, (Çevrimiçi), <http://www.tusiad.org/turkish/rapor/enerji/pdf/index.html>, 10.10.2008

Türkiye’de dünyadaki gelişme ve değişimlere bağlı olarak 10 Mayıs 2005’te 5346 Kanun Numarası ile “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun” çıkarılmıştır.

Bu Kanunun amacı; yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımının yaygınlaştırılması, bu kaynakların güvenilir, ekonomik ve kaliteli biçimde ekonomiye kazandırılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, atıkların değerlendirilmesi, çevrenin korunması ve bu amaçların gerçekleştirilmesinde ihtiyaç duyulan imalat sektörünün geliştirilmesidir.²⁶⁷

Kanunun çıkmasından sonra Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakların kullanımı ve bu amaçla yapılan yatırımlar artış göstermiştir. Özellikle rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretimi için çok sayıda lisans başvurusunda bulunulmuştur.

3.2.1. Hidrolik Enerji

Türkiye, dünya teknik yapılabilir hidroelektrik potansiyelinde %1,53 paya sahip bir ülkedir. Türkiye’nin hidrolik enerji potansiyeli yıllık 216 milyar kWh olup, 126

²⁶⁷ “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun”, (Çevrimiçi), <http://www.tbmm.gov.tr/kanunlar/k5346.html>, 20.05.2008

milyar kWh'i kullanılabilir düzeydedir. Teknik hidroelektrik potansiyelinin %21'i ve ekonomik hidroelektrik potansiyelin %35,6'sı kullanılmaktadır.

Günümüz itibariyle Türkiye'de 135 adet hidroelektrik santral işletmede bulunmaktadır. Bu santraller 12 631 MW'lık bir kurulu güce ve 45325 GWh'lık yıllık ortalama üretim kapasitesine sahiptir. Hidroelektrik potansiyeli değerlendirme çalışmaları devam etmektedir. Kurulu ve kurulacak olan 678 adet santralde toplam 36220 MW kurulu güç ve 127381 GWh ortalama yıllık elektrik üretim kapasitesi olacağı beklenmektedir.²⁶⁸

Tablo – 3.13: Türkiye'nin Hidroelektrik Durumu, 2007

Projenin Durumu	Santral adedi	Kurulu güç (MW)	Ortalama yıllık üretim(GWh)	Oran (%)
İşletmede	135	12631	45325	36
İnşa halinde	41	3187	10645	8
Gelecekte inşa edilecek	502	20442	71411	56
Toplam	678	36260	127381	100

Kaynak: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), (Çevrimiçi), <http://www.dsi.gov.tr/hizmet/enerji.htm>.

Türkiye'nin yağış rejimi, zaman ve yer bakımından düzensiz ve dengesizdir ve meteorolojik koşullara bağlı olarak her yıl önemli ölçüde değişim gösterme niteliğine sahiptir. Buna bağlı olarak hidroelektrik üretimi yıllara göre farklılık göstermesi kaçınılmazdır.²⁶⁹

1970 yılında üretilen hidroelektrik enerjisi 3032 GWh seviyesinde olup toplam elektrik enerjisi üretimindeki payı %35 olmuştur. 2006 yılında yeni santrallerin kurulması ile hidroelektrik enerji üretimi 37798 GWh seviyesine yükselmiştir.

Hidroelektrik santrallerin daha önceki yıllarda elektrik üretimindeki payı %40 seviyelerinde iken uygulanan enerji politikaları çerçevesinde hidroelektrik santrallerine yapılan yatırımların doğal gaz kullanılan termik santrallere kaydırılması nedeni ile ülke toplam elektrik üretiminde hidroelektrik santrallerin son yıllardaki payı %24'e kadar düşmüştür.²⁷⁰

²⁶⁸ DSİ, "Hidroelektrik Enerji", (Çevrimiçi), <http://www.dsi.gov.tr/hizmet/enerji.htm>, 20.05.2008

²⁶⁹ "Hidroelektrik enerji", (Çevrimiçi),

http://yenilenebilirenerjikaynaklari.ws.tc/Hidroelektrik_enerjisi.htm, 10.10.2007

²⁷⁰ Nusret Alemdaroğlu, **a.g.e.**, s. 61

Türkiye’de mevcut hidrolik enerji potansiyeli etkin değerlendirilmesinde ve hidroelektrik santral projelerinin gerçekleştirilmesinde, başlıca sorun finansman temini olmaktadır. Bu sorunun aşılabilmesi ve gerekli finansmanın sağlanabilmesi için yap-işlet-devret, yap-işlet, yap-sahiplen-işlet, işletme hakların devredilmesi ve otoprodüktör gibi seçenekler geliştirilerek yerli girişimcilerin desteklenmesi gerekmektedir.²⁷¹

3.2.2. Güneş Enerjisi

Türkiye coğrafi konumu itibarıyla güneş kuşağı içerisinde yer almakta ve güneş enerjisi kullanımının uygun olduğu bir ülkedir. Yıllık güneşleme süresi 2640 saat olup, yılın 29,8’zini oluşturmaktadır. Günlük ortalama ışınlam şiddeti ise 3,6 kWh/m². Türkiye’nin tüm yüzeyine bir yılda düşen enerji miktarı 977000 TWh’dır. Buna göre Türkiye 80 milyar tep teorik güneş potansiyeline sahip olup, bu değer 2006 yılı birincil enerji tüketiminin 800 katıdır.²⁷²

Türkiye’nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi 2993 saat/yıl ile Güney Doğu Anadolu bölgesidir. Bunu sırayla Akdeniz (2956 saat/yıl), Ege (2738 saat/yıl), Güney Anadolu (2664 saat/yıl), İç Anadolu (2628 saat/yıl), Marmara (2409 saat/yıl) ve Karadeniz (1971 saat/yıl) bölgeleri takip etmektedir.

Tablo – 3.14: Türkiye’nin Güneş enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/yıl)
G.Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Kaynak: Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE), (Çevrimiçi), <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/tgunes.html>, 20.05.2008

²⁷¹ Filiz Karaosmanoğlu, **a.g.e.**, s. 32

²⁷² Haluk Sayar, “Seragazi Azaltımı ve Güneş Enerjisi”, (Çevrimiçi), http://www.eurosolar.org.tr/index.php?option=com_content&task=view&id=27&Itemid=65, 10.10.2007

Güneşleme süresinin aylık dağılımında Türkiye ortalaması en yüksek değer 362 saat/ay ile Temmuz ayında olmakta ve en düşük değer 98 saat/ay ile Aralık ayında olmaktadır. Ancak, bu değerlerin, Türkiye'nin gerçek potansiyelinden daha az olduğu, daha sonra yapılan çalışmalar ile anlaşılmıştır. 1992 yılından bu yana Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) ve Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ), güneş enerjisi değerlerinin daha sağlıklı olarak ölçülmesi amacıyla enerji amaçlı güneş enerjisi ölçümleri almaktadırlar. Devam etmekte olan ölçüm çalışmalarının sonucunda, Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin eski değerlerden %20-25 daha fazla çıkması beklenmektedir.²⁷³

Tablo – 3.15: Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi		Güneşlenme Süresi
	(kcal/cm ² -ay)	(kWh/m ² -ay)	(Saat/ay)
Ocak	4,45	51,75	103,0
Şubat	5,44	63,27	115,0
Mart	8,31	96,65	165,0
Nisan	10,51	122,23	197,0
Mayıs	13,23	153,86	273,0
Haziran	14,51	168,75	325,0
Temmuz	15,08	175,38	365,0
Ağustos	13,62	158,40	343,0
Eylül	10,60	123,28	280,0
Ekim	7,73	89,90	214,0
Kasım	5,23	60,82	157,0
Aralık	4,03	46,87	103,0
Toplam	112,74	1311	2640
Ortalama	308,0 cal/cm²-gün	3,6 kWh/m²-gün	7,2 saat/gün

Kaynak: Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, (Çevrimiçi), <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/tgunes.html>, 20.05.2008

Güney Doğu Anadolu, Akdeniz ve güney Ege bölgeleri güneş termal elektrik üretimini mümkün kılan 1,700 kWh/yıl üstünde güneş ışıyım değerine sahip bölgelerdir. Tarım alanı dışında kullanılan diğer arazi alanının, arazi yapısı ve bölgesel uygulanabilirlik açısından sadece %2'sinin güneş termal elektrik için kullanılabileceği varsayımı ile hesaplanan teknik uygulanabilir güneş termal elektrik potansiyeli 38,32

²⁷³ EİE, "Türkiye'de Güneş Enerjisi", (Çevrimiçi), <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/tgunes.html>, 20.05.2008

TWh/yıl ve kurulu güç 20168 MW olmaktadır.²⁷⁴ Bu değer 2007 yılı elektrik tüketiminin %20'sini güneş termal elektrik santralleriyle karşılanabilme potansiyeli olduğunu göstermektedir.

Türkiye’de bugün çoğu Akdeniz ve Ege Bölgelerinde kullanılmakta olan, güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştüren sıcak su üretme sistemleridir. Kurulu olan güneş kolektörü miktarı yaklaşık 12 milyon m² olup, yıllık üretim hacmi 750 bin m²’dir ve bu üretimin %20 – 25’i da ihraç edilmektedir. Güneş enerjisinden ısı enerjisi yıllık üretimi 420 bin tep civarındadır. Güneş kolektörlerinin ürettiği ısı enerjinin birincil enerji tüketimine katkısı yıllara göre aşağıda yer almaktadır.²⁷⁵

Tablo – 3.16:Türkiye’de Yıllara Göre Güneş Termal Enerjisi Üretimi

	1986	1990	1995	2000	2005	2007
TEP	5	28	41	262	385	420

Kaynak: ETKB istatistik değerlerinden hazırlanmıştır, (Çevrimiçi), <http://www.enerji.gov.tr/istatistik.asp>, 20.05.2008

ESTIF tarafından Nisan 2003 de yapılan bir çalışmaya göre, AB’nin 1,4 milyar m² teknik-ekonomik güneş termal potansiyeli bulunmaktadır. Burada güneş termal kullanımı her 1000 kişi için 2700 m² kabul edilmiştir. Burada belirtilen 2700 m² kolektör alanının, 700 m²’si suyu ısıtma, 1000 m²’si mekan ısıtma, mekan soğutma ve 1000 m²’si endüstriyel yada hizmet ısı ihtiyacını karşılayacağı düşünülmüştür. Aynı ekonomik teknik potansiyel hesap şekli, Türkiye için uyguladığında, yıllık 94,5 TWh veya 8,13 Mtep güneş termal uygulanabilir teknik potansiyelin olduğu ortaya çıkmıştır.

Tablo – 3.17: Türkiye’nin Güneş Termal Enerji Potansiyeli

1000 kişi için potansiyel m ²	Net potansiyel m ²	Senelik enerji üretimi	
		GWh	Mtep
2700	189000000	94500	8,13

Kaynak: Haluk Sayar, “Seragazi Azaltımı ve Güneş Enerjisi”, (Çevrimiçi), http://www.eurosolar.org.tr/index.php?option=com_content&task=view&id=27&Itemid=65, 10.10.2007

Fotovoltaik pil sistemleri konusunda EİE küçük elektrik şebekesine bağlı olmayan sistemler ve bir elektrik şebekesine bağlı proje geliştirmiştir. İstenilen güçte ve

²⁷⁴ Haluk Sayar, “Seragazi Azaltımı ve Güneş Enerjisi”, (Çevrimiçi), http://www.eurosolar.org.tr/index.php?option=com_content&task=view&id=27&Itemid=65, 10.10.2007

²⁷⁵ EİE, “Türkiye’de Güneş Enerjisi”, (Çevrimiçi), <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/tgunes.html>, 20.05.2008

yerleşim yerlerinden uzak yerlerde kurulabilen bu küçük elektrik şebekesine bağlı olmayan güneş pili sistemleri Türkiye’de gözetme kuleleri, deniz fenerleri, trafik ışıkları, otoyol aydınlatması sistemlerinde kullanılmaktadır. Küçük güçlerin karşılanması ve araştırması amaçlı kullanılan güneş pili kurulu gücü 1 MW’a ulaşmıştır.²⁷⁶

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) bina envanterinde belirtilen 394 km² çatı alanının 189 km²’si güneş termal, 205 km²’si güneş elektrik üretiminde kullanılacağı varsayımı ile Türkiye’nin PV teknik potansiyeli aşağıdaki tablodaki gibi hesaplanmıştır.

Tablo – 3.18: Türkiye’nin PV Potansiyeli

Toplam Potansiyel Alan (km ²)		PV kurulu güç	Senelik Enerji Üretimi	
Güneş termal	PV	Potansiyel MWp	Gwh	Mtoe
189	205	25.625	32.671	2,79

Kaynak: Haluk Sayar, *SeragaziAzaltımı ve Güneş Enerjisi*, (Çevrimiçi),

http://www.eurosolar.org.tr/index.php?option=com_content&task=view&id=27&Itemid=65, 10.10.207

2006 yılında 403 bin tep güneş enerjisi üretilmiştir. Bu da birincil enerji tüketiminin %0,4’ünü oluşturmaktadır. Üretilen güneş enerjisinin %70’i (281 bin tep) konut ısıtmada ve kalan %30’u (122 bin tep) sanayide kullanılmıştır.

1975 yılında İzmir’de ilk Ulusal Güneş Enerjisi Kongresi ile başlayan güneş enerjisi çalışmaları, bugün EİE, TÜBİTAK, 18 tane üniversite ile devam etmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalar sonucu uluslar arası standartta güneş kolektörleri üretilmekte ve bir miktarı ihraç edilmektedir. Türkiye’de güneş enerjisi kullanımının artması için devletin maddi teşvikleri ve yasal düzenlemeleri gerekmektedir.²⁷⁷

3.2.2. Rüzgar Enerjisi

Türkiye rüzgar bakımından zengin bölgeleri olan bir ülkedir. 10 m yükseklikteki yıllık ortalama rüzgar hızı ve güç yoğunluğu açısından en yüksek değer 3.29 m/sn ve 51.91 W/m² ile Marmara bölgesinde saptanmıştır. En düşük değer ise, 2.12 m/sn hız ve

²⁷⁶ IEA, *Energy Policies of IEA Countries Turkey in Review 2005*, s. 105, (Çevrimiçi),

<http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2005/turkey2005.pdf>, 20.05.2008

²⁷⁷ Gürbüz Atagündüz, “Alternatif Enerji Yatırımlarının Dünya ve Türkiye’deki Uygulamaları Oturum Konuşması”, *Ulusal Enerji Forumu Kitabı*, 2001, İş Bankası, s. 109-113

13.19 W/m² güç yoğunluğu ile Doğu Anadolu bölgesindedir. Türkiye'nin %64.5'inde rüzgar enerjisi güç yoğunluğu 20 W/m²'yi aşmazken, %16.11'inde 30-40 W/m² arasında, %5.9'unda 50 W/m²'nin ve %0.08'inde de 100 W/m²'nin üzerindedir.²⁷⁸

Türkiye'nin rüzgar potansiyeli tam olarak belirlenmemiş olsa da, Türkiye Rüzgar Atlası verilerine göre Türkiye'nin teknik rüzgar potansiyeli 88000 MW ve ekonomik potansiyeli 10000 MW' tır. Marmara, Ege ve Doğu Akdeniz bölgeleri rüzgar enerjisi kullanımı için en cazip bölgelerdir.²⁷⁹

Rüzgar Enerjisi ve Su Santralleri İşadamı Derneği (RESSİAD)'ın yaptığı hesaplara göre Türkiye'nin kullanılabilir rüzgar gücü karasal alanda 20000 MW ve üretilebilecek yıllık elektrik enerji miktarı 50000 GWh/yıl; denizde ise kullanılabilir potansiyeli 15000 MW ve üretilebilecek yıllık elektrik enerji miktarı 45000 GWh/yıl'dır.

Tablo – 3.19: Türkiye'nin Rüzgar enerji Potansiyeli

	Karasal Alanda			Deniz Üstüde		
	Brüt	Teknik	Kullanılabilir	Brüt	Teknik	Kullanılabilir
Güç (MW)	220 000	55 000	20 000	-	60 000	15 000
Enerji(GWh/yıl)	400 000	110 000	50 000	-	180 000	45 000

Kaynak: Mustafa Ültanır, *Rüzgar, su ve Türkiye*, (Çevrimiçi), <http://www.ressiad.org.tr/makaleler.php?ID=21>, 10.10.2007

Rüzgar enerjisi sektörü ile ilgili olarak hazırlanmış olan son durum verilerine göre Türkiye'nin işletmedeki kurulu gücü 146,25 MW, inşaatı devam eden projelerin kurulu gücü 144,40 MW ve rüzgar türbini tedarik sözleşmesi imzalı kurulacak güç 531,66 MW olup toplam 2009 yılında ulaşılabilecek kurulu güç 837,61 MW' tır. Tüm rüzgar santralleri şebeke bağlantılıdır.

²⁷⁸ Muhsin Gençoglu, "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Açısından Önemi", (Çevrimiçi), http://perweb.firat.edu.tr/personel/yayinlar/fua_612/612_502.pdf, 20.05.2008

²⁷⁹ IEA, *Energy Policies of IEA Countries Turkey in Review 2005*, s. 105, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2005/turkey2005.pdf>, 20.05.2008

Tablo – 3.20:Türkiye’nin İşletmedeki ve Devreye Alınacak Santrallerin Kurulu Gücü

Mevkii	Şirket	Üretime geçiş tarihi	Kurulu güç (MW)	Kullanılan RT	RT kurulu gücü	Adedi
İzmir-Çeşme	Alize A.Ş.	1998	1,50	Enercon	600 kW	3
İzmir-Çeşme	Güçbirliği A.Ş.	1998	7,20	Vestas	600 kW	12
Çanakkale- Bozcaada	Bores A.Ş.	2000	10,20	Enercon	600 kW	17
İstanbul- Hadımköy	Sunjüt A.Ş.	2003	1,20	Enercon	600 kW	2
Balıkesir- Bandırma	Bares A.Ş.	I/2006	30,00	GE	1,5 MW	20
İstanbul-Silivri	Ertürk A.Ş.	II/2006	0,85	Vestas	850 kW	1
İzmir-Çeşme	Mare A.Ş.	I/2007	39,20	Enercon	800 kW	49
Çanakkale-İntepe	Anemon A.Ş.	I/2007	30,40	Enercon	800 kW	38
Manisa-Akhisar	Deniz A.Ş.	I/2007	10,80	Vestas	1,8 MW	6
Çanakkale- Gelibolu	Doğal A.Ş.	II/2007	15,20	Enercon	880 kW	18
İŞLETMEDEKİ KURULU GÜÇ			146,25			
Manisa-Sayalar	Doğal A.Ş.	II/2007	30,40	Enercon	800 kW	38
Hatay-Samandağ	Deniz A.Ş.	II/2007	30,00	Vestas		12
İstanbul-G.paşa	Lodos A.Ş.	I/2008	24,00	Enercon E82	2MkW	
İstanbul-Çatalca	Ertürk A.Ş.	I/2008	60,00	Vestas V90	3 MW	
İNŞAATI DEVAM EDEN PROJELER			144,40			
Muğla-Datça	Dares A.Ş.	I/2008	28,80	Enercon	800 kW	36
İzmir-Aliğa	İnnores A.Ş.	I/2008	42,50	Nordex N90	2,5 MW	21
Aydın-Çine	Sabaş A.Ş.	I/2008	19,50	Vensys	1,5 MW	13
Çanakkale	Aş Makinsan Temiz A.Ş.	II/2008	30,00	Nordex N90	2,5 MW	12
	Enercon			20 x E70 (2 MW)	43	
İzmir-Kemalpaşa	Ak-El A.Ş.	II/2008	66,66			23 x E44 (900 kW)
Hatay-Samandağ	Ezse Ltd. Şti.	II/2008	35,10	Fuhrlander	900 kW	39
Hatay-Samandağ	Ezse Ltd. Şti.	II/2008	22,50	Fuhrlander	2,5 MW	9
Bilecik	Sagap A.Ş.	II/2008	66,60	Conergy	900 kW	74
Balıkesir-Şamlı	Baki A.Ş.	II/2008	90,00	Vestas	3 MW	30
Balıkesir- Bandırma	Bangüç A.Ş.	II/2008	15,00	Vensys	1,5 MW	10
Osmaniye-Bahçe	Rotor A.Ş.	I/2009	130,00	GE	2,5 MW	52
RT TEDARİK SÖZLEŞME İMZALI KURULU GÜÇ			531,66			
GENEL TOPLAM			837,61			

Kaynak: EİE, (Çevrimiçi), http://www.eie.gov.tr/turkce/ruzgar/Turkiye_RES.html, 20.05.2008

2005 yılında ‘Yenilenebilir Enerji kaynakların Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun’un yürürlüğe girmesinden sonra rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretimini yapmak için 2007 Kasım ayına kadar lisans başvurusunda bulunan firma sayısı 85000 ve lisans alan firma sayısı 2500 olmuştur.²⁸⁰

Türkiye’de yürütülen rüzgar enerjisi projelerden bir tanesi Türkiye Elektrik Üretim ve İletim A.Ş. (TEAŞ), Avrupa Birliği’ne üye Akdeniz ülkeleriyle (İspanya, Portekiz, Fransa, İtalya, Yunanistan) ve birliğe üye olmayan Güney Akdeniz ülkelerinin (Fas, Cezayir, Tunus, Mısır, Filistin, Türkiye) ortaklaşa yürüteceği INTERSUD-MED projesidir. Projenin amacı, Güney Akdeniz ülkelerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimine uyumunu sağlamak üzere ön fizibilite çalışmaları yapmaktır. Türkiye’nin öncelikli seçimi; maliyet ve potansiyel yönünden konvansiyonel enerji kaynaklarıyla en fazla rekabet edebilecek düzeyde olduğu görülen rüzgar enerjisiyle elektrik üretimi olmuştur. Bu projenin sonucunda projeye katılan her ülkede, rüzgar türbini, fotovoltaik, güneş santrali, biyokütle santralleri ile jeotermal santrallerin kurulabilme potansiyeli, ülkelerin elektrik enerjisi ihtiyacı, altyapısı, yer bilgileri, teknolojiye yönelik imalat kapasitesi, mevcut iş kaynağı vb. konular göz önüne alınarak tespit edilecektir.

Türkiye’de yürütülen diğer proje, Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği Türkiye Şubesi (AREB-TŞ) girişimi sonucunda, EİE ile bir protokol çerçevesinde ortaklaşa yürütülmesi kararlaştırılan Avrupa Yatırım Bankası destekli proje olup, “Rüzgar Enerjisi Fizibilite Çalışması” adını taşımaktadır. 300 bin euroluk harcamayı ön gören bu proje için yerli ve yabancı müşavir firma seçimleri yapılmıştır. Proje ön çalışmalar aşamasındadır. Bundan sonra rüzgar kaynağı değerlendirmeleri, rüzgar çiftliği dizaynı, ekonomik analiz, çevre etkilerini değerlendirme çalışması, sonuçların genel değerlendirilmesi aşamaları gerçekleştirilecektir.²⁸¹

2002 yılında EİE ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından geçmiş yıllara ait (1989 – 1998) rüzgar gözlem istatistikleri Rüzgar Atlasına geçirilmiştir. Bu çalışmaya

²⁸⁰ EİE, (Çevrimiçi), http://www.eie.gov.tr/turkce/ruzgar/ruzgar_mevzuat.html, 20.05.2008

²⁸¹ “Rüzgar enerjisi”, (Çevrimiçi), http://yenilenebilirenerjikaynaklari.ws.tc/Ruzgar_enerjisi.htm, 20.05.2008

45 meteoroloji istasyonun verileri alınmıştır. Rüzgar Atlası, rüzgar enerjisinin kullanılabileceği yerlerin tespiti ve yatırımcılar için gerekli bilgi sağlayacaktır. Uzun dönem planlama çalışmalarına göre rüzgar enerjisi kapasitesi 2010 yılında 1769 MW seviyesine ve 2020 yılında 3019 MW seviyesine ulaşacağı tahmin edilmektedir.²⁸²

Türkiye’de rüzgar enerjisi üretimi 1998 yılında başlamış olup 2006 yılında 127 GWh (11 bin tep) seviyesinde gerçekleşmiştir. Bu değerin birincil enerji kaynakları üretimindeki payı %0,04’tür. Toplam elektrik enerji ihtiyacının sadece %0,1’ini karşılamaktadır.

3.2.3. Jeotermal Enerji

Yaygın genç volkanizmaya bağlı olarak doğal buharların ve sıcaklığı 100°C’ye ulaşan 600’den fazla sıcak su kaynağının varlığı, Türkiye’nin önemli jeotermal enerji kaynaklarına sahip olduğunu göstermektedir.

Bugüne kadar bulunan jeotermal alanların % 95’i ısıtma uygulamaları için uygun sıcaklıkta olup, 30°C’nin üzerindeki toplam 140 jeotermal alan Türkiye’de tespit edilmiştir. Bunların çoğu Batı, Kuzey-Batı, Orta Anadolu’da toplanmıştır. Bu alanların 85’i 30 – 60 °C kuyu sıcaklıklarına, 38’i 61 – 90 °C kuyu sıcaklığına, 8’i 91 – 120 °C kuyu sıcaklığına, 6’sı 121 – 180 °C kuyu sıcaklığına, 3’ü 180 °C üstü kuyu sıcaklığına sahiptir. Yüksek sıcaklığına sahip olan üç alan Aydın – Germecik, Denizli – Kızıldere ve teorik olarak Nevşehir –Acıgöl, elektrik ve entegre ısıtma için uygun alanlardır. Elektrik ve entegre ısıtma için uygun diğer alanlar 121 – 180 °C kuyu sıcaklığına sahip altı alandır (Aydın-Salavatlı, Çanakkale-Tuzla, İzmir-Balçova, İzmir-Seferihisar, İzmir-Dikili, Kütahya-Simav). Bugünkü teknoloji kuyu sıcaklığı 90°C üzerindeki alanlar a bile elektrik üretimi mümkün olmasıyla birlikte, sıcaklığın düşmesi ekonomikliği sınırlandırmaktadır.²⁸³

²⁸² IEA, **Energy Policies of IEA Countries Turkey in Review 2005**, s. 105, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2005/turkey2005.pdf>, 20.05.2008

²⁸³ Mustafa Özcan Ültanır, **21. Yüzyıla Girerken Türkiye’nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi**, s. 75, (Çevrimiçi), <http://www.tusiad.org/turkish/rapor/enerji/pdf/index.html>, 10.10.2007

Türkiye'nin toplam jeotermal ısı potansiyeli 31500 MWt, bu da 5 milyon konut ısıtmaya veya 30 milyar m³ / yıl doğalgaza eşdeğerdir. Toplam elektrik potansiyeli ise 2000 MWe (16 milyar kWh/yıl). Bu potansiyele dayanarak 2013 yılında Türkiye'nin jeotermal elektrik üretimini 550 MWe (4 milyar kWh/yıl) çıkarılması hedeflenmektedir.

Türkiye, jeotermal kaynak zenginliği ile dünyada zenginliği ile yedinci sırada yer almaktadır. Sahip olduğu jeotermal potansiyeli ile toplam elektrik enerjisi ihtiyacının %5'ine kadar, ısıtmada ısı enerjisi ihtiyacının %30'una kadar karşılayabilecek durumdadır. Toplam jeotermal potansiyelinin (2000 MWe, 3500 MWt) elektrik üretimi, şehir ısıtma, soğutma, sera ısıtma, termal tesis ısıtma, kaplıca kullanımı, kimyasal maddeler üretimi, sanayide kullanım vb uygulamalarda tam değerlendirilmesi ile sağlanacak hedef yıllık net yurtiçi katma değer 25 Milyar USD civarındadır. Haziran 2007 itibariyle, jeotermal kaynak potansiyelinin ancak % 7'si değerlendirilmiştir.²⁸⁴

Jeotermal ısı üretimi 1970 yılında 23 bin tep olup, 80'li yılların ortasında hızlı artış göstererek 2006 yılında 1081 bin tep seviyesine ulaşmıştır ve toplam birincil enerji tüketiminin %1'ini karşılamıştır. 2006 yılı itibariyle jeotermal kaynaklardan elektrik enerjisi üretimi ise 94 GWh olmuştur.²⁸⁵

²⁸⁴ “Türkiye’de Jeotermal”, (Çevrimiçi), <http://www.jeotermaldernegi.org.tr/>, 20.05.2008

²⁸⁵ ETKB, (Çevrimiçi), <http://www.enerji.gov.tr/istatistik.asp>, 20.05.2008

Tablo – 3.21: Türkiye’de Jeotermal Elektrik Üretimi ve Doğrudan Kullanım, 2006, 2013

Jeotermal Değerlendirme	2006	2013*
Jeotermal merkezi ısıtma (şehir, konut, termal tesis,v.b.)	117 bin konut eşdeğer (791 MWt)	500 bin konut eşdeğer (4000 MWt)
Kaplıca kullanımı	215 kaplıca (402 MWt)	400 kaplıca (1100 MWt)
Seracılık	192 MWt	1700 MWt
Soğutma	-	300 MWt
Kurutma	-	500 MWt
Balıkçılık ve diğer	-	400 MWt
Toplam ısı kullanımı	1385 MWt, (1 milyon ton/yıl petrol (kalorifer yakıtı) karşılığı 1,4 milyar YTL/yıl)	8000 MWt
Elektrik üretimi	-20 MW (Denizli – Kızıldere) işletiliyor (94 GWh) -48 MW kapasiteli Germencik Jeotermal Elektrik Santrali yatırımının çalışmaları devam etmektedir. -Aydın Salavatlı da 167 ° C ile yaklaşık 10 MW Binary Cycle santrali işletilmektedir. -Kızıldere Jeotermal Santralinin atığı olan 140 °C ‘lik jeotermal sudan 6,85 MW kapasiteli jeotermal santrali kurulmaktadır. -7,5/22 MW Çanakkale-Tuzla jeotermal santrali proje aşamasındadır. -10 MW Simav Jeotermal Jeotermal Elektrik Üretim Santrali proje aşamasındadır	550 MW (2475 GWh)
2013 yılı Toplam jeotermal doğrudan kullanım (elektrik dışı)+jeotermal elektrik üretim projeksiyonu fuel-oil (kalorifer yakıtı) ikamesi		3,88 milyon ton/yıl =4,24milyar USD/yıl
2013 yılı Toplam jeotermal kullanım (550 MW + 8000 MWt) projeksiyonu karşılığında sakınımına engel olunan CO2 emisyon miktarı		10 Milyon Ton/Yıl

* T.C. Başbakanlık DPT Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007-1013) Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonunda Jeotermal Derneğin koordinasyonunu yaptığı Jeotermal Çalışma Grubu Raporu projeksiyonları

Kaynak: Türkiye Jeotermal Derneği, (Çevrimiçi),<http://www.jeotermaldernegi.org.tr/>, 20.05.2008

Türkiye’de elektrik enerjisi üretimi ve doğrudan kullanımına uygun jeotermal saha arama çalışmaları 40 yıldan beri devam etmektedir. Maden ve Teknik Arama Genel Müdürlüğü (MTA) 2005 yılından itibaren jeotermal sondajlı aramalarına hız verilmiş, 2010 yılına kadar yapılacak jeotermal aramaları için 26 adet hedef alan belirlenerek taslak projeler oluşturulmuş ve toplam 70000 m’lik sondaj programlanarak, 1000 MWt ısı ve 300 MW Elektrik Enerjisi rezerv artışı hedeflenmiştir. Hedeflenen 70000 m sondajlı arama çalışmasının 2005 – 2007 Aralık sonu itibariyle 37000 m’si tamamlanmış, 585 MWt ısı açığa çıkarılmıştır. Sondajlı arama çalışmaları aralıksız devam etmektedir.²⁸⁶

Jeotermal merkezi ısıtma sistemleri yatırımlarının konut başına maliyeti 1200–2000 USD’dir. Vatandaş katkısı sayesinde jeotermal merkezi ısıtma yatırım tutarının yaklaşık %30’u finanse edilmektedir. Bu vatandaş katkısı kat kaloriferindeki kazan yatırımı kadardır. İzmir Balçova ve Narlıdere’de 100 m² konut için 2500 YTL, Edremit’te ise 2500 YTL yatırıma katılma payı (bina altı ekipmanları dahil) vatandaş tarafından taksitlerle ödenmektedir. Jeotermal merkezi ısıtma sistemi yatırımları ticari yatırım olarak değerlendirildiğinde, kendilerini 5 ile 8 yıl içerisinde reel olarak geri ödemektedirler.²⁸⁷

Türkiye’de aylık jeotermal ısınma ve sıcak su ücretleri 100 m² konut başına 65 – 47 YTL arasında değişmektedir. Jeotermal kaynaklarından elektrik enerji üretimi 0,03 – 0,10 Euro/kWh olmaktadır. Bunun alt değeri yakıt santrallerin maliyeti ile rekabet edebilecek durumdadır.²⁸⁸

²⁸⁶ MTA, “Türkiye’de Jeotermal Enerji Çalışmaları”, (Çevrimiçi), <http://www.mta.gov.tr/mta/enerji/jeotermal/turkeygeneral/jeotermal%20potansiyel2.htm>, 20.05.2008

²⁸⁷ “Türkiye’de Jeotermal”, (Çevrimiçi), <http://www.jeotermaldernegi.org.tr/>, 20.05.2008

²⁸⁸ IEA, **Energy Policies of IEA Countries Turkey in Review 2005**, s. 121, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2005/turkey2005.pdf>, 20.05.2008

3.2.4. Biokütle Enerjisi

Türkiye biokütle materyal üretimi açısından, güneşlenme ve alan kullanılabilirliği, su kaynakları, iklim koşulları gibi özellikleri uygun olan ülkedir.

Türkiye’de kültürel yetiştiriciliğe ve gıda üretimi dışında fotosentezle kazanılabilecek enerjiye bağlı olarak biokütle enerji brüt potansiyeli teorik olarak 135–150 Mtep/yıl kadar hesaplanmakla birlikte, kayıplar düşüldükten sonra net değer 90 Mtep/yıl olacağı varsayılmaktadır. Ancak, ülkenin tüm yetiştiricilik alanlarının yıl boyu yalnızca biokütle yakıt üretim amacıyla kullanılması olanaklı değildir. Olabilecek en üst düzeydeki yetiştiriciliğe göre teknik potansiyel 40 Mtep/yıl düzeyinde bulunmaktadır. Ekonomik sınırlamalarla Türkiye’nin ekonomik biokütle enerji potansiyeli 25 Mtep/yıl olabilir.²⁸⁹

Türkiye’de en çok klasik biokütle kaynakları olan odun ile bitki ve hayvan artıkları kullanılmaktadır. Özellikle pişirme ve ısıtma alanlarında kullanılan klasik biokütle kaynakların kullanımı 1970 yılında birincil enerji tüketimi içinde %32 oranında gerçekleştirilmişken, bu amaçla doğal gaz kullanımının artması ile birincil enerji tüketimi içindeki payı düşmüştür. 2006 yılında odun ile bitki ve hayvansal artıkların toplam tüketim miktarı 5107 bin tep olmuştur ve bu değer birincil enerji tüketiminin %5’ini oluşturmuştur.

Türkiye, modern biokütle enerji kaynaklarını (enerji ormancılığı ve enerji tarımı) kullanarak ısı, elektrik, sentetik yakıt üretimine giriştiği söylenemez. Bunun yanında Türkiye’nin orman alanı %26’lık oran ile 20199296 hektarlık bir alanı kapsamaktadır. Orman alanların tamamı verimli orman niteliğinde olmayıp, ürün verebilen orman alanı 8,9 milyon ha (%44)’dır. Geriye kalan 11,3 milyon ha (%56) orman alanı ise verim gücü düşük ve tamamen verimsiz, bozuk çalılıklardan oluşmaktadır. Orman varlığının %47,87’sine karşılık gelen 9,3 milyon ha baltalık ormanıdır. Buna göre enerji tesisine konu olacak potansiyel alanların büyüklüğü Tablo-3.22’de verilmiştir.

²⁸⁹ Mustafa Özcan Ültanır, **21. Yüzyıla Girerken Türkiye’nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi**, s. 81, (Çevrimiçi), <http://www.tusiad.org/turkish/rapor/enerji/pdf/index.html>, 10.10.2007

Tablo – 3.22: Türkiye’nin Enerji Ormanları Potansiyeli

İşletme Şekli	Niteliği	Alanı (ha)	Oranları	
			İşletme şekli içinde	Tüm orman alanında
Baltalık	Normal+Bozuk	2679553	%28,92	%13,27
Enerji Ormanları	Çok bozuk	6585196	%71,08	%32,60
Toplam		9264689	%100	%45,87

Nedim Saraçoğlu, “Enerji Ormancılığı Projelerinin Türkiye’nin Enerji Potansiyeline Katkı Olanakları”, **Türkiye I. Enerji Sempozyumu : Bildiriler Kitabı** , 1. bs., Ankara, Emo Yayınları, 1996, s. 51, (Çevrimiçi), http://www.emo.org.tr/resimler/ekler/ac462c3beb1a7bb_ek.pdf, 20.10.2007

Tabloda görüldüğü gibi enerji ormanlarına konu olabilecek en az %32,62lık potansiyel alan bulunmaktadır. Bu rakama %5 kadar bozuk baltalıklardan sahalara alınarak Türkiye’de 6719113 ha bir alanda enerji ormanları tesis edilebilir.

Ülke ekonomisine hiçbir katkısı olmayan bozuk baltalık alanların yerine enerji ormanları kurulursa yetiştirme ortamları verimli duruma getirilerek ülke ekonomisine katkı sağlayacak ve ayrıca iş olanağı yaratılmış olacaktır.²⁹⁰

Türkiye’de enerji ormanı projeleri 1978 yılında başlatılmış olup, enerji ormanların %15’i değerlendirilmektedir. Kalan %85’i uygulama beklemektedir. Uygulanan enerji ormancılığı çalışmaları özellikle Doğu ve Güneydoğu bölgelerinde yoğunlaşmıştır.²⁹¹

Türkiye’de enerji tarımı ve C₄ tipi diye bilinen enerji bitkilerin yetiştiriciliği mümkündür. 1970 yılında Toprak Su Araştırma Enstitüsü, 1977 yılında Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu konuya ilgi göstermişlerdir. Daha sonra Maden teknik Arama Enstitüsü, üniversiteler bu konuda çeşitli araştırma çalışmaları başlatmışlardır.²⁹²

1980 – 1986 yılları arasındaki dönemde Toprak Su Genel Müdürlüğü tarafından her il merkezinde 3 adet, bölge merkezlerinde ise 5 adet biyogaz tesisinin yapılması planlanmış ve bu tesislerin çoğu işletmeye açılmıştır. Ayrıca kendi olanakları ile biyogaz

²⁹⁰ Nedim Saraçoğlu, “Enerji Ormancılığı Projelerinin Türkiye’nin Enerji Potansiyeline Katkı Olanakları”, **Türkiye I. Enerji Sempozyumu : Bildiriler Kitabı** , 1. bs., Ankara, Emo Yayınları, 1996, s. 51, (Çevrimiçi), http://www.emo.org.tr/resimler/ekler/ac462c3beb1a7bb_ek.pdf, 20.10.2007

²⁹¹ “Biokütle Enerjisi”, (Çevrimiçi), http://yenilenebilirenerjikaynaklari.ws.tc/Biokütle_enerjisi.htm, 20.05.2008

²⁹² Ahmet Eniş, “Enerji Politikaları ile Yeni ve Yenilebilir Enerji Kaynakları”, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Enerji Çalışma Grubu, (Çevrimiçi), http://www.emo.org.tr/resimler/ekler/c6744c9d42ec2cb_ek.pdf, 10.10.2007

tesisi kurmak isteyen kişi ve kuruluşlara kredi ve teknik yardım olanağı sağlanmıştır. Fakat bu tesisler yeterli bir eğitim, üreticilere danışacak kurum ya da kişi bulunamamasından dolayı işletilememiştir.

21 Ocak 2004 tarihinde T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Elektrik İşleri Etüd İdaresi kurumunda biyogaz konusunda bir toplantı yapılmıştır. Biyogaz T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı ve T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı'na da bilinen ve desteklenen bir yakıttır. Yapılan çeşitli değerlendirmelerde Türkiye biyogaz potansiyeli 2,5-4,0 milyar m³ (yaklaşık 25 milyon kWh) olarak belirtilmektedir.²⁹³

Türkiye'de enerji bitkileri tarımına C4 tipi bitkilerle ve özellikle tatlı sorghum ile başlanılabilir. Tatlı sorghum hem alkol ve hem de biy yakıt üretmeye uygun bir bitkidir. C4 bitkileri ve özellikle tatlı sorghum konusunda TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi'de yürütölen ve iki patentle sonuēlanan ēalıřmalar, diğer ürün üretimi ve biokütlenin enerji amaēlı kullanımına yönelik uygulamalar (yakma sistemi tasarımı, piroliz, vb.) yaygınlaştırılmalıdır.²⁹⁴

Türkiye'nin ekilen ve nadasa bırakılan tarım alanlarının (sebze bahēesi, bağ, meyvelik ve zeytinlik alan dışında) toplamı 24 milyon ha olup, bunun % 10'unun enerji tarımına ayrılması koşulunda yapılacak enerji üretimi 14,5 Mtep/yıl olup, 2006 yılı enerji talebinin % 14,5'ine karşılıktır.

Türkiye'de biomotorin sadece bir firmada üretilmekte ve Ar-Ge ēalıřmalarına Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı projesi olarak destek verilmektedir. Nisan 2002'den beri Trakya'da 4 köyde B50 850 bin TL'ye satılmaktadır.²⁹⁵

Biokütle enerji içinde değerlendirilen ēöp termik santrallerine yönelik kamu ve özel sektör yatırımları artmaya başlamıştır. Fizibilite ēalıřmaları hazır olan Adana ēöp Termik Santrali (260 milyon kWh/yıl) ve Mamak- Ankara ēöp Termik Santrali (77

²⁹³ Nesteren Bilgin, "Biyogaz nedir?", (ēevrimiēi), <http://www.khgm.gov.tr/kutuphane/biyogaz/bigaz.htm>, 20.05.2008

²⁹⁴ "Biokütle Enerjisi", (ēevrimiēi), http://yenilenebilirenerjikaynaklari.ws.tc/Biokütle_enerjisi.htm, 20.05.2008

²⁹⁵ Ahmet Eniş, "Enerji Politikaları ile Yeni ve Yenilebilir Enerji Kaynakları", TMMOB Makine Mühendisleri Odası Enerji ēalıřma Grubu, (ēevrimiēi), http://www.emo.org.tr/resimler/ekler/c6744c9d42ec2cb_ek.pdf, 10.10.2007

milyon kWh/yıl) bulunmaktadır. Türkiye’de yapımı tamamlanan biokütle ve atık yakıt kaynaklı kojenerasyon tesisleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo – 3.23: Türkiye’de Yapımı Tamamlanan Biokütle ve Atık Yakıt Kaynaklı Kojenerasyon Tesisleri

Kurum Adı	Bölge	Kapasite (MW)	Yakıt Tipi
AKSA Enerji	Bursa	1,2	Çöp
Belka	Ankara	3,2	Biogaz
İstaç	İstanbul	6	Çöp
İzaydaş	İzmit	5,2	Çöp

Kaynak: Ahmet Eniş, “Enerji Politikaları; Yerli,Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları”, **TMMOB Türkiye V. Enerji Sempozyumu Bildirileri**, Makine Mühendisi Enerji Çalışma Grubu, (Çevrimiçi), http://www.emo.org.tr/resimler/ekler/c6744c9d42ec2cb_ek.pdf, 27.09.2007

3.2.5. Deniz Enerjisi

Türkiye üç tarafı deniz ile çevrili bir ülkedir. Deniz dalga enerjisinden yararlanılması düşünülebilir. Ancak, Türkiye’de gel-git enerjisi olanağı yoktur.

Deniz dalga enerjisinin kökeninde rüzgar enerjisi yatmaktadır. Türkiye’nin Marmara Denizi dışında açık deniz kıyıları 8210 km’yi bulmaktadır. Türkiye’de dalga rasatları ve bunlara ilişkin ölçüm verileri bulunmamaktadır. Ancak, küçük dalga enerji sistemleri için, birim dalga cephesi başına güç 10-20 kW/m olurken, geliştirilmiş sistemlerde 40 kW/m düzeyinin üzerine çıkmaktadır. Tüm kıyılarda bu tür tesislerin kurulması deniz trafiği, turizm, balıkçılık, kıyı tesisleri vb. nedenlerle olanaklı değildir. Türkiye kıyılarının beşte birinden yararlanılarak sağlanabilecek dalga enerjisi teknik potansiyeli 18,5 TWh/yıl düzeyindedir. Bu kaynağın değerlendirilmesi için dalga rasatlarından başlanarak, teknik ve ekonomik incelemeler yapılmalıdır. Çünkü “Türkiye’nin büyük bir enerji kaynağı vardır ki, bunu almamak için kömürün üstünde donan, kömürü tanımayan biri” olarak görünecektir.²⁹⁶

²⁹⁶ Metin Çokan, “Alternatif Enerji Yatırımlarının Dünya ve Türkiye’deki Uygulamaları Oturum Konuşması”, **Ulusal Enerji Forumu Kitabı**, 2001, İş Bankası, s. 121-122

4. DÜNYA VE TÜRKİYE'DE ENERJİ GÜVENLİĞİNİ SAĞLANMASINDA YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARIN ÖNEMİ

Yükselen enerji fiyatları ve yakın zamanda yaşanan jeopolitik olaylar, enerjinin ekonomik büyüme ve insani gelişme için önemli rol oynadığını ve dünya enerji sisteminin kolay etkilenebildiğini göstermiştir. Enerji arzının güvenliğinin sağlanması her ülkenin birincil amaçlardan biri olmaktadır. Enerji arzının sağlanmasının yanında bunun iklim değişikliği dahil ekolojik sorunlara da yol açtığını dikkate almak gerekmektedir. Artık fosil enerji talebini kontrol altına almak, yakıt arzı çeşitliliğini arttırmak ve iklim değişikliğine neden olan emisyonları azaltmak öncelere göre daha ısrarcı halini almaktadır.

IEA tarafından yapılan projeksiyon çalışmasında dünya enerji talebi 2005 – 2030 yılları arası yılda %1,8 artış göstererek %55 artacağını belirtilmektedir. Bu projeksiyon senaryosuna göre 2005 yılında 11,4 milyar tep olan dünya enerji talebi, 2030 yılında 17,7 milyar tep olacağı ve dünya nüfusunun 6,4 milyardan 8,1 milyara çıkması beklenmektedir. Fosil enerji yakıtların birincil enerji kaynaklarda dominant olarak kalacağı ve 2005 – 2030 yılları arasında %84 artış göstereceği belirtilmektedir. Petrol dünya birincil enerji talebinin %32'sini oluşturacağı ve günlük petrol tüketimi 32 mb/gün'den 2030 yılında 116 mb/gün'e çıkacağı tahmin edilmektedir. Kömürün ise 2005 – 2030 yılları arasında %73 artış göstererek birincil enerji talebinin %28'ini oluşturacağı ve bu artışın özellikle Çin ve Hindistan'da talep artışı ile gerçekleşeceği belirtilmiştir. Doğal gaz talep artışı daha yavaş olup 2030 yılında birincil enerji talebinin %22'sini oluşturacağı hesaplanmıştır. Artan enerji talebinin karşılanması için 22 trilyon dolarlık alt yapı yatırım gerekebilir. Senaryoya göre dünya enerji kullanımındaki artışın %74'ü ekonomik büyümeleri ve nüfus artışları daha hızlı olan gelişmekte olan ülkelerde gerçekleşeceği görülmektedir.²⁹⁷

²⁹⁷ IEA, **World Energy Outlook 2007 Executive Summary**, s. 4, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/Textbase/npsum/WEO2007SUM.pdf>, 15.01.2008

Tablo – 4.1: IEA Referans Senaryosuna Göre Dünya Enerji Talebi (Mtep)

	1980	2004	2010	2015	2030	2004-2030 yıllık artış %
Kömür	1785	2773	3354	3666	4441	1,8
Petrol	3107	3940	4366	4750	5575	1,3
Doğal gaz	1237	2302	2686	3017	3869	2,0
Nükleer	186	714	775	810	861	0,7
Hidrolik	148	242	280	317	408	2,0
Biokütle ve atık	765	1176	1283	1375	1645	1,3
Diğer yenilenebilir	33	57	99	136	296	6,6
Toplam	7261	11204	12842	14071	17700	1,8

Kaynak: IEA, **World Energy Outlook 2006** s. 66, (Çevrimiçi),

<http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2006/weo2006.pdf>, 10.10.2007

Türkiye için Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı tarafından yapılan projeksiyon çalışmalarına göre Türkiye’de 2007 yılında 105695 bin tep olan birincil enerji talebi yılda ortalama % 5,8 artış göstererek 2020 yılında 222424 bin tep olacağı tahmin edilmiştir. Bunun %36,2’si kömür, %27,4’ü petrol, %23,2’i doğal gaz, %4,2’i hidrolik, %2,1’i jeotermal, %1,4 odun, %1,9’u diğer yenilenebilir enerji kaynakları ve %3,7’ 2012 yılından itibaren üretilmesi hedeflenen nükleer enerji ile karşılanması beklenmektedir.

Tablo – 4.2: Türkiye’nin Birincil Enerji Tüketim Hedefleri (bin tep)

	2007	2010	2015	2020	2007-2020 yıllık artış %
Kömür	30884	35584	51355	80501	8
Petrol	34928	41184	50420	60918	4
Doğal gaz	27962	37192	44747	51536	5
Hidrolik	4575	4903	7060	9419	6
Jeotermal elektrik	330	330	330	330	-
Jeotermal ısı	1308	1750	2836	4584	10
Rüzgar	330	421	571	721	6
Güneş	441	495	605	862	5
Nükleer			8229	8229	-
Odun	3822	3383	3075	3075	- 2
Hayvan ve bitki atıkları	1115	1034	926	850	- 2
Toplam	105695	12274	170154	222424	5,8

Kaynak: ETKB istatistik değerlerinden hazırlanmıştır, (Çevrimiçi), <http://www.enerji.gov.tr/istatistik.asp>, 20.05.2008

Artan petrol ve doğal gaz tüketimi, kontrol altına alınmazsa tüketici ülkelerin enerji güvenliğini etkileyerek fiyat şoku ile sonuçlanma olasılığı vardır. OECD ve

gelişmekte olan Asya ülkeleri giderek enerji ithalatına bağımlı hale gelmektedirler. Petrol fiyatları hala dünya ekonomisinin durumunu etkileyen konulardan biridir. Yüksek petrol fiyatların makroekonomik etkileri tam olarak hesaplanmış değildir. Kısa dönemde fiyat yükselişleri ekonomik büyümeyi yavaşlatırken (enflasyon, faiz artışı), uzun dönemde gelişmiş ülkelerde teknoloji kullanımı ile artan enerji etkinliği büyümeyi devam ettirir. Petrol fiyatının yüksek seviyede uzunca kalması veya sürekli artması, petrol ithal eden ülkelerin ekonomik büyümeleri için bir tehdit oluşturur. Ani fiyat artışı veya arzın kesilmesi ile meydana gelen petrol şoku en çok gelişmekte olan ülkeleri etkileyecektir.²⁹⁸

Fosil enerji fiyatların artmasının bir sebebi de bu enerji kaynakların giderek azalmasıdır. Artan enerji ihtiyacını karşılamak için fosil enerji kaynaklarının sınırlı olması gelecekte enerji güvenliğinin sağlanması için adımlar atılması gerektiği görülmektedir. Daha önce belirtildiği gibi mevcut tüketim koşulları altında petrolün kalan kullanım süresi 40 yıl, doğal gazın 63 yıl ve kömürün 147 yıl şeklinde tahmin edilmektedir. Talep artışı nedeni ile fosil enerji kaynakların fiyatının yükselmesi, yeni ucuz enerji kaynak arayış ve kullanımına yöneltmektedir. Bu bağlamda Eski Suudi Arabistan petrol bakanı Sheik Zaki Yamani şöyle demiştir: ”Taş devri taş yetersizliğinden sona ermemiştir ve petrol devri de petrol tükenmeden çok önce bitecektir.”²⁹⁹

Dünya ekonomisinin büyümesini sağlayan enerjinin %80’nini fosil enerji kaynakları oluşturmaktadır. Fosil enerji kaynakların yoğun kullanımı sonucu atmosfere yayılan emisyon gazları insan ve çevre sağlığı üzerine olumsuz etkiler meydana getirmektedir. Bu olumsuz etkiler başta hava kirliliği olmak üzere küresel ısınma, buz erimesi gibi çeşitli çevre sorunların meydana gelmesi ve bunun sonucunda insan sağlığının tehdit edilmesi olarak tanımlanabilir. 1906 – 2006 yılları arasında dünya yüzeyinin ortalama sıcaklığı 0,7⁰C kadar artmıştır. Kar örtüsü ve buzlanma %10

²⁹⁸ Joshua S. Goldstein, Xiaoming Huang, Burcu Akan, “Energy in the World Economy, 1950-1992”, **International Studies Quarterly**, vol. 41, No. 2, Haziran 1997, s. 241- 266, (Çevrimiçi), <http://www.jstore.org>, 18.12.2007

²⁹⁹ Greenpeace, **Energy Revolution A Sustainable World Energy Outlook**, 2007, s. 18, (Çevrimiçi), <http://www.greenpeace.org/raw/content/international/press/reports/energyrevolutionreport.pdf>, 10.10.2007

civarında azalmıştır ve deniz seviyesi ise 1961'den itibaren 1,8 mm/yıl oranında, 1993'ten itibaren 3,1 mm/yıl oranında yükselmiştir.³⁰⁰ Ortalama küresel sıcaklıkların 2°C artarsa milyonlarca insan, açlık, malarya, sel, kuraklık (su yetersizliği) riskinin artması tehdidi altında kalacaktır.³⁰¹ Bir çok ülke enerji kullanımı ve çevre ilişkilerinin optimal bir dengede uyuşmasına yönelik enerji politikalara girişmişlerdir. Fosil enerji kaynaklarına göre daha az zarar veren ve çevreye dost enerji kaynağın olarak değerlendirilen yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanma eğilimi ve fosil enerji kaynaklarını daha etkin kullanmak için yeni teknoloji üretimi başlamış olup Ar-Ge çalışmaları devam etmektedir.

Sanayi devriminin başlangıcından beri giderek artan ve aşırı boyutlara ulaşan, artışı tükenme pahasına sürdürülen, enerji-çevre sorununun oluşmasının temel denelerinden biri olan fosil yakıt kullanımı, yükselen fiyatlar sonucu maliyetli hale gelmektedir. Enerji kullanımı ve enerji piyasasında meydana gelen gelişmelere ve değişimlere ilişkin olarak enerji arzı güvenliğinin sağlanması “Ucuz-Tükenmez-Temiz” üçgenine bağlı hale gelmektedir. Bu konuya ilişkin fosil enerji kaynaklarına alternatif olabilecek yeni (nükleer, hidrojen) ve yenilenebilir enerji kaynakları gösterilmektedir.

Enerji güvenliğine ilişkin fosil yakıt fiyatların yükselmesi ve emisyon gazların artması karşısında yeni enerji kaynağı olarak sınıflandırılan nükleer enerjinin rolü tartışılmaktadır. Nükleer güç teknolojileri, büyük ölçekli elektrik enerjisi üreten teknolojilerdir. Bunlarla doğal gaz ithalat bağımlılığının ve emisyon gazların azaltılmasının sağlanması mümkündür. Nükleer güç santrallerinde yapı ve işletim riskleri dikkate alınmazsa 4,9 – 5,7 USDcent/kWh maliyetinde elektrik enerjisi üretmesi mümkündür. Nükleer güç santralleri yüksek yatırım gerektirmektedir. Reaktör başına ilk yatırım maliyeti 2 – 3 milyar dolar arasında değişmektedir. Özel sektörün bu yatırım maliyetini karşılayabilmesi için devlet yardımı gerekir. Uranyum rezervleri yeni nükleer

³⁰⁰ IPCC, **Climate Change 2007: Synthesis Report**, s. 2, (Çevrimiçi), http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf, 01.06.2008

³⁰¹ Greenpeace, **Energy Revolution A Sustainable World Energy Outlook**, 2007, s. 7, (Çevrimiçi), <http://www.greenpeace.org/raw/content/international/press/reports/energyrevolutionreport.pdf>, 10.10.2007

santrallerin kurulmasına yetecek seviyededir.³⁰² 2007 yılında nükleer güç sistemleri 2748 TWh elektrik enerjisi üreterek dünya elektrik enerjisinin %15'ini karşılamıştır.³⁰³ Dünyada 31 ülke 368 GW kapasitesinde 443 nükleer reaktörü işletmektedir. Nükleer reaktörlerin %84'ü (308 GW) OECD ülkelerinde bulunmaktadır. Nükleer enerji sekiz ülkenin en büyük elektrik enerjisi kaynağıdır: Fransa (%78,5), Lituanya (%68,2), Slovak Cumhuriyeti (%57,5), Belçika (%55,2), İsveç (%45,4), Ukrayna (%45,1) ve Ermenistan (%42,7).

Yeni enerji kaynağı olarak değerlendirilen diğer enerji türü hidrojen enerjisidir. Hidrojen, birincil enerji kaynakların fiziksel durum değişimi sonucu elde edilen enerji taşıyıcısıdır. Hidrojen farklı enerji kaynaklarından üretilebilir (fosil yakıtlar, yenilenebilir enerji kaynakları ve nükleer) ve son tüketiciye yakıt veya elektrik enerjisi biçiminde sunulabilir. Doğal gaz ve kömür, hidrojen üretimi için ucuz kaynak olarak görünmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklardan veya nükleer enerjisinden hidrojen üretimi daha fazla AR-Ge çalışması gerektirmekte ve piyasaya girmesi uzun zaman alabilir. Hidrojen üretimi, önemli ölçüde karbondioksit (CO₂) azaltılmasında yarar sağlayacağı bilinmektedir. Üretilen 65 milyon ton m³ hidrojenin %48'i doğal gazdan, %30'u doğal gaz rafine/kimyasal atıklardan, %18'i kömürden ve kalan kısmı elektroliz yöntemi ile sudan üretilmekte olup genellikle kimyasal ve rafine sanayisinde kullanılmaktadır. Hidrojen üretimi maliyeti 50 USD/GJ seviyesindedir (doğal gaz için 20 USD/GJ). Hidrojenin sıvılaştırılması -253 C⁰ gerçekleştirildiğinden, dağıtımı oldukça maliyetli olmaktadır (7 – 10 USD/GJ). Hidrojenin taşınması ve depolanması da maliyetli olup daha araştırma safhasındadır. Hidrojen, üretim ve dağıtım maliyetlerin düşmesi ve teknolojik gelişmeler sonucu ulaştırma sektöründe önemli paya sahip olabilecek durumdadır.³⁰⁴

³⁰² IEA, **World Energy Outlook 2007 Executive Summary**, s. 343, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2006/weo2006.pdf>, 15.01.2008

³⁰³ BP, "İstatistical Review", (Çevrimiçi), http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/downloads/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_review_2008.pdf, 23.06.2008

³⁰⁴ IEA, "Hydrogen Production and Distribution", (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/techno/essentials5.pdf>, 10.10.2007

Bu çalışmada enerji güvenliğinin sağlanmasında yenilenebilir enerji kaynakların fosil enerji kaynakları ile rekabet edebilecek potansiyele sahip olduğunu göstermeye çalışıldığı için yeni enerji kaynakların üzerinde durulmamıştır.

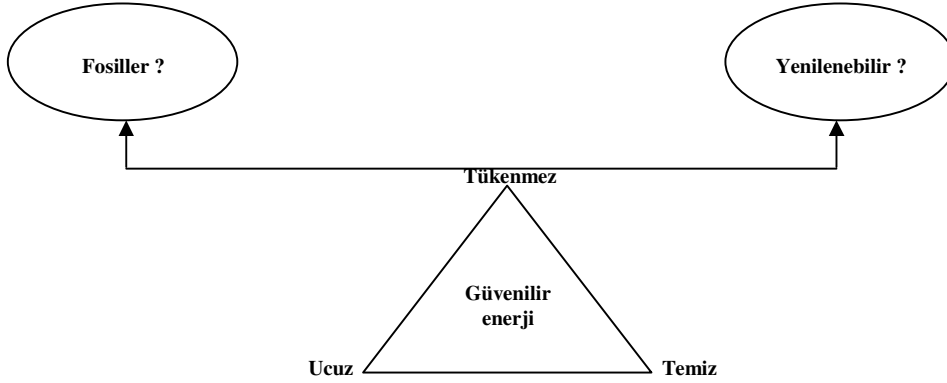
Yenilenebilir enerji kaynakların çoğu güneş enerjisinden gelmesi bu enerji kaynakların artan enerji talebini karşılayabilecek büyük enerji potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Günümüzde söz konusu enerji kaynaklarından elektrik enerjisi ve biyoyakıt (biokütleden) üretimi ucuz olmasa da gelecekte fosil enerji kaynakların artan fiyatı karşısında teknolojik gelişmeler sonucu rekabet edebilecek duruma geleceği görünmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakların fosil enerji kaynaklarına göre atmosfere daha az emisyon gazı yayması bir diğer üstünlüğüdür.

Yenilenebilir enerji kaynakları, biyoyakıt hariç, elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır. Termik santrallerin yerini yenilenebilir enerji santraller alması “kimyasal ekonomiden” “elektron ekonomisine” geçiş olacaktır. Bugün yemek pişirme, ısıtma, soğutma, aydınlatma, iletişim, motorların çalışması “kimyasal enerji” ile karşılanmaktadır. Gelecekte yaşam standartları elektrik enerjisini kullanımı ile garantilenmiş olacaktır. Bu geçişin olması için tüketicilerin alışkanlıkları elektrik enerjisi kullanımına adapte edilmiş olması gerekir. Neyse ki enerji ihtiyaçların çoğu elektrik enerjisi kullanımına uygundur.³⁰⁵

Bu noktada yenilenebilir enerji kaynakların enerji güvenliğini sağlayan “Ucuz-Tükenmez-Temiz” üçgenine uygunluk seviyesi gösterilmeye çalışılacaktır.

³⁰⁵ Ulf Bossel, “On the Way to a Sustainable Energy Future”, (Çevrimiçi), <http://www.efcf.com/reports/E15.pdf>, 10.10.2007

Grafik – 4.1: Enerji Güvenliği için Ucuz-Tükenmez-Temiz Enerji Seçimi

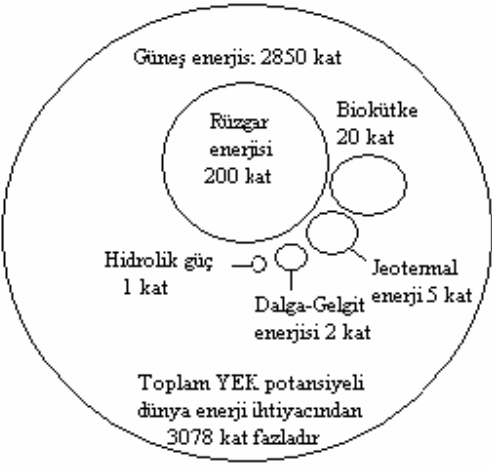


4.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakların Büyüklüğü

Doğa, enerji üretimi için çeşitli seçenekler sunmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakların çoğu, jeotermal ve gel-git gücü hariç, hidrolik, rüzgar, biokütle, dalga gücü güneşten gelmektedir. Güneş'ten gelen enerji, günümüz dünya enerji ihtiyacından 2850 kat daha fazladır, toplam yenilenebilir enerji kaynakların potansiyeli ise 3078 kat daha fazladır. Bir günde dünyaya ulaşan güneş enerjisi miktarı dünya enerji ihtiyacını 8 yıl karşılamaya yetecek kadardır. Bu miktarın sadece belli bir kısmı teknik olarak kullanılabilir potansiyeline sahip olmasına rağmen kullanılabilir potansiyel dünya enerji gereksiniminin 6 kat fazlası kadar enerji sağlanmasına yetecek seviyededir. Yenilenebilir enerji kaynakların kullandıkça miktarı azalmama özelliğine sahip olması, mevcut potansiyelin de aynı kalmasını sağlamaktadır.³⁰⁶

³⁰⁶ Greenpeace, **Energy Revolution A Sustainable World Energy Outlook**, 2007, s. 60, (Çevrimiçi), <http://www.greenpeace.org/raw/content/international/press/reports/energyrevolutionreport.pdf>, 10.10.2007

Tablo – 4.3: Dünya Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli

Enerji kaynak potansiyeli	Teknik olarak kullanılabilir potansiyeli	
	Güneş	3,8 kat fazla
	Jeotermal ısı	1 kat fazla
	Rüzgar	0,5 kat fazla
	Biokütle	0,4 kat fazla
	Hidrolik güç	0,15 kat fazla
	Okyanus gücü	0,05 kat fazla
	Toplam	5,9 kat fazla

Kaynak: Greenpeace, **Energy Revolution A Sustainable World Energy Outlook**, 2007, s. 60, (Çevrimiçi), <http://www.greenpeace.org/raw/content/international/press/reports/energy-revolutionreport.pdf>, 10.10.2007

Mevcut yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı belli risk ve engeller taşımaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakların ticaretleştirilmesinde engellerden biri proje finansmanıdır. Fosil enerji kaynaklarından elektrik üretim maliyeti, santrallerin yatırım maliyeti ile bir birim güç için gereken fosil enerjiden oluşmaktadır. Yenilenebilir enerji projeleri ise doğa güçlerini enerjiye çeviren ek teçhizat gerektirmektedir. Bunun sonucu olarak yenilenebilir enerji projelerin yatırım maliyetleri aynı güç kapasitesine sahip fosil kaynak santrallerinden daha yüksek olmaktadır. Ülkelerin kredibilitesi, yenilenebilir enerji kaynakların finansmanında ayrı bir önem taşımaktadır. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarından büyük ölçüde yararlanabilecek gelişmekte olan ülkeler, finansman şirketleri tarafından çekici olmayabilir. Genellikle yenilenebilir enerji kaynakların finansmanını çok uluslu ajanlar sağlamaktadır.³⁰⁷ Projenin devlet veya şirket yönetiminde olma belirsizliği, enerji piyasasını çeşitli şekilde etkileyen ticari sözleşme,

³⁰⁷ L.Y. Bronicki, "Financing Renewables", **Independent Energy**, Tulsa, PennWell, 28 Ekim 1998, 8.sayı, s. 4,

vergi ve denetim zorlukları potansiyel projelerin finansmanına engel oluşturan nedenler olabilir.³⁰⁸

Yenilenebilir enerji kaynaklardan yararlanılmasını engelleyen diğer nedenler Tablo-4.4’de özetlenmiştir.

Tablo – 4.4: Yenilenebilir Enerji Projelerine İlişkin Önemli Risk/Engeller

Yenilenebilir Enerji Teknolojisi	Risk Durumları
Jeotermal	- Delik açma masrafları ve ilişkin riskler - Patlama riski v.b. -Planlama, izin v.b. uzun sürmesi
Büyük PV	-Parça kırılmaları -Hava zararları
Güneş termal	-Proje büyüdükçe (başka yenilenebilir enerji kaynaklar ile kombine edilmesi) teknoloji riskin artması
Küçük hidrolik	-Sel -Mevsimsel/yıllık kaynak varlığı
Rüzgar enerjisi	-Planlama, izin v.b. uzun sürmesi -Rüzgar kaynakların değişmesi -Offshore kablo döşeme
Biokütle güç	-Kaynak fiyat değişimi - Depolama ve yakıt tedariki ile ilişkin çevresel sorumluluklar
Biogaz güç	-Kaynak riski (hammaddede gazın kalite ve miktar farkları) - Koku problemlere karşı derneklerin kurulması
Dalga/Gel-git gücü	-Sert deniz şartlara karşı dayanıklılığı - Çeşitli dizayn ve konsept teknolojiler fakat günümüzde başarılı olmaması -Prototip/teknoloji riski -Küçük ölçekli oluşu ve uzun planlama, izin işleri

Kaynak: United Nations Environment Programme, **Financial Risk Management Instruments for Renewable Energy Projects**, 2004, s. 18, (Çevrimiçi),
http://www.uneptie.org/energy/publications/pdfs/RE_Risk_Manag.pdf, 01.06.2008

³⁰⁸ Enrique Iglesias, “Financial Options for Renewables, Keynote Speech”, Haziran 2004, (Çevrimiçi),
http://www.estif.org/fileadmin/downloads/Solar_Thermal_Markets_in_Europe_2006.pdf, 10.10.2007

4.2.Yenilenebilir Enerji Kaynakların Ekonomik Yönü

Yenilenebilir enerji kaynakların kullanımı ekonomiye farklı katkılar sağlamaktadır. Önemli katkıları

- Pahalı olan elektrik enerjisi üretimi gelecekte rekabet edebilir durumda olması
- Yerel enerji kaynak olup, enerji bağımlılığının azaltılabilmesi
- Elektrik enerjisi üretim maliyeti, fosil kaynakların fiyatındaki değişimlerden etkilenmemesi
- Yeni sektör olup istihdam yaratması
- İzole yerleşim alanlarda elektrik enerjisi sağlanabilmesi şeklinde sıralanabilir.³⁰⁹

Yenilenebilir enerji kaynakların çoğu elektrik enerjisi üretmek ve ısıtma amaçlı kullanılmaktadır. Bu nedenle fosil enerji kaynaklar ile karşılaştırma bir önem kazanması için elektrik üretim maliyetleri ele alınması gerekir. İkinci bölümde bu enerji kaynakların üretim maliyetlerine yer verilmişti. Bugünkü teknoloji ile yenilenebilir enerji kaynaklardan elektrik enerjisi üretimi fosil enerji kaynaklara göre pahalı olmaktadır. Bunun önemli nedeni ilk yatırım maliyetinin çok yüksek olmasıdır. Ancak artan fosil enerji kaynakların fiyatı karşısında gelecekte teknolojik gelişmeler sonucu rekabet edebilecek duruma geleceği görülmektedir.

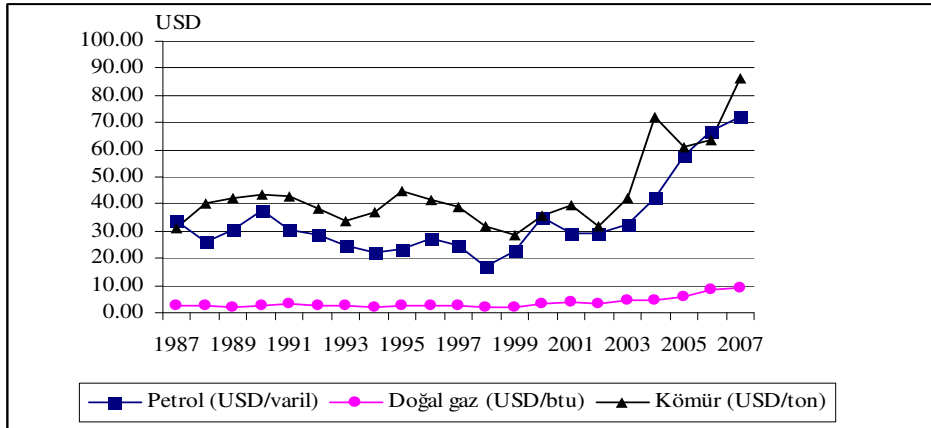
Fosil enerji kaynakların fiyatı 21. asrın başlangıcından beri incelendiğinde 2000 yılından 34,9 USD/varil olan petrol fiyatları yılda ortalama %12,3 oranında artış göstererek 2007 yılı itibariyle 72,3 USD/varil olmuştur. 2008 Temmuz ayında ise 140,73 USD/varil ulaşmıştır. Doğal gaz fiyatları 2000 yılında 3,27 USD/btu iken yılda ortalama %17,3 oranında artış göstererek 2007 yılı itibariyle 8,93 USD/btu olarak gerçekleşmiştir. Kömür 2000 yılında 35,99 USD/ton iken yılda ortalama %16,9 oranında artış göstererek

³⁰⁹ “Why Renewabel Energy?”, (Çevrimiçi), http://www.reeeep.org/media/downloadable_documents/g/r/BIREC%20-%20report.pdf, 10.10.2007

2007 yılı itibariyle 86,6 USD/ton olarak gerçekleşmiştir.³¹⁰ Fosil kaynaklardan elektrik enerji üreten termik santrallerde çıktı birim maliyetini doğrudan etkilemektedir.

Örneğin, Haziran 2008’de Türkiye’de EPDK, maliyetlerinin arttığını gerekçe gösteren Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş (TETAŞ), uğradığı zararı telafi etmek için Türkiye Elektrik Dağıtım’a (TEDAŞ) bağlı 20 elektrik dağıtım bölgesine sattığı, toptan elektrik fiyatında %12.7 zam talebi ve sattığı elektriğin toptan fiyatının 9.53 YKr/kWh'dan 10.74 YKr/kWh'a çıkarılması isteğine onay vermiştir. 1 Temmuz 2008 tarihinden itibaren uygulanacak yeni tarife ile elektriğin ücreti konutlarda %21 artışla 17,944 YKr/kWh, sanayide %21,56 artışla 16,143 YKr/kWh'a, ticari işletmelerde %21,78 artışla 20,994 YKr/kWh'a yükselmiştir.³¹¹

Grafik – 4.2: Fosil Enerji Kaynakların Fiyatı



Kaynak: BP, “Statistical Review 2008”, (Çevrimiçi),

http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/downloads/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_review_2008.pdf, 23.06.2008

³¹⁰ BP, “Statistical Review”, (Çevrimiçi),

http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/downloads/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_review_2008.pdf, 23.06.2008

³¹¹ “Elektrik Satış Fiyatı 09/06/2008”, (Çevrimiçi),

<http://www.enerjihaber.com/haberdetay.asp?bolum=296&uyeid=0>, 23.06.2008

Yenilenebilir ve fosil enerji kaynakların elektrik enerjisi üretim maliyetleri karşılaştırıldığında rüzgar, hidrolik güç, biokütle ve jeotermal enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretim maliyetlerin alt değerleri, fosil enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretim maliyeti (yakıt fiyatı dahil) ile aynı seviyede olduğu görülmektedir. Bu da yenilenebilir enerji kaynakların teknolojik verimlilik sağlanması ile fosil enerji kaynakları ile rekabet edebilecek duruma geleceğini göstermektedir. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynakların ilk yatırım maliyetleri yüksek olmasına rağmen, kurulan santralin/tesisin ömrü uzun olup yüksek işletim ve bakım ve ek yatırım maliyeti gerektirmez.

Tablo – 4.5: Enerji Kaynaklarına göre Elektrik Enerjisi Üretim Maliyetleri (USD cent/kWh)

Enerji Kaynağı	Yakıt Fiyatı	İşletim ve bakım USDcent/kWh	İlk yatırım	Elektrik üretim USDcent/kWh
Kömür	0,85 – 1,38	0,35	1,84 – 1,96 cent/kWh	3,1 – 3,5*
Doğal gaz	1,66 – 3,77	0,2	1,07 cent/kWh	2,9 – 4,7*
Hidrolik güç	-	yatırımın %2 – 3	1000 -5000 USD/kW	2 – 15
PV	-	yatırımın %2 – 3	4500 – 7000 USD/Kw	18 – 80
Güneş	-	0,3 – 4	3000 -6000 USD/kW	4 – 25
Jeotermal	-	0,25 – 4,5	1200 – 5000 USD/kW	2 – 12
Biokütle	-		500 – 4000 USD/kW	2 – 15
Rüzgar	-	1,5 – 2,5	850 – 1700 USD/kW	3 – 12
Dalga (OWS)		1 – 2	800 – 2400 USD/kW	3,5 - 7

* Yakıt fiyatı dahil

Kaynak: Jefferson W. Tester, Elizabeth M. Drake, Michael J. Driscoll vd., **Sustainable Energy Choosing Among Options**, The MIT Pres, Cambridge, 2005, s. 706; IEA, **Renewables for Power Generation**, Paris, 2003, s.49 , (Çevrimiçi), http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/renewpower_2003.pdf, 10.10.2007

Zengin fosil enerji kaynak rezervlerine sahip olmayan ülkeler için yerel yenilenebilir enerji kaynakların kullanılması enerji arz güvenliğinin sağlanmasında bir çözüm olabilir. Yerel yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak enerji çeşitliliğine gidilmesi enerji ithalatını hafifletmiş olur. Enerji arzı %50 oranında fosil enerji ithalatına bağımlı olan Avrupa Birliği, yenilenebilir enerji kaynak kullanım oranını %6'dan (1997) %12'ye (2010) çıkarmayı amaçlayan çok sayıda politika hedefleri koyulmuştur.³¹² Özellikle gelişmekte olan ülkeler için yerel yenilenebilir enerji kaynakların kullanılması

³¹² Christoph Böhringer, Andreas Löschel, "Promoting Renewable Energy in Europe: A Hybrid Computable General Equilibrium Approach", **The Energy Journal**, 2006, s.135

ithalat yükünün azaltılması (eğer enerji ithal eden ülke konumunda ise), finansal kaynakların enerji dışında başka alanlara (eğitim, sağlık, yol yapımı v.b.) yatırılması, yenilenebilir enerji sektöründe yeni istihdam olanakların yaratılması gibi ekonomi için olumlu sonuçların gerçekleşmesi mümkündür.³¹³

Şebeke bağlantısı olmayan veya sağlanması zor olan izole yerleşim alanları için yenilenebilir enerji kaynakları alternatif çözüm olabilir. Nijerya’da PV sistemlerin kurulması kırsal alanda oturanların karesin lambalarından kurtuluşu olabilir. Ancak yenilenebilir enerji kaynakların üretildiği yerden uzak yerlere dağıtımının sağlanması kablo döşeme masraflarını yükseltebilir.³¹⁴

Yenilenebilir enerji kaynaklar ile dünya enerji güvenliğinin sağlanması için tek bir harita veya yolun gösterilmesi ülkelerin gelişmişlik düzey farkları, politik sınırlar gibi bir çok nedenden dolayı mümkün olmamakla beraber bölgesel çözümler söz konusu olabilir.

4.3.Enerji Kullanımının Dışsal Maliyeti

Sanayileşme ve ekonomik kalkınma için vazgeçilmeyen enerjinin üretiminden tüketimine kadar her aşamada ayrı ayrı sorunlara sebep olmaktadır. Enerji kullanımı sonucu çevre ve insan sağlığının etkilenmesi dışsal maliyet³¹⁵ olarak değerlendirilebilir. Her enerji kaynağı belli seviyelerde dışsal maliyet yaratmaktadır. Bu konu uzmanlar tarafından daha derin analiz gerektirmekte olup bu bölümde enerji kaynakların bazı çevresel zararları özetlenmeye çalışılacaktır.

Hızlı ekonomik büyümenin sağlanması fosil enerji kaynaklar bazlı olması ve bu enerji kaynakların kullanımı sonucu atmosfere yayılan karbondioksit (CO₂), metan

³¹³ Ulf Bossel, “Sustainability and Energy”, (Çevrimiçi), <http://www.efcf.com/reports/E23.pdf>, 10.10.2007

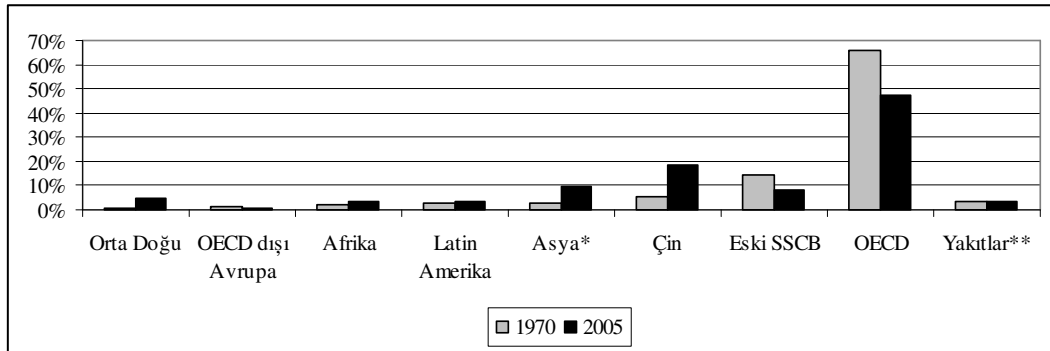
³¹⁴ O.I. Okoro, T.C. Madueme, “Solar Energy: A Necessary Investment in a Developing Economy”, **International Journal for Sustainable Energy**, 1 Mart 2006, , 25:1, s.28, (Çevrimiçi), <http://dx.doi.org/10.1080/14786450600593147>, 23.06.2008

³¹⁵ Dışsal maliyetler, bir ekonomik aktivitenin başkaları üzerinde yarattığı maliyetlerdir.

(CH₄), azot oksit (N₂O) gibi zararlı sera gazlar dünya çapında iklim değişikliği, ozon tabakasının incilmesi, asit yağmurların oluşması gibi çevresel sorunlara neden olmaktadır. Dünya sera gazların yaklaşık %57'si enerji kaynaklıdır. 1970 yılından itibaren çevre sorunları tartışılması ve çözüm arayışları başlamıştır.³¹⁶

Fosil yakıt kullanılmasından kaynaklanan CO₂, CH₄, NO₂ gibi sera gazlarının içinde en önemlisi karbondioksit (CO₂) gazıdır ve küresel ısınmada yaklaşık ¾'lük bir sorumluluk payına sahiptir.³¹⁷ 1970 yılında 15661 milyon ton olan CO₂ miktarı 2005 yılında 27136 milyon tona yükselmiştir. Atmosfere yayılan karbondioksit gazın %40,5'i kömür, %39,5'i petrol, %19,7'si doğal gaz ve %0,3'ü diğer enerji kaynakların kullanımından oluşmaktadır. Karbondioksit emisyonların bölgelere göre dağılımı Grafik-4.3'te verilmiştir.

Grafik – 4.3: CO₂ Emisyonu Bölgesel Dağılımı, 1970, 2005 (%)



* Çin hariç Asya ülkeleri

** Uluslar arası havacılık ve denizcilik yakıtları

Kaynak: IEA, “Key Statistics 2007”, (Çevrimiçi), http://www.iea.org/Textbase/key_stats_2007, 01.06.2008

Dünya genelinde bir çevre bilincinin ortaya çıkması ve çevresel bozulmanın canlı yaşamı üzerinde ciddi tehditler oluşturmaya başladığının anlaşılmasıyla birlikte, özellikle uluslararası alanda önemli adımlar atılmaya başlanmıştır. Bu sürecin başlamasındaki ilk adımı, 1988 yılında Birleşmiş Milletler Çevre Programı

³¹⁶ Nurdeni Deniz, “Enerji ve Çevre Mevzuatı”, TMMOB 2.Enerji Sempozyumu 22-24 Kasım 1999, (Çevrimiçi), http://www.emo.org.tr/resimler/ekler/86ba2b5d093634f_ek.pdf, 20.10.2008

³¹⁷ Selva Tüzüner, “Sera Gazları ve Küresel Isınma ve Enerji”, (Çevrimiçi), 23.05.2008

ve Dünya Meteoroloji Örgütü'nün desteğiyle kurulan “Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)” oluşturmaktadır. Oluşturulan bu panel, insan kaynaklı iklim değişikliği riskinin anlaşılması konusuna ilişkin bilimsel, teknik ve sosyo-ekonomik bilgilerin değerlendirilmesi amacına yöneliktir.

Küresel ısınmanın, gelecekte çok ciddi sonuçlar doğuracağına anlaşılması ve bu ısınmanın büyük ölçüde insanoğlunun kendi faaliyetleri sonucu oluştuğunun anlaşılması üzerine Birleşmiş Milletler himayesi altında uluslararası görüşmeler başlamış ve 1992 Rio Zirvesi'yle önemli bir adım atılmıştır.

Haziran 1992'de Rio de Janeiro'da, bu çabalar sonucu Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda “İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC)” 50 ülke tarafından imzalanmıştır. Rio Sözleşmesi, “ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluk ilkesi benimsenerek, ulusal ve bölgesel farklılıklarını hesaba katarak, tüm taraflara insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının azaltılması için ortak yükümlülükler verilmiştir”.³¹⁸

UNFCCC tarafından her yıl tüm tarafların söz sahibi olduğu “Taraflar Konferansı (COP)” düzenlenmesi kararlaştırılmıştır. Kyoto Protokolü olarak anılan III. Taraflar Konferansı (COP3), 1997'de Japonya'nın Kyoto şehrinde düzenlenmiş ve daha detaylı bir şekilde iklim değişikliğine yol açan sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik yükümlülükler ve uygulanabilecek mekanizmalar belirtilmiştir. 133 ülke tarafından imzalanan Kyoto Protokolüne göre Ek I maddesine dahil olan ülkelerin sera gazı salımlarını, 2008–2012 döneminde, 1990 seviyesinin %5 altına indirmeleri öngörülmüştür. Ülkelerin sera gazı emisyonunu indirme hedefleri farklı olup, AB'nin %8 oranında hedefi belirlenmiştir. Bu hedefe ulaşmak amacı ile Avrupa Komisyonu tüm Avrupa, Japonya ve Kore araba üreticiler ile yeni arabaların

³¹⁸ M. Ulueren, “Küresel Isınma BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve KYTO Protokolü”, (Çevrimiçi), <http://www.mfa.gov.tr/turkce/grupe/ues-3/KureselIsinmaBMiklimveKYTO.htm>, 23.06.2008

1995 yılı CO₂ salımlarını 2008/2009 yıllarında %25 oranında indirilmesine ilişkin sözleşmeler imzalanmıştır.³¹⁹

Türkiye’de TÜİK tarafından yapılan Envanter sonuçlarına göre, toplam sera gazı emisyonu CO₂ eşdeğeri olarak 2006 yılında 331.8 milyon ton olarak tahmin edilmiştir.

Tablo – 4.6: Türkiye’de Toplam Sera Gazı Emisyonları (milyon ton CO₂ eşdeğeri)

	1990	1995	2000	2005	2006
CO ₂	139,59	171,85	223,81	256,43	273,70
CH ₄	29,21	42,54	49,27	49,32	50,33
N ₂ O	1,26	6,33	5,74	3,43	4,59
F Gazları	0	0	0,82	3,24	3,13
Toplam	170,06	220,72	279,96	312,42	331,76

Kaynak: TÜİK, “Sera Gazı Emisyon Envanteri 2006”, (Çevrimiçi), <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=1996>, 01.06.2008

Toplam sera gazı emisyonun %78’i enerji kaynaklı emisyonlardan kaynaklanırken %9 atık bertarafı ve %8 ile endüstriyel proseslerden oluşmuştur. CO₂ eşdeğeri olarak 2006 yılı toplam sera gazı emisyonu 1990 yılına göre %95 artış göstermiştir. 2006 yılında enerji kaynaklı CO₂ emisyonu incelendiğinde, toplam CO₂ emisyonunun %33’ünün çevrim ve enerji sektöründen kaynaklandığı, %28’inin sanayiden, %16’sının ulaştırma sektörü, geri kalan %15’inin ise diğer enerji sektörlerinden kaynaklandığı görülmüştür. Aynı yıl içerisinde toplam emisyonun %8’lik payı ise endüstriyel proseslerden kaynaklanmıştır. Türkiye’de toplam birincil enerji arzına ilişkin olarak CO₂ emisyonun %44’ü kömür, %42’i petrol ve %14’ü doğal gazdan oluştuğu görülmektedir.³²⁰

³¹⁹ “Kyoto Protocol”, (Çevrimiçi),

<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/03/154>, 23.06.2008

³²⁰ TÜİK, “Sera Gazı Emisyon Envanteri 2006”, (Çevrimiçi),

<http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=1996>, 01.06.2008

,Tablo – 4.7: Türkiye’de Sektörlere Göre Toplam Sera Gazı Emisyonları (milyon ton CO₂ eşdeğeri)

	1990	1995	2000	2005	2006
Enerji	132,13	160,79	212,55	241,45	258,21
Endüstriyel Prosesler	13,07	21,64	22,23	25,39	27,13
Tarım	18,47	17,97	16,13	15,82	16,37
Atık	6,39	20,31	29,04	29,75	30,06
Toplam	170,06	220,72	279,96	312,36	331,76

Kaynak: TÜİK, *Sera Gazı Emisyon Envanteri 2006*, (Çevrimiçi),
<http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=1996>, 01.06.2008

Kişi başına düşen CO₂ emisyon oranlarının karşılaştırılmasına bakıldığında, 2004 yılında Türkiye için gerçekleşen kişi başına 3 ton CO₂ emisyonu rakamının, dünya ortalaması olan 4 seviyesinden bile düşük olduğu görülmektedir. Bunun anlamı, Türkiye’nin, küresel ısınmaya sebep olan CO₂ emisyonu üretme açısından, kişi başına sorumluluğunun diğer ülkelere göre daha az olduğudur. İDÇS gereği, Ek I ülkeleri grubuna dahil edilen Türkiye’nin bu durumu, OECD ülkeleri ve AB ile karşılaştırıldığında OECD ve AB ülkeleri için ortalama değerler sırasıyla; 11 ve 8.5’dir. Bu değerler, Türkiye’nin yaklaşık üç katı seviyesindedir. Dünyanın en büyük CO₂ emisyonu üreticisi olan ABD’de ise 1999 yılında kişi başına gerçekleşen CO₂ emisyonu 21 ton olmuştur.³²¹

Türkiye, İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’ne ve bunun sonucu olarak da Kyoto Protokolü’ne taraf olmamıştır. Bunun temel nedeni, Türkiye’nin OECD ülkesi olduğu için hem emisyon azaltımı yükümlülüğüne tabi olan Ek I, hem de az gelişmiş ülkelerin emisyon azaltımına yardımcı olmak için finansal ve teknolojik destek sağlamakla yükümlü ülkelerin içinde bulunduğu EK II listesinde yer almasındandır.

³²¹ Dünya Bankası İstatistikleri, (Çevrimiçi),
<http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/DATASTATISTICS.html>, 23.06.2008

Türkiye, AB'nin "Yük Paylaşımı (Burden Sharing)" ilkesini talep ederek sera gazı indirim taahhüdünü azaltabilir.³²²

Hava kirliliği ve emisyon açısından yenilenebilir enerji kaynakları değerlendirmeye alındığında bu enerji kaynakları önemli ölçüde sera gazı emisyon azaltıcıları görülmektedir. Güneş, rüzgar, dalga enerji kaynaklarının kullanımında yanma söz konusu olmadığından bir kirliletiçi emisyonu oluşmamaktadır. Güneş ve rüzgar santrallerin 2275 – 3750 ton CO₂/MW kadar karbondioksit salımını engellemektedir. 2002 yılında rüzgar enerjisi kullanımı sonucu 28 Avrupa ülkesinde toplam 15 milyon ton CO₂ salımı önlenmiştir.³²³ Jeotermal kaynaklardan elektrik enerjisi üretimi sırasında sıfır kükürt oksit, nitrojen oksit ve çok az miktarda karbondioksit salımı ile önemli çevresel yararlar sağlamaktadır.³²⁴

Tablo – 4.8: Enerji Kaynağına göre CO₂ Salımı

Kaynak	CO ₂ Salımı (lb/kWh ; 2,2 lb=1kg)
Jeotermal	0,20
Doğal gaz	1,321
Petrol	1,969
Kömür	2,095

Kaynak: Masashi Shubaki, "Geothermal Energy for Elektric Power a REPP Issue Brief", (Çevrimiçi), http://www.crest.org/articles/static/1/binaries/Geothermal_Issue_Brief.pdf, 15.01.2008

Enerji kullanımı ve üretimi nedeni ile topluma ve çevreye yüklenen dışsal maliyet, elektrik fiyatlarına dahil edilmemektedir. Bu dışsal maliyetler yerel ve küresel etkiler yaratmaktadır. Küresel boyutta iklim değişiminin sonuçları ile ilişkilidir. Buna karşın, bu tür maliyetlerin büyüklükleri ile ilgili belirsizlikler vardır

³²² Ertem Karakaya, Mustafa Özçağ, "Türkiye Açısından Kyoto Protokolü'nün Değerlendirilmesi Ve Ayrıştırma (Decomposition) Yöntemi İle CO₂ Emisyonu Belirleyicilerinin Analizi", (Çevrimiçi), http://www.econturk.org/Turkiyeekonomisi/odtu_paper.pdf, 01.06.2008

³²³ The European Wind Energy Association (EWEA), **Wind Energy The Fact An Analisys of Wind Energy in EU25**, 2005, s.3, (Çevrimiçi), http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/WETF/Facts_Summary.pdf, 10.10.2007

³²⁴ Masashi Shubaki, "Geothermal Energy for Elektric Power a REPP Issue Brief", (Çevrimiçi), http://www.crest.org/articles/static/1/binaries/Geothermal_Issue_Brief.pdf, 15.01.2008

ve bunların saptanıp fiyatlandırılması oldukça zordur. 15 Avrupa ülkesi için yapılan Extern E projesinde bu maliyetler bazı enerji kaynakları için değerlendirilmiştir. 2002 yılında yayınlanmış sonuçlar Tablo-4.9’da verilmiştir. Projeye göre çevre ve sağlığa ilişkin dışsal maliyetlerin hesaba katılması halinde, kömür veya petrolden elde edilen elektriğin maliyetinin ikiye katlanacağı, doğal gaz elektriğin maliyetinin ise %30 artacağı sonucuna varılmıştır.³²⁵

Tablo – 4.9: Elektrik Enerjisi Üretiminin Enerji Kaynaklarına göre Tahmini Dışsal Maliyetleri, 2002 (Eurocent/kWh)

Enerji kaynağı	Kömür	Doğal gaz	Biokütle	PV	Hidrolik	Nükleer	Rüzgar
Dışsal maliyet	5,7	1,6	1,6	0,6	0,4	0,4	0,1

Kaynak: Goldfrey Boyle, **Renewable Energy Power for Sustainable Future**, s.412

Yenilenebilir enerji kaynakları, hava kirliliğinden ziyade görüntü ve gürültü kirliliği oluşturması, alan kapsamı, canlı yaşamı etkimesi gibi dışsal etkileri yaratmaktadır. Hidrolik enerjinin başlıca olumsuz etkileri; büyük alan kapsamı, barajların görüntü kirliliği oluşturabilmesi, balık ve doğal yaşamı etkileyerek ekolojik dengeyi bozması, suyun kalitesinin düşürmesi şeklinde sıralanabilir.³²⁶

Güneş kaynaklı enerji üretim sistemlerinde atmosfere ve suya herhangi bir direkt kirletici (sera gazları, atık) emisyonu bulunmamaktadır. Kullanılan sistemin türüne bağlı olarak görüntü kirliliği oluşturulabilir, ancak bugün binalarda kullanılan sistemler binaya uyumlu bir şekilde, arazide kurulan sistemler ise arazinin yapısına bağlı olarak tasarlandıklarında bu tür bir kirliliğin oluşması önlenir. Gürültü ise ancak inşa aşamasında söz konusudur. Güneş santrallerin bozulmuş toprak arazilerinde kurulması arazinin iyileştirilmesi açısından olumlu etki yapabilir. Güneş

³²⁵ EWEA, **Rüzgar Gücü 12**, 2004, s. 81, (Çevrimiçi), http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/WF12/RzgarGc12.pdf, 10.10.2007

³²⁶ “Other Alternative Energy Sources”, (Çevrimiçi), <http://www.pvpower.com/alternativeenergy.html>, 10.10.2007

pili ve termik güneş santrallerin kapsadıkları alan 0,006 - 0,025 km²/MW arasında değişmektedir.³²⁷

Rüzgar enerji üretim sistemleri, güneş enerji sistemleri gibi hava ve su kirliliğine sebep olmazlar. Ancak rüzgar türbinleri sessiz değildir. Rüzgar çiftliklerin oluşturdukları gürültü kirliliği karşılaştırılacak olursa 35 – 45 decibel (dB: gürültü ölçüm birimi) olup araba gürültüsünden (55 dB), çalışan ofis gürültüsünden (60 dB), uçak gürültüsünden (105 dB) azdır.³²⁸ Rüzgar tarlalarının geniş alan gerektirmesi bir sorun olarak görülebilir, ancak rüzgar türbinlerin kapsadığı gerçek alan tarla toplam alanının %1- 1,2'si kadardır. Karadaki türbinlerin araları yetiştiricili yapılabilirdiğinden, arazi kaybı söz konusu değildir. Rüzgar türbinleri görüntü kirliliğine, radyo-televizyon alıcılarında parazit ve kuş ölümlerine sebep olabilir. Görüntü kirliliğini önlemek için boru kule türbinleri üretilmiştir. Uçma hızı düşük kuşların rüzgar türbinlere çarpması ve kuş ölümlere sebep olması olasılığı çok düşüktür.³²⁹

Jeotermal akışkanın korozyona ve kireçlemeye sebep olabileceği ve yapısındaki karbon dioksit gazının dışarı çıktığı bilindiğinden, jeotermal enerji uygulamalarında bazı teknolojik önlemler alınması gerekmektedir. Hem rezervuar özelliklerinin korunması, hem de jeotermal suyun ve gazlarının çevreye zarar vermesinin önlenmesi için tüm dünyada yasalarla zorunlu hale getirilmiş olan reenjeksiyon (akışkanın yeraltına geri verilme) uygulanmaktadır. Yeni nesil jeotermal elektrik santrallerinde çevre kirliliği sıfıra yakındır. Yakıt yakılmadığından azot emisyonu oluşmamaktadır. Santraller 0,004 – 0,032 km²/MW arasında alan kaplamaktadır. Jeotermal enerji kaynakların çevre üzerindeki etkiler en çok sondaj çalışma sırasında oluşabilecek gürültü ve yüzey deformasyonudur.³³⁰

³²⁷ A.e.

³²⁸ “Noice from Wind Turbines-The Fact”, (Çevrimiçi), <http://www.bwea.com/ref/noise.html>, 10.10.2007

³²⁹ “Why Renewabel Energy?”, (Çevrimiçi),

http://www.reeep.org/media/downloadable_documents/g/r/BIREC%20-%20report.pdf, 10.10.2007

³³⁰ Masashi Shubaki, “Geothermal Energy for Elektric Power a REPP Issue Brief”, (Çevrimiçi), http://www.crest.org/articles/static/1/binaries/Geothermal_Issue_Brief.pdf, 15.01.2008

Yenilenebilir enerji kaynağı olan biokütle, yakıt olarak kullanımı sırasında sera gazların oluşmasına sebep olmaktadır. Ancak zararlı gazların salımı fosil enerji kaynaklarına göre daha az miktardadır. Çöp ve benzeri atıkların depolanması geçici görsel kirliliği yaratır ve yakılması sırasında önemli çevresel önlemler alınmasını gerektirir. Biokütle yetiştiriciliği ve ormancılığı ise büyük alan ve su kullanımı gerektirmektedir.³³¹

Deniz kaynaklı enerjilerin kullanımında herhangi bir madde giriş çıkışı olmadığından atık üretimi, gaz ve sıvı emisyonu bulunmamaktadır. Kullanılan teknolojiye göre gürültü ve görüntü kirliliğine sebep olursa da bunun giderilmesi mümkündür. En önemli etkiler denizdeki canlı yaşama olan etkileridir.³³²

Tüm enerji kaynakların üretilmesinde ve kullanılmasında bazılarında küçük bazılarında büyük çevre ve sağlık riskleri oluşmaktadır. Bununla beraber bu risklerin olası zararlarının hafifletilmesi ve çözülmesi mümkündür.

³³¹ IEA, **Energy Technology Essentials**, “Biomass for Power Generation and CHP”, Ocak 2007, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/techno/essentials31.pdf>, 10.10.2007

³³² T. W. Thorpe, **A Brief Review of Wave Energy**, Oxfordshire, 1999, s. 153, (Çevrimiçi), <http://www.mech.ed.ac.uk/research/wavepower/Tom%20Thorpe/Tom%20Thorpe%20report.pdf>, 15.01.2007

SONUÇ

Enerji, insanoğlunun yaşamını devam ettirmesinde en önemli temel kaynaklardan biri olmakla birlikte teknolojik gelişme ve nüfus artışına bağlı olarak her geçen gün enerjiye olan ihtiyaç artış göstermektedir. Çalışmada da belirtildiği gibi dünyanın enerjiye bağımlı olma derecesi 80'lerde %40 iken, günümüzde %50'ye çıkmış ve 20 yıl sonra %70'lere ulaşacağı öngörülmektedir.

Endüstrileşmiş modern toplumun fosil yakıt gerektiren teknoloji kullanması, gelişmekte olan ülkelerin sanayileşme süreçlerini tamamlamak üzere enerji taleplerin artması ve bunun sonucunda fosil enerji kaynakların tükenme sınırına gelmesi enerji arz güvenliğinin sağlanması sorununu ortaya koymaktadır. Ayrıca petrol ve petrol ürünleri konusunda yaşanan enerji bağımlılığı, petrol fiyatlarında meydana gelen dalgalanmalarda ekonomik alanda sıkıntıların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu da konan siyasi sınırlar neticesinde enerji ithalatçısı konumunda olan ülkelerin fosil yakıt bağımlılıklarını azaltmak için önlemler alması gerektiğini göstermektedir. Enerji bağımlılığın azaltılması ve enerji arz güvenliğinin sağlanması amacı ile pek çok ülkenin enerji politikaları, enerji kaynakların çeşitlendirilmesi ve yenilenebilir enerji kaynakların kullanımını teşvik edilmesi şeklinde olmaktadır.

Enerji kullanımının diğer önemli noktası, enerji üretiminden tüketimine kadar farklı boyutlarda çevresel sorunlara neden olmasıdır. Özellikle fosil yakıt tüketimi atmosferdeki sera gazı salımının artmasına ve küresel ısınmaya neden olmaktadır. Enerji kullanımının insan sağlığına ve çevreye verilen zararın maliyetleri dışsal maliyet olmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalar göstermektedir ki fosil enerji kaynaklarına dışsal maliyetler eklendiğinde enerji üretim maliyetleri yükselmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakların dışsal maliyeti sera gazı emisyonundan ziyade görüntü ve gürültü kirliliği, canlı yaşamın bozulması, toprak deformasyonu gibi etkilerden gelmektedir.

Enerji çeşitliliğine giderek yenilenebilir enerji kaynakların kullanılması, enerji bağımlılığın azaltılması yanında ekonomiye gelecekte ucuz, tükenmez, çevreyle uyumlu enerjinin sağlanması, yeni sektör olup istihdam yaratması, izole ve kırsal alanların gelişmesi gibi katkılar sağlayabilir.

Tezin ikinci bölümünde dünyada fosil enerji kaynakların ve yenilenebilir enerji kaynakların üretim, tüketim ve potansiyel durumları ele alınmıştır. Üçüncü bölümde bu konu Türkiye açısından incelenmiştir.

Fosil yakıtların %70'sini kömür, %14'ünü petrol, %14'ünü doğal gaz ve %2'sini diğer fosil enerji kaynakları oluşturmaktadır. Dünyada kömür rezervlerin %67'si dört ülkede bulunmaktadır: ABD (%27), Rusya (%17), Çin (%13), Hindistan (%10). Petrol rezervleri belli coğrafya üzerinde yoğunlaşmış olup %61,5'si Orta Doğu bölgesinde bulunmaktadır. Orta Doğu bölgesi aynı zamanda dünya doğal gaz rezervlerin %40,5'ine sahiptir. Avrupa ve Avrasya bölgesi %35,5 oranında bir pay ile ikinci en yüksek doğal gaz rezervlerine sahip bölgedir. Yapılan hesaplamalara göre mevcut tüketim koşulları altında kömürün 147 yıl, petrolün 40,5 yıl, doğal gazın 63,3 yıl kullanım süreleri kalmıştır. IEA tarafından yapılan projeksiyon analizine göre dünya enerji talebi 2005 – 2030 yılları arasında yılda %1,8 oranında artış göstererek 11,4 milyar tep'ten 17,7 milyar tep'e çıkacağını belirtmektedir.

Türkiye ise ifade edildiği gibi fosil enerji kaynakları bakımından zengin bir ülke değildir. Türkiye'nin en önemli fosil enerji kaynağı kömürdür. 2006 yılı itibariyle birincil enerji tüketiminin %26'sı yerli kömür (%11 linyit) ile karşılanmıştır. Türkiye'nin petrol ve doğal gaz rezervleri sınırlı olup arama faaliyetleri devam etmektedir. 2006 yılında üretilen petrol ve doğal gaz miktarı birincil enerji tüketiminin %8,9'unu oluşturmuştur. 99825 bin tep olan birincil enerji tüketiminin %62'si petrol (%33) ve doğal gaz (%29) ile karşılandığına göre Türkiye'nin kalan %53,1 oranındaki enerji ihtiyacını ithal petrol ve doğal gaz ile karşıladığı görülmektedir. Türkiye petrol ve doğal gaz ithalatçısı olmakla birlikte ithalat miktarının artacağı beklenmektedir.

Dünya enerji ihtiyacının %14'ünü karşılamakta olan yenilenebilir enerji kaynakları elektrik enerjisi, ısı üretimi ve ayrıca biokütleden biyoyakıt üretimi için kullanılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları dünya elektrik enerjisi üretiminin %18'ini sağlamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisinin yaklaşık %90'ı hidrolik enerji, %6'ı atıklardan, kalan %4,5'i diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından gelmektedir.

Önceleri su değirmenlerinde kullanılan hidrolik güç bugün 65 ülkenin elektrik ihtiyacının %50'sini, 32 ülkenin %80'nini ve 13 ülkenin tüm ihtiyacını karşılamaktadır. Dünya ekonomik hidroelektrik potansiyelinin ancak %33'ünü kullanmaktadır. 2007 yılı itibariyle dünyada toplam kurulu güç 728525 MW olup ortalama üretim 2743622 GWh/yıl olmuştur. Afrika ve Asya'da bulunan gelişmekte olan ülkelerde ve özellikle büyük enerji ihtiyacı olan Çin'de daha düşük ilk yatırım maliyeti gerektiren küçük ölçekli hidroelektrik santrallerin kurulmasının devam edeceği görülmektedir. Türkiye, dünya teknik yapılabilir hidroelektrik potansiyelinin %1,53 oranındaki payına sahiptir. Türkiye'de bulunan 135 hidroelektrik santral 12631 MW kurulu güce ve 45325 GWh/yıl ortalama üretim kapasitesine sahip olup ekonomik hidroelektrik potansiyelinin %35,6'sını kullanılmaktadır. Toplam üretilen elektrik enerjisinin ancak %24'ü hidroelektrik santrallerde üretilmektedir.

Güneş enerjisi, diğer yenilenebilir enerji kaynakların asıl kaynağı olan bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Güneşten gelen enerji çok büyük enerji potansiyel oluşturmakta olup dünya genelinde güneş enerjisine bir yönelim söz konusudur. Özellikle şebekeden uzak, elektrik enerjisi ulaştırması zor veya pahalı olan bölgelerde enerji ihtiyacının karşılanmasında ve elektrik enerjisi yokluğunun giderilmesinde güneş enerji sistemleri önemli rol oynamaktadır. Dünyada farklı güneş enerji sistemleri mevcuttur. Elektrik enerjisi üretenler yanında sıcak ısı/sıcak su sağlayan sistemler vardır. Dünya genelinde aktif güneş ısıtma sistemleri kurulu kapasitenin %63,1'i Çin'de bulunmaktadır. PV sistemlerin üretimi ve kullanılmasında Çin, Almanya, Japonya lider konumundadır. Türkiye, coğrafi konumu itibari ile güneş kuşağı içerisinde bulunan bir ülkedir. Mevcut güneş enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesi halinde önemli bir enerji kaynağı kazanılmış olacaktır. Türkiye'de 2006 yılı itibariyle 403 bin tep güneş enerjisi üretilmiştir. Bu da birincil enerji tüketiminin %0,4'ünü oluşturmaktadır. Üretilen güneş enerjisinin %70'i konut ısıtmada ve kalan %30'u sanayide kullanılmıştır.

Rüzgar enerjisi, 1970'lerde yaşanan petrol krizinden sonra önem kazanmaya başlamıştır. Bugün karada ve denizde kurulabilen türbinlerle rüzgar enerjisi dünyanın en hızlı gelişen enerji kaynağıdır. Rüzgar enerjisi kullanımında Avrupa lider

konumundadır. 2006 yılı itibariyle Avrupa’da kurulu kapasite 48545 MW olup, dünya kurulu gücün %65’ini oluşturmuştur. Üretilen yaklaşık 100TWh elektrik enerjisi Avrupa elektrik enerji ihtiyacının %3,3’ünü karşılayabilecek seviyede olmuştur. Türkiye’nin rüzgar potansiyeli tam olarak belirlenmemiş olsa da teknik rüzgar potansiyeli 88000 MW ve ekonomik potansiyeli 10000 MW’tır. Rüzgar enerjisinden 2006 yılında 127 GWh seviyesinde elektrik enerjisi üretilerek toplam elektrik enerjisi ihtiyacının sadece %0,1’ini karşılamıştır.

Jeotermal enerji de önemli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Elektrik üretimine elverişli yüksek sıcaklıktaki jeotermal enerji potansiyeli 11200 TWh/yıl olarak hesaplanmıştır. 2005 yılı itibariyle dünyada jeotermal enerji kurulu kapasitesi 8930 MW olup 57000 GWh/yıl elektrik enerjisi üretilmiştir. Jeotermal kurulu kapasitelerin %90’nı ABD, Filipinler, Meksika, İtalya, Endonezya ve Yeni Zelanda’dadır. Jeotermal enerji kaynakların direk kullanımı 72 ülkede gerçekleştirilmektedir. 2005 yılında direk jeotermal enerji kullanımında lider ülkeler Çin, İsveç, ABD, Türkiye, İzlanda ve Japonya olmuştur. Türkiye, jeotermal enerji kaynak zenginliği ile dünyada yedinci sırada yer almaktadır. Sahip olduğu jeotermal enerji potansiyeli ile toplam elektrik enerjisi üretiminin %5’ine kadar, ısıtma ve ısı enerjisi ihtiyacının %30’una kadar karşılayabilecek durumdadır. Türkiye’de 2006 yılında 94 GWh elektrik enerjisi ve 117 bin konut eşdeğer ısı üretilmiştir. Jeotermal kuyu arama ve açma çalışmaları devam etmekte olup gelecekte 550 MW elektrik enerjisi ve 500 bin konut eşdeğer ısı üretilmesi beklenmektedir.

Biokütle, yenilenebilir olması, her yerde yetiştirilebilmesi, elektrik enerjisi üretilmesi ve taşıtlar için yakıt elde edebilmesi için uygun olması nedeni ile önemli bir enerji kaynağı olmaktadır. Özellikle modern biokütle kaynaklarından biyoyakıt (biodizel, bioetanon) üretilmesi, ulaştırma sektörün fosil yakıtlara bağımlılığının azalmasını sağlayarak alternatif yakıt oluşturmaktadır. Buna yönelik olarak pek çok ülkede enerji yetiştiriciliğine yönelmiştir. Türkiye’de klasik biokütle kaynağı olan odun ile bitki ve hayvan atıkları kullanılmaktadır. Türkiye modern biokütle enerji kaynaklarına (enerji ormancılığı, enerji tarımı) yatırım yapabilecek kapasiteye ve imkana sahiptir.

Dünyanın $\frac{3}{4}$ fazlasını kapsayan okyanuslar, önemli enerji potansiyelini oluşturmaktadır. Günümüzde sınırlı ölçüde kullanılmakta olan dalga, gel-git ve okyanus ısısı gelecekte güvenilir teknoloji ile ticari boyutta kullanılabilir. Prototip çalışmaları devam etmektedir. Buna ilişkin olarak Türkiye'nin üç tarafının deniz ile çevrili olması bir avantaj oluşturmaktadır.

Ülkeler açısından sahip olunan doğal kaynak rezervlerin yanı sıra bu kaynakları kullanabilmeleri için uygun teknoloji ve proje finansman sorunları öne çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakların kullanımı ileri düzey teknoloji ve bunun da yüksek ilk yatırım maliyetler gerektirmesi nedeni ile ticaretleşmesi daha tam olarak sağlanamamıştır.

Gelişmekte olan ülkeler, geleceğe dair enerjiye ilişkin olarak makro planlar yapılması, enerji kaynaklarını çeşitlendirilmesine ve etkin kullanımına yönelerek elektrik enerjisi üretiminde yerli kaynakların kullanılmasını arttırmaları gerekmektedir. Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik ve ısı enerjisi üretimini desteklemek ve kanuni bir çerçeveye oturtarak yatırımcılara güven sağlamak açısından dünyadaki değişimleri dikkate alarak 2005 yılında 'Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun'u çıkarmıştır.

Görülüyor ki, yerli enerji kaynakları olan yenilenebilir enerji kaynakların değerlendirilmesi, artan enerji ihtiyacının karşılanmasında, pahalı fosil yakıtların ithalatının azaltılmasında, zararlı gaz emisyonun salımının önlenmesinde önemli potansiyele sahip olup çok yakın gelecekte ucuz-tükenmez-temiz enerji arzını oluşturacak.

Yenilenebilir enerji kaynakların değerlendirilmesi fırsatı, teknolojik araştırma, geliştirme ve tanıtımının sağlanması; politika geliştirilmesi ve denetleme işbirliğinin oluşturulması; finansal kaynaklar ile yatırım desteklerin varlığı; uluslararası işbirliğinin oluşturulması, artan kullanımı gözden geçirme mekanizmaların yaratılması ile arttırılabilir. Yenilenebilir enerji kaynakların her birinin ayrı ayrı ele alınması veya bölgesel olarak incelenmesi spesifik çalışmalara konu olabilir.

KAYNAKÇA

- Alemdaroğlu, Nusret: **Enerji Sektörünün Geleceği Alternatif Enerji Kanakları ve Türkiye'nin Önündeki Fırsatlar**, İstanbul Ticaret Odası, İstanbul, 2007
- Atagündüz, Gürbüz: “Alternatif Enerji Yatırımlarının Dünya ve Türkiye’deki Uygulamaları Oturum Konuşması”, **Ulusal Enerji Forumu Kitabı**, 2001, İş Bankası, s. 109-113
- Berberoğlu, Necat: **Türkiye’nin Ekonomik Gelişmesinde Elektrik Enerjisi Sorunu**, Eskişehir İktisadi ve Ticari İlimler Akademisi Yayınları, Eskişehir, 1982
- Bronicki, L.Y.: “Financing Renewables”, **Independent Energy**, Tulsa, PennWell, 28 Ekim 1998, 8.sayı, s. 4-8
- Böhringer, Christoph; Löschel, Andreas: “Promoting Renewable Energy in Europe: A Hybrid Computable General Equilibrium Approach”, **The Energy Journal**, 2006, s.135-152
- Boyle, Godfrey: **Renewable Energy Power for Sustainable Future**, New York, Oxford University Press, 2004
- Çokan, Metin: “Alternatif Enerji Yatırımlarının Dünya ve Türkiye’deki Uygulamaları Oturum Konuşması”, **Ulusal Enerji Forumu Kitabı**, 2001, İş Bankası, s. 121-122
- Dahl, Carol A.: **International Energy Markets**, Oklahoma, Penn Well Corporation, 2004
- Demirtola, Mehmet: “Türkiye’de Rüzgar ve Jeotermal Enerjisi”, **Ulusal Enerji Forumu “Türkiye’nin Yeni Enerji Stratejileri”**, Kasım 2001, Bildiriler Kitabı
- Deutschland:** Mart 2006, “Jeotermal enerji”, s. 11-16
- Economic Commission for Europe: **Energy Reserves and Supplies in the ECE Region**, United Nationalities, New York, 1979

- Fanchi, John R.: **Energy: Technology and Directions for The Future**, USA, Elsevier Academic Pres, 2004
- Fay, James A.,
Golomb, Dan S.: **Energy and The Enviroment**, New York, Oxford University Press, 2002
- Gevorkian, Peter: **Sustainable Energy Systems Engineering**, New York , Mc Grow Hill, 2007
- IEA: **Guidelines for the Economic Analysis of Renewable Energy Technology Applications**, Kanada, 1991
- Karaosmanoğlu, Filiz: “Enerjinin Önemi, Sınıflandırılması ile İhtiyaç Dengesi ve Gelecekteki Enerji Kaynakları”, **Dünya ve Türkiye’deki Enerji ve Su Kaynaklarının, Ulusal ve Uluslar Arası Güvenliğe Etkileri 15-16 Ocak 2004**, İstanbul, Harp Akademiler Komutanlığı, 2004
- Kuyucuklu, Nazif: **Türkiye İktisadı**, İstanbul, Filiz Kitapevi, 1993
- Makine Mühendisler Odası: Türkiye’nin Doğal Gaz Temin ve Tüketim Politikalarının Değerlendirilmesi Raporu, Ankara, 2006
- Mayer-Tasch, Peter C.: “Tarihsel Bakış Açısıyla Enerji ve Enerji Tedariki”, **Avrupa ve Orta Asya Arasındaki Enerji Köprüsü Türkiye**, Editör: Wernel Gumpel, Alpay Hekimler, Ankara, Konrad Adenauer Stiftung Yayını, 2007
- Şen, Zekai: **Temiz Enerji ve Kaynakları**, İstanbul, Su Vakfı Yayınları, 2002
- Tester, Jefferson W. vd.: **Sustainable Energy Choosing Among Options**, The MIT Pres, Cambridge, 2005
- Türe, Semra; Özdoğan, Sibel;
Saygın, Ömer: “Biyokütleden Enerji Üretimi”, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, **Türkiye 6. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliği**, Ankara, Ajans-Türk Matbaacılık Sanayi A.Ş., 1994
- Zippel, Wulfdiether: “Enerji Kaynakları Çeşitlendirilme Yaklaşımları Altında AB’nin Enerji Politikası”, **Avrupa ve Orta Asya**

Arasındaki Enerji Köprüsü Türkiye, Editör: Wernel Gumpel, Alpay Hekimler, Ankara, Konrad Adenauer Stiftung Yayını, 2007

American Wind Energy
Association (AWEA):

“Wind Power Today”, (Çevrimiçi),
<http://www.awea.org/pubs/factsheets/WindPowerTodayFinal.pdf>, 10.10.2007

Ar, Figen; Akdağ, Funda;
Malkoç, Yüksel; Çalışkan,
Mustafa:

“Biokütle Enerjisi ve Biomotorin”, (Çevrimiçi), **TMMOB Türkiye III. Enerji Sempozyumu Bildirgesi**, Ankara, s. 59,(Çevrimiçi),http://www.emo.org.tr/resimler/ekler/12e9d677c_ek.pdf, 20.10.2007

Berg, Christofer:

“World Fuel Ethanol Analysis and Outlook”, (Çevrimiçi),
<http://www.distill.com/World-Fuel-Ethanol-A&O-2004.html>, 15.01.2008

Bertani, Ruggero:

“World Geothermal Power Generation 2001 – 2005”,
Mayıs-Haziran 2006, (Çevrimiçi),
<http://www.geothermal.org/articles/worldpower05.pdf>,
15.01.2007

Bilgin, Nesteren:

“Biyogaz nedir?”, (Çevrimiçi), <http://www.khgm.gov.tr/-kutuphane/biyogaz/bigaz.htm>, 20.05.2008

BP:

“BP Statistical Review of World Energy 2007”,(Çevrimiçi),<http://www.bp.com/productlanding.do?categoryId=6848&contentId=7033471>, 15.04.2008

BP:

“Istatistical Review”, (Çevrimiçi),
http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/downloads/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_review_2008.pdf,
23.06.2008

Bossel, Ulf:

“On the Way to a Sustainable Energy Future”,(Çevrimiçi),
<http://www.efcf.com/reports/E15.pdf>, 10.10.2007

Bossel, Ulf:

“Sustainability and Energy”, (Çevrimiçi),
<http://www.efcf.com/reports/E23.pdf>, 10.10.2007

- BOTAŞ: “Doğal Gaz Ticareti”, (Çevrimiçi),
http://www.botas.gov.tr/dogalgaz/dg_ticareti.asp,
20.05.2008
- Chefurka, Paul: “World Energy and Population: Trends to 2100”,
(Çevrimiçi),<http://www.paulchefurka.ca/WEAP/WEAP.html>, 20.10.2007
- Çağlar, Yücel: “Evdeki Bulgurdan Olmamak için Enerji
Ormancılığı”,(Çevrimiçi),http://www.emo.org.tr/resimler/ekler/ab06363eea311a0_ek.pdf?dergi, 10.10.2007
- Danish Wind Power Association: “Did You Know”, (Çevrimiçi),
<http://www.windpower.org/en/didyouknow.htm>,
10.10.2007
- Danish Wind Power Association: “What Does a Wind Turbin Cost”, (Çevrimiçi),
<http://www.windpower.org/en/didyouknow.htm>,
10.10.2008
- Deniz, Nurdeni: “Enerji ve Çevre Mevzuatı”, **TMMOB 2.Enerji Sempozyumu 22-24 Kasım 1999**, (Çevrimiçi),
http://www.emo.org.tr/resimler/ekler/86ba2b5d093634f_ek.pdf, 20.10.2008
- Department of Trade and Industry (UK): “How It Works”, (Çevrimiçi),
<http://www.dti.gov.uk/energy/sources/renewables/renewables-explained/wave-energy/how-it-works/page16696.html>,
10.10.2007
- Dickson, Mary H.; Fanelli, Mario: “What is Geothermal Energy?”, (Çevrimiçi),
<http://iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy.php>, 10.10.2007
- Dikmen, Çağatay: “AB’de Enerjisi ve Çevre”, (Çevrimiçi),
http://www.emo.org.tr/resimler/ekler/205ee2a5de471a7_ek.pdf, 10.10.2007

- Dorn, Jonathan G.: “Solar Cell Production Jumps 50 Percent in 2007”, (Çevrimiçi), <http://www.earthpolicy.org/Indicators/Solar/2007.htm>, 15.01.2008
- DSİ: “Hidroelektrik Enerji”, (Çevrimiçi), <http://www.dsi.gov.tr/hizmet/enerji.htm>, 20.05.2008
- Dücke, Olivier: “Solar Energy for Heating and Electricity Production”, (Çevrimiçi), <http://www.germanrenewableenergy.com/Renewables/Redaktion/PDF/en/en-Solar-Power-forElectricityandHeat.property=pdf,bereich=renewables,sprache=en,rwb=true.pdf>, 10.10.2007
- Dünya Bankası Datası: (Çevrimiçi), <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/DATASTATISTICS.html>, 20.05.2008
- Earth Policy Institute, Murray, Danielle: “Ethanol Potential: Looking Beyond Corn”, 29 Haziran 2005, (Çevrimiçi), <http://www.earthpolicy.org/Updates/2005/Update49.htm>, 10.10.2007
- EİE: “Biyogaz”, (Çevrimiçi), <http://www.eie.gov.tr/biyogaz.htm>, 10.10.2007
- EİE: “Güneş Enerjisi ve Teknolojileri”, (Çevrimiçi), <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunespv.html>, 10.10.2007
- EİE: “Isıl Güneş Teknolojileri”, (Çevrimiçi), <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/gunespv.html>, 10.10.2007
- EİE: “Rüzgar Mevzuatı”, (Çevrimiçi), http://www.eie.gov.tr/turkce/ruzgar/ruzgar_mevzuat.html, 20.05.2008
- EİE: “Türkiye’de Güneş Enerjisi”, (Çevrimiçi), <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/tgunes.html>, 20.05.2008
- Emrique Iglesias: “Financial Options for Renewables, Keynote Speech”, Haziran 2004, (Çevrimiçi), http://www.estif.org/fileadmin/downloads/Solar_Thermal_Markets_in_Europe_2006.pdf, 10.10.2007

Energy Information
Administration:

International Energy Outlook 2007, Washington, US
Energydepartment, Mayıs 2007, (Çevrimiçi),
<http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html>, 15.01.2008

Energy Information
Administration:

“What is Energy?”, (Çevrimiçi),
<http://www.eia.doe.gov/kids/energyfacts/sources/whatsenergy.html>, 04.10.2007

Enermodal Engineering
Limited:

**Cost Reduction Study for Solar Thermal Power Plants
Final Report**, 1999, (Çevrimiçi),
<http://www.solarpaces.org/Library/docs/STPP%20Final%20Report2.pdf>, 10.10.2007

Enerji Haber:

“Elektrik Satış Fiyatı 09/06/2008”, (Çevrimiçi),
<http://www.enerjihaber.com/haberdetay.asp?bolum=296&uycid=0>, 23.06.2008

Eniş, Ahmet:

“Enerji Politikaları; Yerli,Yeni ve Yenilenebilir Enerji
Kaynakları”, **TMMOB Türkiye V. Enerji Sempozyumu
Bildirileri**, Makine Mühendisi Enerji Çalışma Grubu,
(Çevrimiçi),http://www.emo.org.tr/resimler/ekler/c6744c9d42ec2cb_ek.pdf, 27.09.2007

Eriksson, Philip;
Olsson, Martin:

“The Potential of Biogaz as Vehicle Fuel in
Europe”,(Çevrimiçi),http://websrv5.sdu.dk/bio/download/Biogaz_trans.pdf, 10.10.2007

ETKB:

“İstatistikler”, (Çevrimiçi),),
<http://www.enerji.gov.tr/istatistik.asp>, 20.05.2008

European Solar Thermal Industry
Federation (ESTIF):

Concentrated Solar Thermal Power-Now, 2005,
(Çevrimiçi),http://www.solarpaces.org/Library/CSP_Documents/Concentrated-Solar-Thermal-PowerPlants2005.pdf,
10.10.2007

European Solar Thermal Industry

- Federation (ESTIF): “Solar Heating and Cooling on its Way to Mainstream”(Çevrimiçi),http://www.estif.org/fileadmin/downloads/press/ESTIF_pr_070619_Markets.doc, 10.10.2007
- EWEA: **Rüzgar Gücü 12**, 2004, (Çevrimiçi), http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/WF12/RzgarGc12.pdf, 10.10.2007
- Gençoğlu, Muhsin: “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Açısından Önemi”,(Çevrimiçi),http://perweb.firat.edu.tr/personel/yayinlar/fua_612/612_502.pdf, 20.05.2008
- Geothermal Education Office: “Geothermal Power Production Worldwild”, (Çevrimiçi), <http://geothermal.marin.org/geoenergy.html>, 10.10.2007
- Geothermal Education Office: “What Does the Word “Geothermal Mean?”, (Çevrimiçi), <http://geothermal.marin.org/geoenergy.html>, 10.10.2007
- German Wind Energy Association: “Briefing May 10 2005”, (Çevrimiçi), http://www.windenergie.de/fileadmin/dokumente/English/050510_briefing_ewea_dena_study.pdf, 15.01.2008
- German Wind Energy Association: “Promoting Wind Energy Through a Minimum Price System”, (Çevrimiçi), <http://www.windenergie.de/en/topics/renewable-energy-law.html>, 15.01.2008
- German Wind Energy Association: “Wind Energy Efficiency”, (Çevrimiçi), <http://www.windenergie.de/en/topics/wind-energy-efficiency.html>, 15.01.2008
- German Wind Energy Association: “Renewable Energy Sources Act (EEG) Progress Report007”,(Çevrimiçi),http://www.windenergie.de/fileadmin/dokumente/English/erfahrungsbericht_eeg_2007_zf_en.pdf, 10.10.2007
- Global Wind Energy Council (GWEC): **Global Wind 2006 Report**, (Çevrimiçi),http://www.windenergie.de/fileadmin/dokumente/Themen_AZ/Internationale%20Windenergie/gwec2006_global_wind_report.pdf, 15.01.2008
- Goldstein, Joshua S.; Huang, Xiaoming;

- Akan, Burcu: “Energy in the World Economy, 1950-1992”, **International Studies Quarterly**, vol. 41, No. 2, Haziran 1997, (Çevrimiçi), <http://www.jstore.org>, 18.12.2007
- Greenpeace: **Enerji Revolution: A Sustainable Pathway To A Clean Future For Europe**, 2005, (Çevrimiçi), <http://www.greenpeace.org/raw/content/international/press/reports/energy-revolution-a-sustainab.pdf>, 27.09.2007
- Greenpeace: **Energy Revolution A Sustainable World Energy Outlook**, 2007, (Çevrimiçi), <http://www.greenpeace.org/raw/content/international/press/reports/energyrevolutionreport.pdf>, 10.10.2007
- Haugwitz, Frank; Müller, Hansjörg: “Solar Energy: Electricity for Rural Areas”, (Çevrimiçi), <http://www.germanrenewableenergy.com/Renewables/Redaktion/PDF/en/enSolarenergyPowerforruraleasEnergyAsia2003.property=pdf,bereich=renewables,sprache=en,rwb=true.pdf>, 10.10.2007
- Heller, Peter; Richter, Cristoph; Henneske, Klaus: “Solar Thermal Energy and Photovoltaics”, (Çevrimiçi), <http://www.germanrenewableenergy.com/Renewables/Redaktion/PDF/en/enSolarenergyandphotovoltaics.property=pdf,bereich=renewables,sprache=en,rwb=true.pdf>, 10.10.2007
- IPCC: **Climate Change 2007: Synthesis Report**, (Çevrimiçi), http://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf, 01.06.2008
- International Geothermal Development: “Geothermal Energy, Clean Sustainable Energy”, (Çevrimiçi), <http://www.geothermal.org/GeoEnergy.pdf>, 15.01.2008
- IEA, Coal Industry Advisory Board: **Clean Coal Technology**, 2008, (Çevrimiçi), http://www.iea.org/textbase/papers/2008/Clean_Coal_CIAB_2008.pdf, 15.04.2008
- IEA, Coal Industry Advisory Board: **International Coal Market & Policy Developments in 2005/06**, (Çevrimiçi), http://www.iea.org/ciab/papers/ciabmark_2007.pdf, 15.04.2008

- IEA: **Biofuels for Transport 2004**, Paris, 2004, (Çevrimiçi),<http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2004/biofuels2004.pdf>, 15.01.2008
- IEA: **Energy Policies of IEA Countries Turkey in Review 2005**,(Çevrimiçi),<http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2005/turkey2005.pdf>, 20.05.2008
- IEA: **Energy Technology Essentials**, “Biomass for Power Generation and CHP”, Ocak 2007, (Çevrimiçi),
<http://www.iea.org/textbase/techno/essentials31.pdf>, 10.10.2007
- IEA: “Hydrojen Production and Distribution”, (Çevrimiçi),
<http://www.iea.org/textbase/techno/essentials5.pdf>, 10.10.2007
- IEA: **Renewables in Global Energy Supply**, Ocak 2007, (Çevrimiçi),http://www.iea.org/textbase/papers/2006/renewable_factsheet.pdf, 10.10.1008
- IEA: **Renewable Technology**, (Çevrimiçi),
http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/1990/renew_tech1991.pdf, 10.10.2007
- IEA: **Renewables for Power Generation**, Paris, 2003, (Çevrimiçi),http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/renewpower_2003.pdf, 10.10.2007
- IEA: **Renewables 2007 Global Status Pre-publication Report**, Aralık 2007, (Çevrimiçi),
http://www.ren21.net/pdf/REN21_GSR2007_Prepub_web.pdf, 15.01.2008
- IEA: “Renewables for Heating and Cooling 2007”,(Çevrimiçi),<http://www.iea.org/textbase/papers/2006/renewable-heating-cooling.pdf>
- IEA: **Rukovodstvo po Energeticheskoy Statistike**, 2007, Paris,(Çevrimiçi),http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2007/manual_russia.pdf, 10.10.2007

- IEA: **Wind Energy Annual Report 2006**, (Çevrimiçi), http://www.ieawind.org/AnnualReports_PDF/2006%20AR%20IEA%20Wind/2006%20IEAWind%20AR.indd.pdf, 15.01.2008
- IEA: **World Energy 2007 Executive Summary**, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/Textbase/npsum/WEO2007SUM.pdf>, 15.01.2008
- IEA: **World Energy Outlook 2006**, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2006/weo2006.pdf>, 10.10.2007
- IEA: **World Energy Outlook 2004**, (Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2004/weo2004.pdf>, 10.10.2007
- Jeotermal Derneği: “Jeotermal Enerji Hep Vardı”, (Çevrimiçi), <http://www.jeotermaldernegi.org.tr>, 10.10.2007
- Jimenez, Viviana: “World Sales of Solar Cell Jump 32 Persent”, (Çevrimiçi), http://www.earthpolicy.org/Indicatprs/2004/indicator12_data.htm, 10.10.2007
- Kahriman, Ali: “Ukraynada Yaşanan Doğalgaz Krizi Ekseninde Ülkemiz Enerji Politikasına Genel Bir Bakış”, (Çevrimiçi), <http://www.istanbul.edu.tr/eng/maden/worddosyalar/Dogalgaz%20KriziEnerji%20Politikamız.doc>, 10.10.2007
- Kavalov, B.; Peteves, S. D.: “Status and Perspectives of Biomass-to-Liquid Fuels in the EU”, EU Commission Joint Reserch Center, Hollanda, (Çevrimiçi), http://www.senternovem.nl/mmfiles/Status_perspectives_biofuels_EU_2005_tcm24-152475.pdf, 10.10.2007
- Klas, Donald L.: “Biomass for Renewable Energy and Fuels”, (Çevrimiçi), <http://www.beral.org/cyclopediaofEnergy.pdf>, 10.10.2007
- Karakaya, Ertem; Özçağ, Mustafa: “Türkiye Açısından Kyoto Protokolü’nün Değerlendirilmesi Ve Ayrıştırma (Decomposition) Yöntemi İle CO₂ Emisyonu Belirleyicilerinin Analizi”, (Çevrimiçi), http://www.econturk.org/Turkiyeekonomisi/odu_paper.pdf, 01.06.2008

- Lund, John W.: “100 Years of Geothermal Power Production”,(Çevrimiçi),<http://geoheat.oit.edu/bulletin/bul125-3/art2.pdf>, 15.01.2008
- Maden Mühendisleri Odası: “LinyitRapor”,(Çevrimiçi),
http://www.maden.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=112&tipi=5&sube, 20.05.2008
- Maden Mühendisler Odası: (Çevrimiçi),
http://www.maden.org.tr/genel/bizden_detay.php, 01.06.2008
- MTA: “Türkiye’de Jeotermal Enerji Çalışmaları”, (Çevrimiçi),<http://www.mta.gov.tr/mta/enerji/jeotermal/turkeygeneral/jeotermal%20potansiyel2.htm>, 20.05.2008
- Noord, M. de; Beurskens, L.W.M.; Vries, H.J. de: “Potentials And Costs For Renewable Electricity Generation A Data Overview”, (Çevrimiçi),<http://www.ecn.nl/docs/library/report/2003/c03006.pdf>, 10.10.2007
- Okoro, O.I.; Madueme, T.C.: “Solar Energy: A Necessary Investment in a Developing Economy”, **International Journal for Sustainable Energy**, 1 Mart 2006, 25:1, s.28-43, (Çevrimiçi),
<http://dx.doi.org/10.1080/14786450600593147>, 23.06.2008
- Oral, Sabri: “İthal Kömür”, (Çevrimiçi),
<http://www.komur.org.tr/makale.html>, 20.05.2008
- Önder, İzzettin: “Yeni Dünya Düzeni ve Enerji Politikaları”, **TMMOB Türkiye III. Enerji Sempozyumu Bildirgesi**, Ankara, (Çevrimiçi),http://www.emo.org.tr/resimler/ekler/3fa59e5bfab8375_ek.pdf, 20.10.2007
- National Renewable Energy Laboratory (NREL): **From Biomass to Biofuels**, USA, 2006, (Çevrimiçi),<http://www.nrel.gov/biomass/pdfs/39436.pdf>, 10.10.2007
- Pamir, Necdet: “Enerji Politikaları ve Küresel Gelişmeler”, **Stratejik Analiz**, Aralık 2005, s. 68-82 (Çevrimiçi),
<http://www.asam.org.tr/temp/temp11.pdf>, 20.10.2007

- Petrol İşleri Genel Müdürlüğü: “Petrol Rezervleri”, (Çevrimiçi), http://www.pigm.gov.tr/2006_petrol_rezervleri.htm, 20.05.2008
- Petrol İşleri Genel Müdürlüğü: “İstatistikler”,(Çevrimiçi),<http://www.pigm.gov.tr/>, 20.05.2008
- Philibert, Cedric: “The Present and Future Use of Solar Thermal Energy as a Primary Source of Energy”, IEA, France, 2005, (Çevrimiçi),http://www.iea.org/textbase/papers/2005/solar_thermal.pdf , 10.10.2007
- Photovoltaic Power: “History of Photovoltaics”, (Çevrimiçi), <http://www.pvpower.com/historyofphotovoltaics.html>, 15.01.2008
- Photovoltaic Power: “Other Alternative Energy Sources”, (Çevrimiçi), <http://www.pvpower.com/alternativeenergy.html>, 10.10.2007
- Renewable Energy Policy Network for the 21st Century: **Renewables Global Status Report 2006 Update**, Paris, 2006,(Çevrimiçi),http://www.ren21.net/globalstatusreport/download/RE_GSR_2006_Update.pdf, 10.10.2007
- Renewable Energy-Made in Germany: “Biomass”,(Çevrimiçi),<http://www.german-renewableenergy.com/Renewables/Navigation/Englisch/biomass.html>, 10.10.2007
- Rohde, Peter: “What Could Shape Us As The Biggest Surprise to Influence the Future Demand For Coal?”,(Çevrimiçi), <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/1990/futrolecoal99.pdf>, 15.04.2008
- Saraçoğlu, Nedim: “Enerji Ormanlığı Projelerinin Türkiye'nin Enerji Potansiyeline Katkı Olanakları”, **Türkiye I. Enerji Sempozyumu : Bildiriler Kitabı** , 1. bs., Ankara, Emo Yayınları, 1996, (Çevrimiçi), http://www.emo.org.tr/resimler/ekler/ac462c3beb1a7bb_ek.pdf, 20.10.2007

- Sayar, Haluk: “Seragazı Azaltımı ve Güneş Enerjisi”, (Çevrimiçi), http://www.eurosolar.org.tr/index.php?option=com_content&task=view&id=27&Itemid=65, 10.10.2007
- Shubaki, Masashi: “Geothermal Energy for Elektric Power a REPP Issue Brief”, (Çevrimiçi), http://www.crest.org/articles/static/1/binaries/Geothermal_Issue_Brief.pdf, 15.01.2008
- Siren, Gustav: “Premises of Energy Forestry in Sweden”, (Çevrimiçi), http://www.rr.ualberta.ca/What's%20Happening/FILS/Publications/FILS_3.pdf, 10.10.2007
- Stauffer, Nancy: “Solar Power Through 2015”, (Çevrimiçi), http://esd.mit.edu/esd_reports/summer2005/solar_power.html, 15.01.2008
- Şener, Mehmet: “Küreselleşme Fosil Katı Yakıtlar ve Jeotermal Enerji”, (Çevrimiçi), **TMMOB Türkiye V. Enerji Sempozyumu Bildirgesi**, Ankara, (Çevrimiçi), http://www.emo.org.tr/resimler/ekler/2b30a20abd6331_ek.pdf, 20.10.2007
- Tamzok, Necat: “Kömür Rezervlerine Sahip Ülkelerde Kullanılan Kaynakların Seçimi ve Türkiye'nin Konumu”, (Çevrimiçi), http://www.emo.org.tr/resimler/ekler/3fa59e5bfab8375_ek.pdf, 20.10.2007
- TBMM: “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun”, (Çevrimiçi), <http://www.tbmm.gov.tr/kanunlar/k5346.html>, 20.05.2008
- T.C. Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı (ETKB): İstatistikler, (Çevrimiçi), <http://www.enerji.gov.tr/istatistik.asp>, 20.05.2008
- The British Wind Energy Association (BWEA): “Offshore Wind”, (Çevrimiçi), <http://www.bwea.com/offshore/worldwild.html>, 10.10.2007
- The British Wind Energy

- Association (BWEA): “Offshore Wind Technology”, (Çevrimiçi), <http://www.bwea.com/pdf/briefings/offshore-2005.pdf>, 10.10.2007
- The British Wind Energy Association (BWEA): “Noise from Wind Turbines-The Fact”, (Çevrimiçi), <http://www.bwea.com/ref/noise.html>, 10.10.2007
- The British Wind Energy Association (BWEA): “The Economics of Wind Energy”, (Çevrimiçi), <http://www.bwea.com/ref/econ.html>, 15.01.2008
- The British Wind Energy Association (BWEA): “Wind Turbine Technology”, (Çevrimiçi), <http://www.bwea.com/pdf/briefings/technology-2005.pdf>, 10.10.2007
- The European Wind Energy Association (EWEA): **Wind Energy The Fact An Analysis of Wind Energy in EU25**, 2005, (Çevrimiçi), http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/WETF/Facts_Summary.pdf, 10.10.2007
- The European Wind Energy Association (EWEA): **Wind Force 12**, (Çevrimiçi), http://www.ewea.org/documents/WF12_2004.eng.pdf, 10.10.2007
- The European Union Online Portal: “Kyoto Protocol”, (Çevrimiçi), <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/03/154>, 23.06.2008
- The European Union Online Portal: “Wave Energy – The Technology-Nearshore Devices”, (Çevrimiçi), http://europa.eu.int/comm/energy_transport/atlas/htmlu/wavpost6.html, 15.01.2008
- The European Union Online Portal: “Wave Energy – The Technology-Offshore Devices”, (Çevrimiçi), http://europa.eu.int/comm/energy_transport/atlas/htmlu/wavint4.html, 15.01.2008
- The Religious Education and Environment Programme: “Why Renewabel Energy?”, (Çevrimiçi), http://www.reeep.org/media/downloadable_documents/g/r/BIREC%20-%20report.pdf, 10.10.2007

- Thorpe, T. W.: “An Overview of Wave Energy Technologies: Satus, Performance and Cost, (Çevrimiçi), <http://www.waveenergy.net/Library/An%20Overview%20of%20Wave%20Energy.pdf>, 15.01.2008
- Thorpe, T. W.: **A Brief Review of Wave Energy**, Oxfordshire, 1999, (Çevrimiçi), <http://www.mech.ed.ac.uk/research/wavepower/Tom%20Thorpe/Tom%20Thorpe%20report.pdf>, 15.01.2007
- TTK: (Çevrimiçi), <http://www.taskomuru.gov.tr/file/faaliyet/2007>, 01.06.2008
- TÜİK: “Sera Gazı Emisyon Envanteri 2006”, (Çevrimiçi), <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=1996>, 01.06.2008
- TÜİK: İstatistikleri,(Çevrimiçi), http://www.tuik.gov.tr/VeriBilgi.do?tb_id=12&ust_id=4, 20.05.2008
- Türkiye Jeotermal Derneği: “Türkiye’de Jeotermal”, (Çevrimiçi), <http://www.jeotermaldernegi.org.tr/>, 20.05.2008
- Tüzüner, Selva: “Sera Gazları ve Küresel Isınma ve Enerji”, (Çevrimiçi), 23.05.2008
- United Nations Environment Programme: **Financial Risk Management Instruments for Renewable Energy Projects**, 2004, s. 18, (Çevrimiçi), http://www.uneptie.org/energy/publications/pdfs/RE_Risk_Manag.pdf, 01.06.2008
- Ültanır, Mustafa Özcan: **21. Yüzyıla Girerken Türkiye’nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi**,(Çevrimiçi),<http://www.tusiad.org/turkish/rapor/enerji/pdf/index.html>, 10.10.2007
- Ulueren, M.: “Küresel Isınma BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve KYOTO Protokolü”, (Çevrimiçi), <http://www.mfa.gov.tr/turkce/grupe/ues/KureselIsinmaBMIklimveKYOTO.htm>, 23.06.2008
- United Nations University:

“PVCost”,(Çevrimiçi),<http://www.unu.edu/unupress/unupbooks/-uu24ee/uu24ee0j.htm>, 15.01.2008

World Energy Council (WEC): **Survey of Energy Resources 2007**, Londra, 2007, (Çevrimiçi),http://www.worldenergy.org/documents/ser2007_final_online_version_1.pdf, 15.01.2008

World Energy Council (WEC): **Transport Technologies and Policy Senarios to 2050 – Excutive Summary 2007**, Londra, 2007,(Çevrimiçi),http://www.worldenergy.org/documents/transportation_study_executive_summary_online_version.pdf, 10.10.2007

Yenilenebilirenerjikaynakları: “Biokütle Enerjisi”, (Çevrimiçi),http://yenilenebilirenerjikaynaklari.ws.tc/Biokütle_enerjisi.htm, 20.05.2008

Yenilenebilirenerjikaynakları: “Hidroelektrik enerji”, (Çevrimiçi),http://yenilenebilirenerjikaynaklari.ws.tc/Hidroelektrik_enerjisi.htm, 10.10.2007

Yenilenebilirenerjikaynakları: “Rüzgar enerji”, (Çevrimiçi),http://yenilenebilirenerjikaynaklari.ws.tc/Rüzgar_enerjisi.htm, 20.05.2008

Youth Association for Habitat and Agenda: “Biokütle Enerjisi”, (Çevrimiçi),<http://www.youthforhab.org.tr/tr/yayinlar/enerji/biyokutle/giris.html>, 10.10.2007

Youth Association for Habitat and Agenda: “Dünyaya ulaşan Güneş Enerjisi”, (Çevrimiçi),http://www.youthforhab.org.tr/tr/yayinlar/enerji/g_taniyalim/ulasan.html, 10.10.2008

Youth Association for Habitat and Agenda: “Geçmişten Bugüne Enerji Kullanımı”, (Çevrimiçi),http://www.habitaticingenclik.org.tr/dl/yayinlar/enerji/G_Bugune.pdf, 10.10.2007

Youth Association for Habitat and Agenda: “Fotovoltaik Güç Pilleri ve Güç Sistemleri”,(Çevrimiçi),<http://www.youthforhab.org.tr/tr/yayinlar/enerji/fotovoltaik/giris.html>, 10.10.2007

“Güneş Enerjisi Teknolojileri”, (Çevrimiçi),http://www.gunisgiaydinlatma.com/index_6.html, 10.10.2007