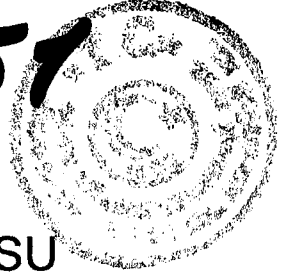


171151



T.C

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTUSU
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

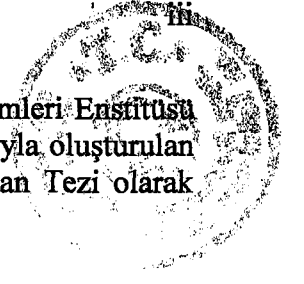
ALTERNATİF ENERJİLER ÜZERİNE
BİR ARAŞTIRMA

M. Tuba PUSAT
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Mehmet KARPUZCU

GEBZE
2005

M. Tuba PUSAT'ın tez çalışması G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 25. / 4.7. / 2005 tarih ve 2005 / 26 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisan Tezi olarak kabul edilmiştir.



JÜRİ

ÜYE

: Prof. Dr. Mehmet KARPUZCU

(Tez Danışmanı)

ÜYE

: Yrd. Doç. Dr. Salim ÖNCEL

ÜYE

: Yrd. Doç. Dr. Ercan ERTÜRK

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 11. / 10. / 2005 tarih ve 2005 / 36 sayılı kararı.

İmza / Mühür

ÖZET



Sanayi devrimi ile endüstrileşme sürecine giren toplumlar için enerji vazgeçilmez güç olmuştur. Son yüzyıl içinde yapılan savaşların ana nedeni enerji kaynakları ve enerji yollarını ele geçirmek ya da bunlar üzerinde söz sahibi olabilmek isteği olmuştur.

Enerji ekonomik ve sosyal kalkınmanın temel taşlarından biridir. Gelişen teknoloji, artan nüfus, sanayileşme ve refah artışı ile bağlantılı olarak enerji gereksinimi de artış göstermektedir. Gelişmiş ülkelerdeki, dünya nüfusunun yaklaşık %20'si, 1 milyarı aşkın insan enerji arzının %60'ını, gelişmekte olan ülkelerde yaklaşık 5 milyarlık nüfus ise kalan %40'ını tüketmektedir. Enerji tüketim miktarları ülkelerin gelişmişlik seviyelerini gösteren bir parametredir. Kırsal bölgelerde veya geçeköndü bölgelerinde yaşayan gruplarda kişi başına yıllık enerji tüketimi 0,2 Mtep iken, yıllık geliri 22 bin dolar ve üstü olanlar için bu değer 25 katına (5 Mtep) çıkmaktadır. 2002 istatistiklerine göre birincil enerji tüketiminin ülkeler bazında oranları incelendiğinde, toplam enerjinin %57,8'ini OECD ülkeleri, %16,2'sini AB ülkeleri ve %31,8'ini ise bunların dışındaki ülkeler tüketmektedir. Dünyada 1,6 milyar insanın ticari enerji erişim olanağı bulunmadığı tahmin edilmektedir.

Günümüzde kullanılan enerjinin %80'i fosil yakıt kaynaklarından elde edilmektedir. Fosil yakıt kaynakları tükenebilir enerji kaynaklarıdır ve kaynakların rezervleri her geçen gün azalmaktadır. 2002 yılı verilerine göre bunların kullanılabilir süreleri, petrol 40, doğal gaz 62 ve kömür 216 yıl olarak tespit edilmiştir. Kömür yatakları yeryüzünde homojene yakın yayılım gösterirken petrol ve doğal gaz bölgesel yoğunlaşmalar göstermektedir.

Dünyada birincil enerji tüketiminde kaynak dağılımı; petrol %38, kömür %27, doğal gaz %7, hidrolik % 3 ve yenilenebilir enerji %2 olarak belirlenmiştir. Türkiye için bu oranlar, petrol %39,4, kömür %27, doğal gaz %20,6, hidrolik % 3,7 ve yenilenebilir enerji-güneş, jeotermal, biomas - %9,2'dir. Yenilenebilir enerji kaynakları arzının %7,8'ini biomas (hayvan, bitli atıkları ve odun) oluşturmaktadır. Hidrolik enerji %3,7'lik payla ikinci sırada yer almaktadır. 2002 yılında toplam

üretilen elektrik enerjisinin %26'sı hidrolik enerjiden sağlanmıştır. Dünyada ve Türkiye'de güneş ve rüzgar enerjisi, jeotermal enerji ise kullanımı henüz yaygın olmamakla birlikte geleceğin enerji kaynaklarının başında gelmektedir.

Fosil kaynakların yaygın kullanımları sonucu ekolojik denge bozulmuştur. Atmosfere verilen emisyonlar sera etkisi ve asit yağmurları gibi global çevresel sorunlara neden olmaktadır. 2000 yılı dünya ve OECD ülkeleri CO₂ emisyonları, dünya genelinde 23444 Mton, OECD ülkeleri için 12449 Mton; kişi başına CO₂ emisyonu, dünyada 11,9 ton, OECD ülkelerinde 3,89 ton olmuştur. OECD ülkeleri arasında Türkiye 204 Mton CO₂ emisyonları ile 13., kişi başına 3,05 ton CO₂ emisyonları ile de 30. sırada yer almıştır.

Hem bu kaynakların sınırlı olması hem de çevresel etkileri sebebiyle alternatif enerji kaynakları ve teknolojileri önem kazanmaktadır. Ancak ihtiyaç duyulan enerjinin kesintisiz, kaliteli, güvenilir ve ekonomik koşullarda, çevresel etkileri dikkate alınarak sağlanması gerekmektedir.

Bu çalışmada, muhtemel enerji rezervleri, kullanılan enerjilerin tercih nedenleri, ihtiyaç duyulan enerjinin karşılanması için alternatif enerji kaynakları belirlenmiştir. Bu alternatif enerji kaynaklarının potansiyelleri, kullanılabilirliği, güvenilirliği incelenmiş ve çevresel etkileri açısından mukayese edilmiştir.

SUMMARY



Energy has been an indispensable source of strength for the societies that have lived the process of industrialization after the Industrial Revolution. The main reason for the wars fought in the last three hundred years has been the lust for seizing the energy resources and the energy gateways or the lust for ruling these resources.

Energy is one of the corner stones of economic and social development. The need for energy has increased with the developing technology, increasing population, industrialization and wealth increase. In the developed countries, which have 20 % of the world's population, over 1 billion people consume 60 % of the world's energy supply, whereas the 5 billion people living in the developing countries consume the rest 40 % of it. The magnitude of energy consumption is an indication showing how developed the countries are. In the rural areas or in the suburbs annual energy consumption per capita is 0.2 Mtep, whereas in the areas where the residents have an annual income above 22 thousand dollars, this number becomes 25 times bigger (5 Mtep). When the primary energy consumption of countries according to the statistics of 2002 is analyzed, it is seen that the OECD countries consume 57.8 %, EU countries 16,2 % and the rest of the world 31.8 % of the total energy supply. It is estimated that 1,6 billion people in the world have no access to commercial energy.

80 % of the energy used at our times is obtained from the fossil fuel resources. Fossil fuel resources are exhaustible resources and the reserves of these resources are getting less every day. According to 2002 figures, the years left to use these are 40 for oil, 62 for natural gas and 216 for the coal. Coal mines have almost an even distribution around the globe whereas the oil and natural gas resources are concentrated in some regions of the world.

The distribution of the resources in the primary energy consumption has been determined to be; 38 % oil, 27% coal, 7% natural gas, 3% hydraulic and 2% renewable energy. For Turkey these percentages are; 39.4 % oil, 20.6% natural gas, 3.7% hydraulic and 9.2% renewable energy – solar, geothermal, biomass (animal and plant waste and wood). Hydraulic energy has the second place with 3.7% share.

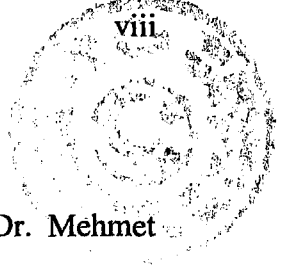
At 2002, 26% of the total electrical energy produced in Turkey has been obtained from hydraulic energy. In the world and in Turkey, solar, wind and geothermal energy will be the leading sources of energy in the future, although they are not widely used yet.

The ecological balance has been disturbed as a result of the excessive use of fossil resources. Emissions given out to the atmosphere cause global environmental problems such as green house effect and acid rains. At 2000 the CO₂ emission of the world in the general has been 23444 Mton and 12449 Mton for the OECD countries, CO₂ emission per capita has been 11.9 tons in the world and 3.89 tons in the OECD countries. Among the OECD countries, Turkey has the 13th place with 204 Mton CO₂ emission, and the 30th place with 3.05 tons of CO₂ emission per capita.

The importance of alternative energy resources and technologies increases because these resources are limited and have environmental impacts. However, it is necessary to produce the energy in continuous, qualified, reliable and economic conditions, taking into account its environmental impacts.

In this study, the possible energy reserves, the reasons for choosing the energy that is in use and the alternative energy resources to meet the need for energy are determined. The potentials, practicality and reliability of these alternative energy resources have been analyzed and compared according to their environmental impact.

TEŞEKKÜR



Destek ve ilgisini esirgemeyen değerli tez danışmanım Prof. Dr. Mehmet KARPUZCU'ya,

Bana her zaman güvenip destekleyen annem ve babama,

Her zaman yanımda olup bana yardımcı olan Yük. Çevre Müh. Sibel CERRAHOĞLU ARAS'a,

Canım ağbim Yük. İnşaat Müh. S. Emre PUSAT ve Elif ÖZMAN PUSAT'a ,

TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası arşivlerine sayesinde ulaştığım sevgili dayım Elektrik Müh. Ali KAYA'ya,

Yardımları ve manevi desteğinden ötürü Tolga TUNAVELİOĞLU'na,

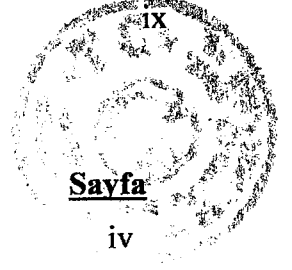
Konu ile ilgili kaynak araştırmalarımda yardımcı olan ve kaynaklarını kullandığım uzman ve akademisyenlere,

TMMOB EMO Ankara Şubesi çalışanlarına,

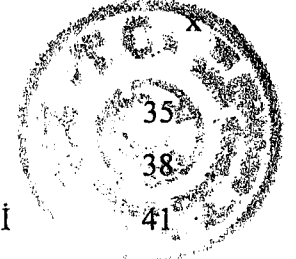
Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi'ne,

Teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ



ÖZET	iv
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xiii
1.GİRİŞ	1
2. DÜNYADAKİ MEVCUT ENERJİ DURUMU	5
2.1. Fosil Enerji Kaynakları	5
2.1.1. Petrol Rezervi	6
2.1.2. Doğalgaz Rezervi	7
2.1.3. Taşkömürü ve Linyit Rezervi	7
2.2. Fosil Olmayan Enerji Kaynakları	9
2.2.1. Nükleer Enerji	9
2.2.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	10
2.3. Dünya Enerji Üretim - Tüketim Değerlendirmesi	11
3. TÜRKİYE'DEKİ MEVCUT ENERJİ DURUMU	12
3.1. Kömür	12
3.2. Petrol	13
3.3. Doğalgaz	13
3.4. Elektrik Enerjisi	14
3.5. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	16
4. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI	19
4.1. Rüzgar Enerjisi	21
4.2. Güneş Enerjisi	24
4.3. Jeotermal Enerji	27
4.4. Hidrolik Enerji	31
4.5. Dalga Enerjisi	33



4.6. Biokütle Enerjisi	35
4.7. Biogaz Enerjisi	38
5. ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARININ ÇEVRESEL ETKİSİ	41
5.1. Rüzgar Enerjisi	41
5.2. Güneş Enerjisi	42
5.3. Jeotermal Enerji	43
5.4. Hidrolik Enerji	43
5.5. Dalga Enerjisi	44
5.6. Biokütle Enerjisi	44
5.7. Biogaz Enerjisi	45
6. NÜKLEER ENERJİ	47
6.1. Nükleer Enerji Santrallerinin Mevcut Durumu	47
6.2. Nükleer Enerji Eldesinde Kullanılan Hammaddeler	47
6.3. Nükleer Enerji Santralleri ve Çeşitleri	50
6.4. Nükleer Enerji Santralleri ve Maliyet	50
6.5. Nükleer Teknolojide Güvenlik	52
6.6. Nükleer Santral Kazaları	53
6.7. Nükleer Enerjinin Alternatif Kullanım Alanları	54
6.7.1 Hidrojen Üretimi	54
6.7.2. Tuzlu Sudan Tatlı Su Üretimi	55
6.8. Nükleer Enerjinin Çevresel Boyutu	56
7. HİDROJEN ENERJİSİ	59
7.1. Hidrojen Üretim Yöntemleri	60
7.2. Hidrojen Enerjisi Ekonomisi	62
7.3. Hidrojen Depolama	62
7.4. Hidrojen Enerjisi Güvenilirliği ve Kullanım Alanları	64
7.5. Hidrojen Enerjisi Çevresel Etkisi	65
7.6. Hidrojen Enerjisinin Avantaj ve Dezavantajları	67
8. TÜRKİYE İÇİN ENERJİ KAYNAKLARININ KARŞILAŞTIRILMASI	69
9. SONUÇLAR	73
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	86

KISALTMALAR DİZİNİ

KISALTMALAR

AB	Avrupa Birliği
APKK	Araştırma, Planlama ve Koordinasyon Kurulu
Btep	Bin Ton Petrol Eşdeğeri
DEK	Dünya Enerji Konseyi
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı
EİE	
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
GW	Gigawatt
GWh	Gigawatt-Saat
HES	Hidroelektrik Santrali
IAEA	International Atomic Energy Agency
KgU	Kilogram Uranyum
kWh	Kilowatt- Saat
Mtep	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
MW	Megawatt
OECD	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı
PFD	Planlama ve Finans Dairesi
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
tep	Ton Eşdeğer Petrol
TMK	Türkiye Milli Komitesi
TÜSİAD	Türkiye Sanayici ve İşadamları Derneği
TW	Terrawatt
TWh	Terawatt- Saat
UAEA	Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Dünya Kanıtlanmış Petrol Rezervinin Bölgelere Dağılımı	6
2.2. Dünya Kanıtlanmış Doğalgaz Rezervinin Bölgelere Dağılımı	7
2.3. Dünya Taşkömürü Rezervlerinin Dağılımı	8
2.4. Dünya Linyit Rezervlerinin Dağılımı	8
3.1. Elektrik Enerjisi Kurulu Güç Kapasitesi	16
6.1.Nükleer, Kömür ve Kombine Çevrim Gaz Santrallerinin Üretim Maliyetindeki Payları	51



TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Dünya Fosil Yakıt Rezervleri	5
2.2. Dünya Fosil Yakıt Rezervlerinin Kullanılabilme Süreleri	6
2.3. Dünya Nükleer Enerji Kullanımı	9
2.4. Dünya Biyokütle Enerji Kullanımı	10
2.5. Dünya Hidrolik Enerji Kullanımı	10
2.6. Dünya Fosil Yakıt Üretim ve Tüketimi	11
3.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Üretim ve Tüketimleri	17
4.1. Güneş Kollektörlerinin Birincil Enerji Tüketimine Katkısı	26
6.1. Dünya Toryum Rezervleri	49
6.2. 1000 MWe Gücündeki Nükleer ve Kömür Santrallerinin Yıllık Karşılaştırılması	57
7.1. Enerji Sistemlerinde Üretilen Kirletici Miktarları	66
8.1. Enerji Kaynakların Muhtemel Çevresel Etkileri	69
8.2. Enerji Kaynaklarının Sera Gazı Emisyonunu Etkileyen Faktörler	71
8.3. Enerji Kaynaklarının Karşılaştırılması	72

1. GİRİŞ

Genel olarak bir cismin veya bir sistemin iş yapma yeteneği enerji olarak tanımlanabilir. Enerji çeşitleri; ısı enerjisi, kimyasal enerji, nükleer enerji, elektrik enerjisi, potansiyel enerji ve kinetik enerjidir. Bu enerjilerin kullanılabilir hale getirilmesi için hidrolik santraller, nükleer santraller, ısı kuvvet santralleri gibi enerji dönüşüm sistemlerine ihtiyaç vardır.

Enerji kaynaklarının dönüşüme göre sınıflandırılması birincil enerji kaynakları ve ikincil enerji kaynakları şeklinde olmaktadır.

Birincil enerji kaynakları: Taşkömürü, ham petrol, doğalgaz, jeotermal, güneş, linyit ve uranyum gibi direk olarak enerjiye dönüşebilme özelliği olan enerji kaynaklarıdır.

İkincil enerji kaynakları: Elektrik enerjisi, petrol ürünleri, kok kömürü, yüksek fırın gazı ve havagazı gibi ikincil işlemlerle elde edilen ülke veya bölge ihtiyacını karşılamak için üretilen enerji kaynaklarıdır.

Enerji türleri oluşumuna göre fosil enerji kaynakları, yenilenebilir enerji kaynakları ve nükleer enerji kaynakları olarak sınıflandırılır.

Fosil enerji kaynakları; canlıların (bitki, hayvan vb.) fosilleşmesiyle oluşmuş petrol, kömür ve doğalgaz gibi sınırlı rezervleri bulunan kaynaklardır.

Yenilenebilir enerji kaynakları; hidrolik, rüzgar, güneş, dalga, jeotermal ve biomas gibi tabiatta varolan veya tabiatta doğal olarak bulunan maddelerden üretilen enerji kaynaklarıdır.

Nükleer enerji kaynakları; Nükleer enerji, fizyon; atom çekirdeğinin parçalanması veya füzyon; iki küçük çekirdeğin birleştirilmesi yoluyla elde edilen enerjidir.

18. yy sonlarına doğru başlayan sanayi devrimi ile beraber zamanla artan enerji miktarlarına olan ihtiyaç arttırmıştır. Dolayısıyla enerji, küreselleşen dünyada, serbest pazar ekonomisi koşulları altında fiyatı belirlenen yatırımı ve ticareti yapılan ekonomik bir değerdir. Esas olan topluma ucuz, temiz ve güvenilir bir enerji sunmaktır.

Enerji, ekonomik ve sosyal kalkınma için temel girdilerdendir. Nüfus artışı, şehirleşme, sanayileşme, teknolojinin gelişmesi ve yaygınlaşması ve refah artışına paralel olarak enerji tüketimi de artmaktadır. Enerji tüketiminin mümkün olan en alt düzeyde tutulması, enerjinin en tasarruflu ve verimli bir şekilde kullanılması gerekmektedir.

Enerji dünyasına bakıldığında, kişi başına düşen yıllık birincil enerji tüketiminin, dünya ortalamasının 1.45 tep/ kişi.yıl, OECD ortalamasının 4.56 tep/ kişi.yıl, Avrupa Birliği ortalamasının 3.69 tep/kişi.yıl ve Türkiye ortalamasının 1.10 tep/kişi.yıl olduğu görülmektedir. Elektrik tüketimi açısından da benzer bir durum vardır. Dünya genelinde kişi başına düşen yıllık ortalama elektrik tüketimi 2376 kWh/kişi.yıl iken, Türkiye ortalaması, kaçak ve kayıplar dışında net 1281 kWh/kişi.yıl düzeyine ulaşabilmiştir [Ültanır, 1997].

Gelecekte petrol ve doğal gaz talebinde artışın sürmesi, dünya enerji talebinin ana parçasının fosil yakıtlardan sağlanması beklenmektedir. Global ısınma ve çevre sorunu üzerinde kitleler bilinçlendikçe, fosil olmayan enerji kaynaklarına talebin artacağı bilinmektedir. Nükleer enerjinin sınırsız potansiyeli nedeni ile enerji bütçelerinde payının artması, yeni ve yenilenebilir kaynaklardan, yeni enerji teknolojilerinden yararlanılması üzerinde durulmaktadır.

Fosil yakıtların neden olduğu; asit yağmurları ve sera etkisi gibi global çevresel sorunlar, her geçen gün artan enerji talebi ve maliyetleri uranyumun 50 yıl,

petrolün 44 yıl, doğalgazın 64 yıl, kömürün 185 yıl sonra tükeneceğini göstermektedir. Bundan ötürü yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep artmaktadır [Aras ve Öztürk, 2002].

Türkiye'de, özellikle 1950'lerden sonra, sanayileşme, şehirleşme, gelir seviyesinin yükselmesi ve hızlı nüfus artışına paralel olarak gelişen enerji tüketimi, yerli kaynak üretimi ile karşılanamayacak boyutlara ulaşmıştır. Oluşan enerji açığını karıştırmadaki acil ve en ucuz kaynak ise petrol ve petrol ürünleri ithalatı olmuştur. Ancak ilki 1973 yılında yaşanan petrol krizleri sonucunda, enerji kısıtlamasına gidilmiş ve yerli kaynakların üretimine hız verilmiştir. Hidrolik enerji ve yerli üretim linyitlerle elektrik üretimi için yeni santrallerin yapılması, ısınmada linyit kullanımının artması, bu politikanın doğal sonucu olmuştur.

Türkiye çok çeşitli birincil enerji kaynaklarına sahip bir ülkedir. Türkiye'de taşkömürü, linyit, asfaltit, ham petrol, doğal gaz, uranyum ve toryum gibi fosil kaynak rezervleriyle hidrolik enerji, jeotermal enerji, güneş enerjisi, deniz dalga enerjisi, biomas enerji gibi tükenmez kaynak potansiyelleri bulunmaktadır. Türkiye, dünyada halen yoğun olarak kullanılan fosil kaynaklardan özellikle akışkan fosil yakıtlar yönünden yeterli düzeyde değildir.

Enerji bir maddenin veya maddeler sisteminin iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanır. Dünyada enerji ihtiyacı uzun yıllar fosil yakıtlardan karşılanmıştır. Her geçen gün rezervleri azalan fosil yakıtların giderek pahalılaşması, doğal bitki örtüsünün yanı sıra insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri gibi önemli nedenler; temiz ve aynı zamanda yenilenebilir olan yeni enerji kaynaklarına ilgiyi attırmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları; çevre dostu olması, dünyanın her ülkesinde var olabilme özelliği ve sürdürülebilir olması nedeni ile son yıllarda ülkelerin enerji ihtiyacının karşılanmasında ön plana çıkmasında etken olmuştur [Atılgan ve Altan, 2004].

Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak isimlendirilen bu alternatif kaynaklardan yararlanılması, hidrolik enerji dışında, teknolojik gelişmelerinin yeniliği ve geleneksel kaynaklarla ekonomik açıdan rekabet edebilme güçlükleri

nedeniyle, bugüne kadar arzulanan düzeye ulaşamamıştır. Bununla birlikte, jeotermal, pasif güneş, rüzgar ve modern biyokütle enerjisi teknolojileri, bugün dünya enerji pazarlarında yer almaya başlamıştır. Enerji bitkileri, foto-voltaik ve denizde rüzgar enerjisi teknolojilerindeki Ar-Ge çalışmaları devam etmektedir. Yeraltında ısı enerjisi depolaması, özellikle gelişmiş ülkelerde hızlı bir yaygınlaşma sürecine girerken, hidrojen enerjisi teknolojisinde yoğun araştırmaların sürdürüldüğü gözlenmektedir.



2. DÜNYADAKİ MEVCUT ENERJİ DURUMU

2.1. Fosil Enerji Kaynakları

Günümüzde dünya enerji gereksiniminin yaklaşık %90'ı fosil kaynaklarla karşılanmaktadır. Enerji alanında etkin olan çeşitli uluslar arası kuruluşların çalışmalarına göre en azından önümüzdeki 20 yıllık süreçte, yeni teknolojiler altında çok köklü değişiklikler olmaması halinde fosil kaynaklar toplam paylarını koruyacaktır. Dolayısı ile bugün olduğu gibi önümüzdeki 20 yılda da alternatif enerji kaynağı arama çabalarının devam edecek olmasına karşın, fosil kaynaklara ve bunun için de özellikle gaz ve petrole sahip olma savaşımı, uluslar arası ilişkilerin önde gelen belirleyici etkenleri arasında yer alacaktır [Ateşok, 2003].

İçinde bulunduğumuz dönemde dünyada enerji talebinin karşılanması açısından, rezerv ve/veya potansiyel kaynak yetersizliği sorunu olmayıp, arz kaynakları yeterli düzeydedir. Dünya fosil yakıtlarının (kömür, petrol ve doğal gaz) kanıtlanmış toplam rezervi 720.000 Mtep kadardır.

Dünya fosil yakıt rezervleri Tablo 2.1'de, bu yakıtların kullanılabilme süreleri ise Tablo 2.2'de verilmiştir.

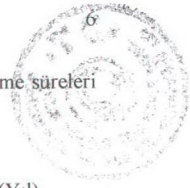
Tablo 2.1. Dünya Fosil Yakıt Rezervleri (2011 sonu)

Bölge	Petrol Milyar Ton	D. Gaz Trilyon m ³	Kömür (Milyar Ton)	
			Taşkömürü	Linyit
Kuzey Amerika	8,3	7,6	120,2	137,6
Orta ve Güney Amerika	13,7	7,2	7,8	14,0
Avrupa	2,6	4,9	47,5	77,9
Eski SSCB	9,1	56,1	97,4	132,6
Ortadoğu	93,3	55,9	1,7	
Afrika	10,0	11,2	55,2	0,2
Asya ve Okyanusya	5,9	12,3	189,3	103,1
TOPLAM DÜNYA	142,9	155,1	519,1	465,4

Kaynak: BP Statistical Review of World Energy, June 2002.

Herhangi bir yılın sonunda rezerv olarak geride kalan fosil yakıt miktarının, o yıl içinde yapılan üretim miktarına bölünmesi ile elde edilene rezervlerin kullanılabilme

süreleri Tablo 2.2.'de verilmektedir. 2001 yılında rezervlerin kullanılabilme süreleri petrolde 40, doğalgazda 62 ve kömürde 216 yıl olarak tespit edilmiştir.



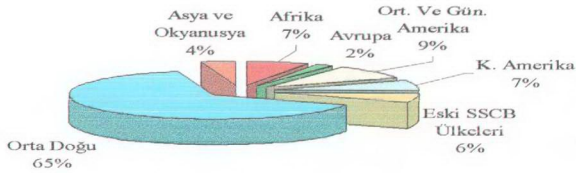
Tablo 2.2. Dünya Fosil Yakıt Rezervlerinin Kullanılabilme Süreleri (Yıl)

Bölge	Petrol	D. Gaz	Kömür
Kuzey Amerika	14	10	234
Orta ve Güney Amerika	39	72	381
Avrupa	8	16	167
Eski SSCB	21	79	>500
Ortadoğu	87	>100	>500
Afrika	27	90	246
Asya ve Okyanusya	16	44	147
TOPLAM DÜNYA	40	62	216

Kaynak: BP Statistical Review of World Energy, June 2002.

2.1.1. Petrol Rezervi

2000 yılında 142,5 milyar ton (1046 milyar varil) olarak tespit edilen dünya petrol rezervi 2001 yılında çok az bir artışla 143 milyar ton (1050 milyar varil) olarak belirlenmiştir. Dünya petrol rezervlerinde bölgeler itibari ile %65 ile Ortadoğu ülkeleri en büyük payı, ikinci sırayı ise %9 pay ile Orta ve Güney Amerika ülkeleri almaktadır. Petrol rezervlerine ülke bazında bakıldığında Suudi Arabistan %25 ile birinci sırada yer almakta olup, bunu Irak (%11), Birleşik Arap Emirlikleri (%9), Kuveyt (%9), İran (%9) ve Venezuela (%7) takip etmektedir.



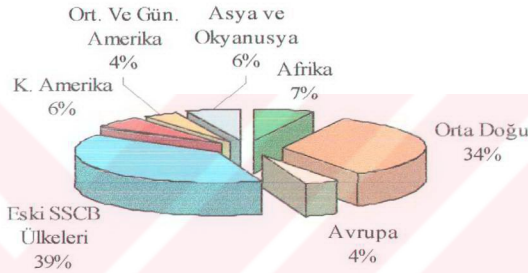
Şekil 2.1. Dünya Kanıtlanmış Petrol Rezervinin Bölgelere Dağılımı

Kaynak: BP Statical Review of World Enerji, June, 2002



2.1.2. Doğal Gaz Rezervi

Dünya doğal gaz rezervi 2002 yılı sonu itibariyle 155,1 trilyon m³ seviyesinde tespit edilmiştir. Dünya toplamı içerisinde Rusya Federasyonu %31'lik pay ile ülkeler arasında birinci sıradaki yerini korurken, bunun etkisi ile toplam Eski SSCB ülkeleri de %39'luk pay ile bölgeler arasındaki ilk sırasını korumaktadır. Rusya Federasyonu'nun toplam gaz rezervi 47,57 trilyon m³ olup, bunu 23 trilyon m³ ve %14,8 pay ile İran takip etmektedir. Dünya doğal gaz rezervlerinin kullanılabilirliği süresi 62 yıl olarak belirlenmiştir.

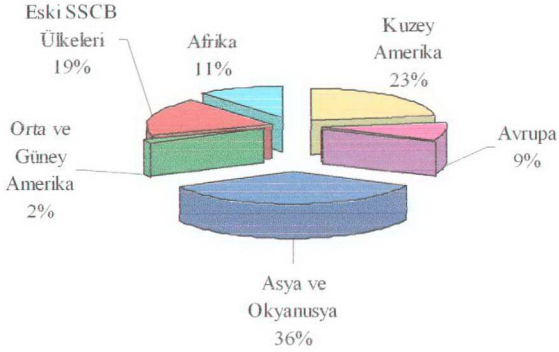


Şekil 2.2. Dünya Kanıtlanmış Doğalgaz Rezervinin Bölgelere Dağılımı

Kaynak: BP Statistical Review of World Energy, June, 2002

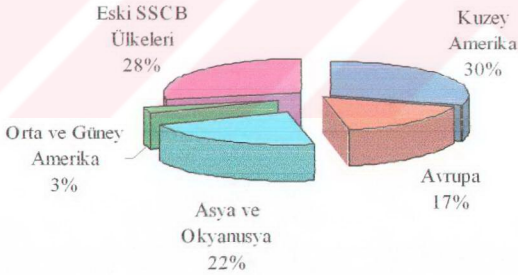
2.1.3. Taşkömürü ve Linyit Rezervi

Dünyanın görünür taşkömürü rezervleri (antrasit ve bitümlüler dahil) ile, linyit rezerv (subbitümlüler dahil) miktarları 2001 yılında sırası ile 519,1 milyar ton ve 465,4 milyar ton olarak belirlenmiştir. Bu rezervlerde %23 ile ilk sırayı ABD, %19'luk pay ile Rusya Federasyonu ise ikinci sırayı almakta, Çin %11,6, Hindistan %8,6, Avustralya %8,3 ve Almanya %6,7 payla bu ülkeleri takip etmektedir. Türkiye'nin toplam kömür rezervi ise bu rezervler içinde %0,4 pay almaktadır. Dünya kömür rezervlerinin 2001 yılı üretimi göz önüne alındığında yukarıda bahsedilen diğer yakıt cinslerine göre daha uzun süre kullanılabileceği görülmektedir.



Şekil 2.3. Dünya Taşkömürü Rezervlerinin Dağılımı

Kaynak: BP Statical Review of World Enerji, June, 2002



Şekil 2.4. Dünya Linyit Rezervlerinin Dağılımı

Kaynak: BP Statical Review of World Enerji, June, 2002

2.2. Fosil Olmayan Enerji Kaynakları

Dünyanın fosil yakıtlara olan göreceli bağımlılığında önümüzdeki yüzyılda belirgin bir gerileme kaydedileceği düşünülmektedir. Bu durum, alternatif enerji kaynaklarına eğilimi de beraberinde getirmektedir.

2.2.1. Nükleer Enerji

Dünya nükleer santrallerinin kurulu güç kapasitesi, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı raporlarına göre, 2001 yılı Nisan ayı itibarıyla 438 reaktör ünitesi ile 351.327 MW'a ulaşmıştır. İnşası devam eden 31 ünitenin kurulu gücü 27.756 MW'tır. 2000 yılında toplam nükleer enerji arzı 2.562 TWh olarak gerçekleşmiştir.

Dünya nükleer enerji üretiminin %86'sı OECD ülkeleri tarafından gerçekleştirilmiştir. OECD'ye üye ülkeler arasında yer alan Fransa'nın elektrik üretimindeki nükleer enerji payı (2001 yılı Nisan ayı sonu itibarıyla) %76, Belçika'nın %57, Japonya'nın %34 ve ABD'nin ise %20 oranındadır. İşletmelerdeki nükleer santrallere bakıldığında, ABD 104 ünite ve 97.411 MW kurulu güç ile en fazla nükleer santrale sahip ülkedir.

Tablo 2.3'de 2000 ve 2001 yılları nükleer enerji tüketimleri ile bu yıllar arasında yıllık ortalama artış hızları verilmektedir.

Tablo 2.3. Dünya Nükleer Enerji Kullanımı

Bölge	2000 (Milyon tep)	2001 (Milyon tep)	Artış %
Kuzey Amerika	198,0	202,6	2,3
Orta ve Güney Amerika	2,7	4,8	82,4
Avrupa	218,5	225,0	3,0
Eski SSCB	49,3	51,2	3,6
Afrika	3,1	2,6	-17,6
Asya ve Okyanusya	113,4	115,0	1,4
TOPLAM DÜNYA	585,0	601,2	2,8

Kaynak: BP Statistical Review of World Energy, June 2002.

2.2.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Dünyadaki mevcut yenilenebilir enerji kaynaklarının %60'ını canlı biyokütle, hasat atıkları, tezекler, %30'unu ise hidroelektrik enerjisi oluşturmaktadır. Dünya üzerinde yer alan biyokütlenin yaklaşık %90'nının ormanlarda gövdeler, dallar, yapraklar ve döküntü maddeler ile burada yaşayan hayvan ve mikroorganizmalardan oluştuğu ve dünya ormanlarının yıllık net biyolojik üretiminin yaklaşık 50×10^{19} ton olarak tahmin edilmektedir. Bu miktarın 6.800 TWh'lık değerlendirebilecek kapasiteye sahip olduğu belirtilmektedir. Tablo 2.4.'te dünya biyokütle enerji kullanımının bölgelere göre dağılımı verilmiştir.

Tablo 2.4. Dünya Biyokütle Enerji Kullanımı

Bölge	2000 (Milyon tep)
Kuzey Amerika	142,6
Orta ve Güney Amerika	281,1
Avrupa	141,2
Eski SSCB	481,7
Ortadoğu	20,3
Afrika	138,2
Asya ve Okyanusya	329,5
TOPLAM DÜNYA	1534,6

Kaynak: BP Statistical Review of World Energy, June 2000.

Dünya genelinde 1400 TWh'lık değerlendirilebilecek hidrolik kapasitenin olduğu Avrupa ve Kuzey Amerika'da bu kapasitenin %60 civarındaki bir bölümünün kullanıldığı, buna karşın Dünyanın geri kalan kısmında ancak %9-10 potansiyel kullanıldığı belirlenmektedir. Tablo 2.5'in incelenmesinden, 2001 yılı hidrolik enerji tüketimin 2000 yılına göre %3.7 oranında azaldığı görülmektedir.

Tablo 2.5. Dünya Hidrolik Enerji Kullanımı

Bölge	2000 (Milyon tep)	2001 (Milyon tep)	Artış %
Kuzey Amerika	150,4	129,7	-14,1
Orta ve Güney Amerika	125,1	118,9	-4,9
Avrupa	142,2	142,4	0,1
Eski SSCB	51,7	54,9	5,7
Ortadoğu	1,9	1,5	-20,5
Afrika	18,2	18,3	0,7
Asya ve Okyanusya	126,9	128,8	1,5
TOPLAM DÜNYA	616,9	594,5	-3,7

Kaynak: BP Statistical Review of World Energy, June 2002.

2.3. Dünya Enerji Üretim- Tüketim Değerlendirilmesi

2001 yılında Dünyadaki fosil yakıt üretiminin ağırlıklı bölümü ABD, Rusya Federasyonu, Çin, Suudi Arabistan, Kanada gibi az sayıda ülke tarafından gerçekleştirilirken, enerji tüketimi seviyeleri ülkenin büyüklüğü ve sanayileşme seviyesine göre değişmektedir. Amerika, Çin, Rusya, Japonya ve Almanya en büyük enerji tüketicisi konumundaki ilk beş ülkedir.

Tablo 2.6.'da bölgesel bazda verilen Dünya birincil enerji üretim-tüketim oranları incelendiğinde Kuzey Amerika, Avrupa, Asya ve Pasifik bölgelerinin, üretimlerinin üzerinde enerji tükettikleri görülmektedir. Kuzey Amerika'nın 2000 yılında olduğu gibi 2001 yılında da üretimde %24,6, tüketimde ise %29,1 pay ile ilk sırayı aldığı, Avrupa'nın ise üretimde %10,2 ile 5. sırada yer alırken, tüketimde %19,3 ile 3. sırada bulunduğu görülmektedir. Buna karşı üretimde %15,9 pay ile 3. sırada yer alan Orta Doğu ülkelerinin tüketimdeki payı %5 ile 5. sırada yer aldığı gözlenmektedir.

Tablo 2.6. Dünya Fosil Yakıt Üretim ve Tüketimi (2001 yılı)

Bölge	Üretim		Tüketim	
	(Milyon tep)	%	(Milyon tep)	%
Kuzey Amerika	1977,4	24,6	2307,3	29,1
Orta ve Güney Amerika	480,2	6,0	328,0	4,1
Avrupa	817,2	10,2	1527,1	19,3
Eski SSCB	1239,8	15,4	843,3	10,6
Ortadoğu	1281,4	15,9	395,7	5,0
Afrika	613,4	7,6	259,7	3,3
Asya ve Okyanusya	1641,5	20,4	2268,1	28,6
TOPLAM DÜNYA	8050,9	100	7929,2	100

Kaynak: BP Statistical Review of World Energy, June 2002.

3.TÜRKİYE'DEKİ DURUMU

MEVCUT

ENERJİ

Türkiye'de hemen her türlü enerji kaynağı mevcut olmakla birlikte, linyit ve hidrolik enerji kaynağının dışındaki enerji kaynakları, ihtiyaçlarımıza cevap verebilecek miktarda değildir. Yerli enerji kaynağı üretiminde hidrolik enerji ve kömür önemli bir yer tutmakla beraber, tüketiminde kömür ile birlikte çok uzun yıllardan beri petrol ve son yıllarda da doğal gaz önem kazanmıştır. İkincil enerji kaynağı olan elektrik enerjisi tüketiminde de 1980'li yıllardan beri önemli artışlar kaydedilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı konusunda da çalışmalar devam etmektedir.

3.1. Kömür

Türkiye'de taşkömürü, linyit ve asfaltit üretilerek tüketilmektedir. En zengin taş kömürü kaynakları Zonguldak ve çevresinde, Ereğli'den Amasra'ya kadar uzanan bir sahil şeridini kaplamakta olup, ayrıca Toroslar ve Diyarbakır dolaylarında da 20 milyon ton civarında rezerv bulunduğu tahmin edilmektedir. 2002 yılı sonuna göre toplam taşkömürü rezervi 1,1 milyar ton civarındadır.

Yerli kaynaklarımız içerisinde önemli bir yere sahip olan linyit yataklarına ülkemizin hemen hemen bütün bölgelerinde rastlanmaktadır. Bilinen linyit varlığının en önemlilerini Afşin-Elbistan, Muğla, Soma, Tunçbilek, Seytiömer, Konya, Beypazarı ve Sivas havzaları oluşturmaktadır.

Bazı teknik ve ekonomik zorluklar nedeniyle, 1980'li yılların ortasından itibaren taşkömürü üretiminde düşüşler gözlenmektedir. 1990 yılında 2,7 milyon ton olan taşkömürü üretimi 2002 yılında 2,2 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Buna karşılık yine 1980'li yılların ortasında linyit üretiminde yüksek oranda artışlar gözlenmeye başlanmış ve 1990 yılında 44,4 milyon ton olan üretim, 1998 yılında 65,2 milyon tona ulaşmış, ancak bu yıldan itibaren linyitten elde edilen elektrik

enerjisi üretimine bağlı olarak santral yakıt taleplerinin düşmesi nedeniyle üretimde de düşüşler olmuştur. 2002 yılında birincil enerji kaynakları üretimi içerisinde toplam kömür 11,6 Mtep ile %4,7'lik bir pay almıştır.

3.2. Petrol

Türkiye'de teorik hesaplara göre, petrol rezervi 954 milyon ton olup, bunun 156 milyon tonu üretilebilir durumdadır. 2002 yılı sonuna kadar 117 milyon ton petrol üretilmiş olup, geri kalan üretilebilir 39 milyon ton ile bugünkü üretim seviyelerine göre yaklaşık 16 yıllık miktar mevcuttur.

2002 yılında petrol üretimi 2,4 milyon ton olarak gerçekleşmiştir ve bu toplam petrol talebinin %8'ine karşılık gelmektedir. Petrol üretimi 1990 yılından beri düşmektedir. Türkiye'de ham petrolün büyük bölümü Güney Doğu Anadolu Bölgesi'nde üretilmekte olup, halen üretimde bulunan doğal sahaların kullanılması nedeniyle önümüzdeki yıllarda üretimin giderek düşmesi beklenmektedir.

Üretimin aksine, 1990- 2002 yılları arasında petrol tüketiminde yıllık ortalama % 2,2'lik bir artış gerçekleşmiş olup, tüketim 22,7 milyon ton seviyesinden 29,6 milyon ton seviyesine ulaşmış, 24,2 milyon ton olan nihai tüketim değeri ise, Türkiye toplam nihai enerjisi tüketimin % 42,7'sini oluşturmıştır.

2002 yılında toplam elektrik enerjisi üretiminin, % 8,3'ü petrol yakıtlı tesislerden elde edilmiştir. Bu yılda da, geçmiş yıllarda olduğu gibi ulaştırma sektörü, petrolün en çok tüketildiği sektör konumunda olmuştur.

3.3. Doğalgaz

2002 yılı sonuna göre ülkemizdeki toplam gaz 22,1 milyar m³, üretilebilir toplam gaz 15,8 milyar m³ olup, 2002 yılı sonuna kadar toplam olarak üretilen doğal gaz miktarı 506 milyar m³, kalan üretilebilir rezerv ise 10,2 milyar m³'dür.

Ülkemizde doğal gaz üretimine 1976 yılında başlanmış olup, 2002 yılında üretim 407 milyon m³ olarak gerçekleşmiştir.

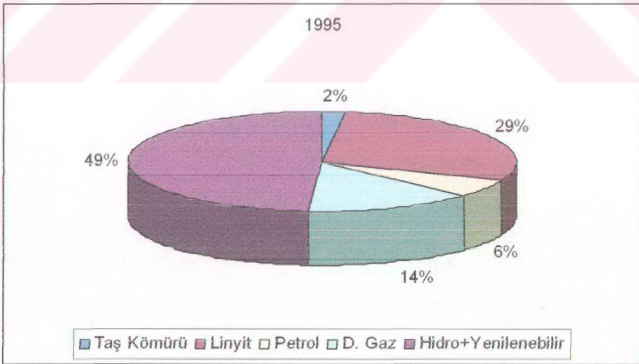
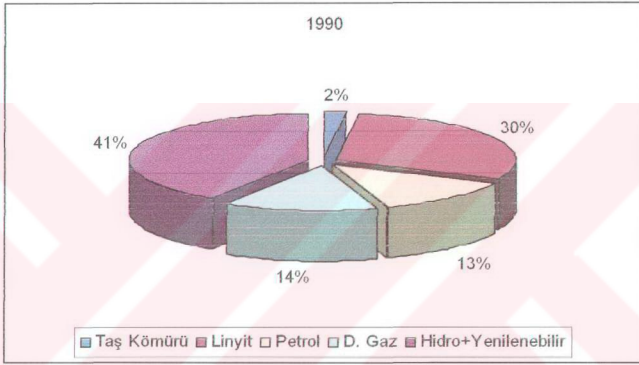
1976'da kullanılmaya başlanan doğal gazın tüketimi, özellikle 1980'li yılların ortasından itibaren hızla artmıştır. 2002 yılında 17,7 milyar m³ ile toplam birincil enerji arzının %20,5'ini doğal gaz oluşturmuş, toplam doğala gaz arzının ise %59'u elektrik santrallerinde tüketilmiştir. Doğal gazın nihai tüketimi de hızla artarak 2002 yılında 6,3 milyar m³'e ulaşmış ve toplam nihai tüketimin %10,7'sini oluşturmaktadır.

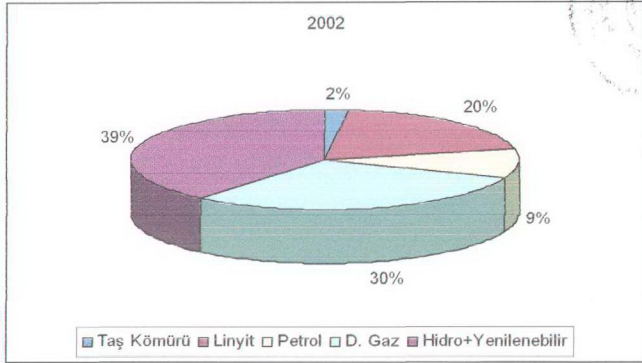
3.4.Elektrik Enerjisi

Enerji sektöründe elektrik enerjisinin kritik bir önemi bulunmaktadır. Elektrik enerjisi, enerjiye doymuş gelişmiş ülkelerde bile talebi artan bir enerjidir [Atılğan, 2000]. 2002 yılında Türkiye kurulu gücü 31.846 MW'a ulaşmıştır. Toplam kurulu gücün 19.568 MW'ını (%61,4) termik, 12.241 MW'ını (%38,4) hidrolik, yaklaşık 37 MW'ını (%0,11) ise jeotermal ve rüzgar santralleri oluşturmaktadır. 1985 yılına kadar termik kapasite içerisinde en fazla payı alan linyit santrallerinin payı, bu yıldan itibaren sisteme dahil edilen doğal gaz yakıtlı santraller nedeniyle düşmüştür. 2002 yılında Türkiye toplam kurulu gücünün yaklaşık %22'si katı yakıtlar, %8'i sıvı yakıtlar ve %23'ü ise doğal gaz yakıtlı santrallerden oluşmuştur.

Elektrik enerjisine olan talep her geçen gün artmaktadır. Kurulu güç kapasiteleri yıllara göre 1990 yılında taşkömürü 332 MW, linyit 4.874 MW, petrol 1.748 MW, doğalgaz 2.210 MW, jeotermal 18 MW, hidrolik 6.764 MW olmuş ve genel toplam 16.318 MW olarak gerçekleşmiştir. 1995 yılında taşkömürü 326 MW, linyit 6.048 MW, petrol 1.353 MW, doğalgaz 2.884 MW, jeotermal 18 MW, hidrolik 9.863 MW ve genel toplam 20.954 MW'tır. 2002 yılında taşkömürü 480 MW, linyit 6.503 MW, petrol 2.400 MW, doğalgaz 7.247 MW, jeotermal 18 MW, rüzgar 19 MW, hidrolik 12.241 MW'tır. 2002 yılı genel toplamı 31.846 MW'tır. 1990-2002 yılları arası kurulu güçte 15.528 MW'lık artış gözlenmiştir. Şekil 3.1'de yıllara göre kaynakların elektrik enerjisi kurulu güç kapasite dağılımı verilmiştir. Elektrik enerjisi üretiminin kaynaklar bazında dağılımı incelendiğinde, 2002 yılı itibarıyla

gerçekleşen 129.247 Gwh'lık üretimin 95.563 Gwh'ı (%74) termik santrallerden, 33.684 Gwh'ı ise (%26) hidrolik santrallerden sağlanmıştır. 2002 yılı itibarıyla doğal gaz santralleri elektrik enerjisi üretiminde %41'lik pay ile önemli bir yer tutmaktadır. 2000 yılında 124,9 milyar kWh olan brüt elektrik enerjisi üretimi, 2001 yılında 122,7 milyar kWh'e düşmüş, 2002 yılında ise yaklaşık %5,4'lük artışla 129,4 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. Net tüketiminde ise yaklaşık 2002 yılında 2001 yılına nazaran %5,9'luk artış olmuştur. 1990-1996 yılları arasında net elektrik enerjisi ihracatçısı konumunda olan ülke, bu yıldan itibaren net ithalatçı konumunda olmuştur.





Şekil 3.1.Elektrik Enerjisi Kurulu Güç Kapasite Dağılımı

Kaynak: DEK/TMK Türkiye Enerji Raporu, 2002.

3.5. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Türkiye’de 2002 yılında yenilenebilir enerji kaynakları üretim ve tüketimi 10 Mtep ve toplam birincil enerji kaynakları arzının %12,8’i olarak gerçekleşmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları üretimi, toplam kömür üretiminden sonra ikinci en yüksek üretime sahip kaynaklardır. Tablo 3.1’de yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim ve tüketimleri verilmiştir. Türkiye’de 2002 yılı elektrik enerjisi kurulu gücünün % 61,45’i termik, %38,44’ü hidrolik, %0,05 jeotermal ve %0,06 rüzgar santrallerinden sağlanmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynakları arzının yaklaşık üçte ikisini (6Mtep) biomas oluşturmaktadır. Ticari olmayan kaynaklar olarak adlandırılan biyomasın da büyük çoğunluğunu odun oluşturmakta olup, bu kaynaklar özellikle ısınma amaçlı olarak tüketilmektedir. Geri kalan üçte birlik yenilenebilir enerji kaynağının da büyük çoğunluğunu hidrolik enerji oluşturmaktadır.

Hidrolik enerji 2002 yılında toplam elektrik enerjisi üretiminin %26’sını sağlamıştır. 1990 yılında 2,0 Mtep (23.148 GWh) olarak gerçekleşen hidrolojik enerji üretimi, yıllık ortalama %3,2 artışla 2002 yılında 2,9 Mtep’ne (33.684 GWh)

ulaşmıştır. 2002 yılı sonu itibarıyla 126 milyar kilowatt saat olan toplam hidrolik enerji potansiyelinin %34'ü değerlendirilmiş durumdadır. Önümüzdeki yıllarda hidrolik enerji artışının devam etmesi beklenmektedir.

Tablo 3.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Üretim ve Tüketimleri (1990- 2002)

	1990	1995	1999	2000	2001	2002
TOPLAM ÜRETİM (BinTep)	9660	10779	10623	10091	9332	10013
Hidrolik Enerji	1991	3057	2982	2656	2065	2897
Jeotermal, Güneş ve Rüzgar	461	654	926	978	1056	1142
Biyomas	7208	7068	6715	6457	6211	5974
Yenilenebilir/Toplam Birincil Enerji Üretimi (%)	38	40	38	38	37	41
Yenilenebilir/Toplam Birincil Enerji Arzı(%)	18	17	14	12	12	13
YENİLENEBİLİR ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ (GWh)	23228	35627	34780	39899	24162	33837
Hidrolik Enerji	23148	35541	34678	30899	24010	33684
Jeotermal, Güneş ve Rüzgar	80	86	102	109	152	153
Yenilenebilir/Toplam Birincil Enerji Üretimi (%)	40	41	30	25	20	26
YENİLENEBİLİR NİHAİ ENERJİ TÜKETİMİ (Bin tep)	7600	7648	7569	7367	7185	7022
Jeotermal, Güneş ve Rüzgar	392	580	854	910	974	1048
Biyomas	7208	7068	6715	6457	6211	5974
Yenilenebilir NET/Toplam NET (%)	18	15	14	12	13	12

Kaynak: ETKB/APKK/PFD,2002

Dünyada jeotermal ısı kullanımı ve kaplıca uygulamalarındaki ilk 5 ülke Çin, Japonya, ABD, İzlanda ve Türkiye'dir. Türkiye'de keşfedilmiş olan 170 adet jeotermal alan ve alt sıcaklık sınırı 20⁰C kabul edilen toplam 1.000 dolayında sıcak ve mineralli su kaynağının varlığı ile Avrupa'da birinci sırada yer almaktadır. Bilinen jeotermal alanlarının %95'i ısıtmaya ve kaplıca kullanımına, diğerleri de elektrik üretimine uygundur. Sadece doğal jeotermal kaynakların boşalımaları değerlendirildiğinde potansiyel enerji miktarı 600 MWt civarındadır.

Türkiye'nin ispatlanmış termal kapasitesi 3.173 MWt'dir. Muhtemel jeotermal potansiyeli ise 31.500 MWt'dir (5 milyon konut eşdeğeri ısıtma). Bu da Türkiye'deki konut sayısının %30'una karşılık gelmektedir. 2002 yılında, jeotermal enerjinin toplam birincil enerji kaynakları arzına katkısı 105 GWh'lık elektrik enerjisi üretimi ile birlikte 820 Btep olmuştur.

Türkiye, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti $1311 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ (günlük toplam $3,6 \text{ kWh/m}^2$) olduğu tespit edilmiştir. Bu verilerin değerlendirilmesi ile Türkiye'nin bir yılda ortalama 26,4 milyon tep termal, 8,8 milyon tep elektrik enerjisi teknik potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir [DEK/TMK, 2002].

Türkiye'de güneş enerjisinin en yaygın kullanımı sıcak su ısıtma sistemleridir. Halen ülkemizde kurulu olan güneş kolektörü miktarı 2001 yılı için 7,5 milyon m^2 civarındadır. Çoğu Akdeniz ve Ege Bölgelerinde kullanılmakta olan bu sistemlerde yılda yaklaşık 290 bin tep ısı enerjisi üretilmiştir. 1990 yılında 28 Btep olan güneş enerjisi üretimi, 2002 yılında 319 Btep olarak gerçekleştirilmiştir.

Rüzgar enerjisinden yararlanmak amacıyla yapılan istasyonlardan elde edilen verilere göre, Türkiye'nin ortalama rüzgar hızı 2,5 m/s, yıllık ortalama rüzgar gücü yoğunluğu 24 W/m^2 'dir. Yerleşim alanları dışında 10 m yükseklikteki rüzgar hızı ortalaması, Ege Bölgesi ve diğer kıyı alanlarında 4,5- 5,6 m/s, iç kesimlerde ise 3,4- 4,6 m/s civarındadır.

Türkiye'nin bugünkü teknik koşullarda rüzgar enerjisi teknik potansiyeli 88000 MW, Ekonomik potansiyelinin ise 10000 MW civarında olduğu tahmin edilmektedir. 2002 yılı sonu itibari ile 18,9 MW kurulu gücündeki 2 adet rüzgar santralinden 48 GWh'lık elektrik enerjisi üretilmiştir [DEK/TMK, 2002].

4. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Gelecekte, fosil yakıtların bir taraftan tükenebilir diğer taraftan da çevreyi kirletir olması dolayısı ile uzun vadede yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmak düşünülmektedir. Akla ilk gelen soru bu enerji türlerinin insan kullanımına tam yetip yetmeyeceğidir. Genel olarak, tek tek yenilenebilir enerji kaynaklarının yeterli olmamasına karşılık, bunların gerekli yerlerde birbirlerini destekler mahiyette kullanılması yeterli olabilecektir.

Diğer enerji teknolojileri ile kıyaslandığında, yenilenebilir enerji teknolojilerinin çok daha az kirleticiler saldığı ve çevreyi kirletmediğı görülür. Fosil yakıtlara göre tükenmez diye nitelendirilen güneş, rüzgâr ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları dünyanın sonuna kadar ekonomik olarak enerji ihtiyacını gelecekteki teknolojik gelişmelerle sağlayabilir.

Güneş pilleri güneş ışınımını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebilir. Güneş pilleri levhalar halinde imal edilerek binaların çatılarına belirli bir alanı kapsayacak biçimde yerleştirilirler. Bunlara fotovoltaiik adı da verilir. Termal elektrik teknolojileri de bir akışkan üzerine güneş ışınımını merkezleştirerek çalışırlar. Özellikle de bir çukurun odak çizgisine yerleştirilen bir boruda akan sıvıya uygun parabolik yüzeyden güneş ışınımının yansıtılarak, bu çizgi boyunca toplanması ile sıvının ısınması temin edilir. Böylece, yaklaşık 80 defa daha büyük şiddette güneş ışınımı bir noktaya veya çizgiye toplanabilir.

Rüzgârın hızı dolayısı ile sahip olduğı kinetik enerji bir türbin pervanesine rastlayınca onu döndürerek kinetik enerjinin elektrik enerjisine dönüşümünü sağlar. Rüzgar enerjisi teknolojisinin gittikçe gelişmesi ve bu yolla elektrik enerjisi eldesinin ucuzlaması sonucunda endüstri ve toplumda daha yaygın olarak kullanımı sağlanacaktır.

Biyokütle temel olarak bitkiler, odun, ağaç atıkları ve ahşaptan yapılmış üretim malzemelerinden kaynaklanan bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Bunda

başka tarım atıkları, şehirdeki çöplerden ortaya çıkan katı atıklar kompostlaştırılarak ısı ve elektrik enerjisi eldesinde kullanılabilir.

Jeotermal enerji ise yaklaşık 1000 m derinliklerde kayaların magma ile ısınması veya çatlaklardan sıvıların daha da derine inerek ısınmaları sonucunda ısınan yer altı sularının ısı depolarının kullanılması da yenilenebilir enerji kaynakları arasındadır. Şimdilik ortalama yerin 300 m derinliklerindeki su, su buharı ve sıcak mineral sularının yeryüzüne çıkarılması ile su ısısı denilebilecek yenilenebilir enerji kaynağından dünyanın değişik yerlerinde yararlanılmaktadır. Bu tür enerji kaynakları daha ziyade volkanik kayaçların bulunduğu yörelerde ortaya çıkar. Bunlar da doğrudan binaların ısıtılması veya elektrik enerjisi elde etmekte kullanılır.

Su kuvveti yani hidroelektrik enerji kaynağı, suyun atmosferdeki serbest dolaşımı sayesinde önce suyun güneş ışınımı ile buharlaşarak yükseklerle çıkması sonucunda sahip olduğu potansiyel enerjinin daha sonra yağış ve sonrasındaki akış ile yüksek kotlu yüzey noktalarından daha düşük kotlu yerlere akarken arkasında depolanarak biriktirilir. Depolanmış suyun borular vasıtası ile su türbinlerinin kanatlarına düşürülerek çarpılması ile dönen türbinlerden doğrudan elektrik akımı elde edilebilir.

Yenilenebilir enerji üretim birimlerinin hemen hepsi küçük ölçekte imal edilmiş cihazlardır. Bunlar yerine göre taşınabilir karakterdedir. İmal edilmelerinde ucuzluk, dayanıklılık ve verimlilik esas alınmaktadır. Mesela bir rüzgâr türbinini ortalama 30 yıla varan garantisi mevcuttur.

Yenilenebilir enerji üretim noktalarının arazide tespit edilmesinde değişik sınırlayıcı etkiler bulunur. Öncelikle, seçilen yerin konumu ve yenilenebilir enerji kaynağı miktarı bakımından hali hazırda, o yerde kullanılan diğer enerji türlerine göre daha ekonomik ve güvenilir olacağı ortaya çıkarılmalıdır. Mesela, rüzgâr enerjisi potansiyeli 1-2 km gibi kısa mesafelerde bile çok değişkenlik gösterebilir. Yüksek enerji nakil hatlarının bulunduğu yerlere yakın konumlarda yenilenebilir enerji birimlerinin kurulması tercih sebeplerinden sadece bir tanesidir. Jeotermal kaynaklar sadece bu ısıyı magmadan daha yukarılara iletebilecek türdeki kayaçların bulunduğu jeolojik ortamlarda yapılmalıdır. Biyokütle kaynağı özellikle ağaç

atıklarının fazla olduğu yerlerde tercih edilmelidir. Hidroelektrik enerjisi için nehirlerde kısa mesafelerde oldukça eğim ve bunun sonucunda da düşüm olması gerekir.

Alışlagelmiş fosil kaynaklarına göre yenilenebilir enerji kaynaklarının sosyal etkileri oldukça farklıdır. Yenilenebilir enerji yerel olarak üretilerek kullanıldığından bu kaynakların fayda ve zararlarından sadece o civarda bulunan toplum etkilenir.

Önümüzdeki yüzyılda dünya enerjisinin çok önemli bir kısmının yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanacağı tahmin edilmektedir. Bir taraftan tükenmeye yüz tutan alışlagelmiş enerji kaynakları, diğer taraftan bunların çevreyi kirlletmeleri ve pahalı olmaya yüz tutmaları veya yenilenebilir enerji üretiminin gittikçe ucuzlaması, bu kaynakları daha da cazip hale getirmektedir [Şen,2002].

4.1. Rüzgâr Enerjisi

Atmosferde ısıl potansiyel farklara sahip hava kütleleri, daha soğuk ve yüksek basınç alanlarından daha sıcak alçak basınç alanlarına hareket eder. Isı enerjisinin kinetik enerjiye dönüştüğü bu olaya rüzgâr denir. Rüzgârlar atmosfer potansiyel enerjisinin basınç kuvvetleri vasıtasıyla kinetik enerjiye dönüşmesi sonucu olarak ortaya çıkar. Atmosferde, ısınma farklılıkları sonucu oluşan kinetik enerji, rüzgâr türbini aracılığıyla elektrik enerjisine dönüşür [Türksoy, 1994].

Rüzgar Enerjisini, kullanılabilir enerjiye dönüştürmek amacıyla yapılacak çalışmalarda öncelikle rüzgar hızının yön ve şiddet değişimi incelenir. Rüzgar şiddetleri, meteoroloji istasyonlarında uzun yıllar boyunca kayıt edilmektedir. Bir bölgedeki rüzgar enerji miktarını belirlemek için birinci aşamada bu kayıtlardan faydalanılır. Birçok faktör (pürüzlülük, sıcaklık, basınç verileri gibi) gözönüne alınmalıdır [Topçu, 2000].

Rüzgâr enerjisi hızla gelişmekte ve günümüzde en yaygın olarak kullanılan alternatif enerji kaynaklarından. Gelecekteki enerji problemine karşı bir çözüm olarak görülmektedir. Güneşten dünyaya gelen enerji miktarı 1.10^{14} kWh'tir. Bu

enerjinin %2'lik kısmı rüzgar enerjisine dönüşür. Bu da 2.10^{12} kWh enerjiye karşılık gelir ki, bu değer dünyadaki enerji üreten bütün tesislerin enerjisinin 50-100 katı kadardır [Köse, 2001]. Dünya enerji tüketimi 1995 yılı için 95.000 kWh iken, dünyaya gelen yıllık güneş enerjisi miktarı bu miktarın 15.000 katıdır. Yenilenebilir enerji potansiyelinin çok küçük bir miktarının kullanılabilir enerjiye dönüştürülmesi, dünya enerji sorununu çözmeye yetecektir [Özdamar, 2000].

Rüzgar gücü şu anda dünyada en hızlı yayılan enerji kaynaklarındandır. Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği (EWEA) araştırmalarına göre, Avrupa'nın 1998 yılı kapasite artırımı 1.600 MW'tır. EWEA 2010 yılında 40.000 MW, 2020 yılında 100.000 MW rüzgar güç santral kapasitesini tesis etmektedir [Yerebakan, 2001].

Dünya rüzgar enerjisi kurulu gücü yaklaşık olarak 18.000 MW'dır. Dünya elektrik enerjisi ihtiyacı her yıl 35,5 milyar kWh artmaktadır. Rüzgar enerjisi kullanımındaki yıllık artış 1990'larda artış göstermiş ve %35'e çıkmıştır. 2000 yılında dünya genelinde, rüzgar enerjisi kurulu gücü 3.500 MW artmıştır [Özgener, 2002].

Dünya Rüzgar Enerji santralleri kurulu gücü 1990'da 2.160 MW iken, 2001 sonunda hızlı bir artışla 24.500 MW olmuştur. Avrupa'da 2000 yılında 12.822 MW iken 2001'de %35 artışla 17.316 MW'ın üzerine çıkmış ve yılda 40 milyar kWh elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu miktar 10 milyon evin elektrik tüketimine eşittir. Bu elektrik enerjisi için 16 milyon ton kömür yanacak ve 24 milyon ton CO₂ emisyonu havaya karışacaktır [Çağlar ve Canbaz, 2002].

Rüzgar enerjisinden 1 kW'lık güç üretimi 1 kg CO₂ emisyonunu engeller. 30 türbinlik bir rüzgar tarlası ömrü boyunca yaklaşık 30.000 ton CO₂ emisyonun atmosfere verilmesini engeller [Ünver, 1997].

Yapılan araştırmalara göre; şu an yürütülmekte olan politikaların devam etmesi durumunda dünya üzerinde, 2010 yılında 60.000 MW, 2020 yılında ise 180.000 MW'lık toplam rüzgar kurulu gücünün olacağı belirtilmektedir. Çevresel kaygılar önemini artırarak enerji politikalarını yönlendirirse, toplam kurulu gücün

2010 yılında 100.000 MW'a, 2020 yılında ise 470.000 MW'a ulaşacağı tahmin edilmektedir .

Rüzgar enerjisinin avantaj ve dezavantajlarını özetlersek;

Avantajlar:

- Küresel ısınmaya yolaçan karbondioksit, asit yağmurlarına yolaçan kükürtdioksit ve azotoksit emisyonlarına neden olmaz.
- Çevresel kirlilik yaratmaz.
- Ziraat ve ormancılık faaliyetlerine engel olmaz.
- Soğutma suyuna ihtiyaç yoktur.

Dezavantajlar:

- Estetik bozulmaya
- Kuş uçuşlarının engellenmesi ve ölümlerine
- Elektro-manyetik alanın bozulması neden olmaktadır [Akkaya ve ark., 2002].
- Rüzgar hızının azalmasından dolayı ekosisteme etkilemektedir.
- Üretim ve tüketim zamanları arasındaki farklılıktır.

Rüzgar enerjisi sürekli bir enerji kaynağı değildir. Hatta kısa süreli periyotlar içindeki enerji üretimindeki dalgalanmalar elektrik dağıtım şebekesine küçümsenmeyecek zararlar verebilmektedir, efektif verimi düşürmektedir. Son zamanlarda yürütülen çalışmalar, elektronik akıllı devrelerle bu düzensizlikten oluşan verimsizliği asgari düzeye indirmek üzerine yoğunlaşmaktadır [Özden, 2003].

Türkiye ile rüzgar potansiyeli benzerlik gösteren Almanya'da 12.000 MW'tan fazla rüzgar enerjisi kurulu gücü bulunmaktadır. Danimarka, İspanya ve İtalya gibi pek çok Avrupa ülkesi de büyük miktarlarda yatırımlar gerçekleştirmektedir. Türkiye'de 1998 yılında kurulan 8.9 MW kurulu güç üzerine, 2000 yılı Haziran'ında sadece 10 MW civarında kurulu güç ilavesi yapılmıştır. 2002 yılında Türkiye Rüzgar Atlasının yayınlanmasıyla birlikte, Türkiye'nin 88.000 MW teknik potansiyele sahip

olduğu ve 10.000 MW'lık rüzgar enerjisi yatırımının rahatlıkla yapılabilceği ortaya konmuştur.

4.2. Güneş Enerjisi

Yeryüzünden 151.10⁶ km uzaklıkta bulunan güneş, nükleer yakıtlar dışında, dünyada kullanılan tüm yakıtların ana kaynağıdır. İçinde, sürekli olarak hidrojenin helyuma dönüştüğü füzyon reaksiyonları gerçekleşmektedir ve oluşan kütle farkı ısı enerjisine dönüşerek uzaya yayılmaktadır. Ancak, bu enerjinin çok küçük bir kısmı yeryüzüne ulaşmaktadır. Atmosferin dış yüzeyine ulaşan enerji 173.10¹⁴ kW değerindeyken, yeryüzüne ulaşan değer 1.395 kW'a düşmektedir. Yeryüzüne ulaşabilen ışıının değerinin bu kadar düşük olmasının nedeni, atmosferdeki CO₂, su buharı ve ozon gibi gazların ışıını absorbe etmelerinin yanı sıra kat etmesi gereken yolun uzunluğudur. Dış yüzey sıcaklığı 6000 K olarak kabul edilen ve bilinen en büyük siyah cisim olan güneşin yaydığı ışıının yeryüzüne ulaşabilen miktarı %70 kadardır. Bu eksilmeler ortaya çıkmadan önce, atmosferin dışında ışıının değeri 1.367 W/m² dir ve bu değer güneş sabiti olarak alınır. Pratik olarak, yeryüzüne ulaşan güneş ışıını değeri 1000 W/m² olarak kabul edilmektedir [Çıtıroğlu, 2000].

Güneş Enerjisi güvenilir bir kaynak olup yaygın kullanımda yüksek ve özel teknoloji gerektirmemektedir. Özellikle güneş enerjisinden yararlanmada sıcak su üretimi önemli bir bölüm oluşturur [Köse, 2001]. Sıcak su üretiminde sıcak sulu güneş kolektörleri ve parabolik güneş kolektörleri kullanılmaktadır.

Güneş enerjisi teknolojileri iki ana başlık halinde incelenebilir. Bunlar ısı teknolojiler ve fotovoltaiik sistemlerdir. Isıl teknolojiler kendi arasında sıcak su ısıtıcılar ve havuz ısıtma sistemleri, herhangi bir şekilde odaklanarak yoğunlaştırılması işleminin yer aldığı orta ve yüksek uygulamaları ve ısıtma havalandırmaya yönelik pasif güneş sistemleri olmak üzere üç grupta incelenebilir [Özil ve Uyar,1999]

Güneş enerjisi uygulama alanlarını konutlarda sıcak su temini, konut ısıtma, sera ısıtması, tarım ürünlerinin kurulması, konut soğutması, yüzme havuzu ısıtması,

güneş ocakları, fırınları ve pişiricileri, güneş enerjili buhar üreticileri, arı su eldesi, tuz üretimi, güneş pompaları, güneş pilleri, güneş havuzları, ısı borusu uygulamaları şeklinde sıralanabilir.

Güneş enerjisinin kullanım alanları çok çeşitli olup, amaca göre değişmektedir. Bu enerjinin kullanım alanları şöyle sıralanabilir:

- Konutlarda ve ticarethanelerde ısı ve elektriğe dayalı bir bölüm enerji sisteminin karşılanması.
- Sanayi enerji isteminin bir bölümünün ısı ve elektriğin birlikte üretimine dayalı entegre güneş enerjisi teknolojisiyle karşılanması.
- Kırsal kesimde ve tarımsal teknolojide enerji isteminin olabildiğince karşılanması.
- İletişim araçlarında (radyo, TV, telefon), sinyalizasyon ve otomasyonda bir bölüm enerji isteminin karşılanması.
- Gündüz ve gece aydınlatmasında güneş enerjisinin kullanılması.
- Askeri ve uzay uygulamaları gibi özel amaçlarla güneş enerjisi kullanılması.
- Güneş santralleri ile elektrik üretilmesi.
- Bazı taşıma ve ulaştırma araçlarında çalıştırıcı enerji olarak kullanılması [TÜSİAD, 1997]

Güneş kolektörleri, Türkiye’de güneş enerjisinin en yaygın kullanımı sıcak su ısıtma sistemleridir. Türkiye’de 11.549.759 adet konut mevcut olup, bu konutların %54,7’si müstakil ev ve % 45,3’ü apartman dairesidir. Konutların %13,8’inde güneş kolektörü bulunmaktadır. Türkiye’de kurulu olan güneş kolektörü miktarı 2001 yılı için 7,5 milyon m² civarındadır. Çoğu Akdeniz ve Ege Bölgelerinde kullanılmakta olan bu sistemlerden yılda yaklaşık 290 bin tep ısı enerjisi üretilmektedir. Sektörde 100’den fazla üretici firmanın bulunduğu ve 2000 kişinin istihdam edildiği tahmin edilmektedir. Yıllık üretim hacmi 750 bin m² olup bu üretimin bir miktarı da ihraç edilmektedir. Bu haliyle ülkemiz dünyada kayda değer bir güneş kolektörü üreticisi ve kullanıcısı durumundadır.

Güneş kolektörlerinin ürettiği ısı enerjisinin birincil enerji tüketimine katkısı yıllara göre Tablo 4.1.'de yer almaktadır.

Tablo 4.1. Güneş Kollektörlerinin Birincil Enerji Tüketimine Katkısı

YIL	Güneş Enerjisi Üretimi (bin tep)
1998	210
1999	236
2000	262
2001	290

KAYNAK: EİE, 2003

Fotovoltaik toplayıcılar için güneş pili tabiri de kullanılır. Fotovoltaik güneş pilleri, üzerine güneş ışığı düştüğünde, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren düzeneklerdir. Bu enerji çevriminde herhangi devingen (hareketli) parça bulunmaz. Güneş pillerinin çalışma ilkesi, Fotovoltaik (Photovoltaic) olayına dayanır. Fotovoltaik olayı, elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilim, elektrolit üzerine düşen ışığa bağlıdır [www.youthfab.org.tr].

Fotovoltaik güneş pillerde ilk sülfür denendi, sonra silikon daha geniş kullanım alanı bulmuştur. Selüller üzerine cam örtü konularak fotovaik toplayıcı dış etkilere korunmaktadır. Selül üzerine gelen ışınların taşıdığı enerjinin küçük bir kısmı anında doğru akım elektrik enerjisine dönüşür ve büyük bir bölümü ısı olur. Selüllerin arka kısmında bulunan kanaldan geçen hava ısınarak yararlı enerji olarak kullanılır. Bu sayede selül soğutulur ve ömrü uzar. Isı kayıplarını önlemek için toplayıcının arkası yalıtılır [Köse, 2001].

Güneş Havuzları, yaklaşık 5-6 metre derinlikteki suyla kaplı havuzun siyah renkli zemini, güneş ışınımını yakalayarak 90°C sıcaklıkta sıcak su eldesinde kullanılır. Havuzdaki ısının dağılımı suya eklenen tuz konsantrasyonu ile düzenlenir, tuz konsantrasyonu en üstten alta doğru artar. Böylece en üstte soğuk su yüzeyi bulursa bile havuzun alt kısmında doymuş tuz konsantrasyonu bulunan bölgede sıcaklık yüksek olur. Bu sıcak su bir eşanjöre pompalanarak ısı olarak yararlanılabileceği gibi Rankin çevrimi ile elektrik üretiminde de kullanılabilir. Güneş havuzları konusunda en fazla İsrail'de çalışma ve uygulama yapılmıştır. Bu

ülkede 150 kW gücünde 5 MW gücünde iki sistemin yanında Avustralya'da 15 kW ve ABD'de 400 kW gücünde güneş havuzları bulunmaktadır [www.eie.gov.tr].

Avantajları:

- Güneş bol ve tükenmeyen tek enerji kaynağıdır.
- Çevre kirletici duman, gaz, karbon monoksit, kükürt ve radyasyon atıkları yoktur.
- Yerel uygulamalar için elverişlidir.
- Dışa bağımlı olunmadığından ekonomik bunalımlardan bağımsızdır.
- Birçok uygulaması için karmaşık teknolojiye ihtiyaç yoktur.
- İşletme masrafları azdır.

Dezavantajları:

- Birim düzleme gelen güneş ışıını az olduğundan büyük yüzeylere ihtiyaç olmaktadır.
- Güneş ışıını sürekli olmadığından depolama gerekir. Depolama imkanları sınırlıdır.
- Enerji ihtiyacının fazla olduğu kış aylarında güneş ışıını az ve geceleri de hiç yoktur.
- Güneş ışıınından faydalanan sistemin güneş ışıını sürekli alabilmesi için çevrenin açık olması gölgelenmemesi gerekir.
- Güneş ışıınından yararlanılan birçok tesisatın ilk yatırım masrafları fazla ve ekonomik değildir [Köse, 2001].

4.3. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji yer kabuğunun ulaşılabilir derinliklerinde olağandışı olarak birikmiş yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Yerkabuğunun kırık ve çatlaklarında dolaşan sıcak akışkan yeryüzüne sondajlarla aktarılabilirdiğinde hidrotermal sistemler (su ya da buhar egemen) ortaya çıkmaktadır. Söz konusu hidrotermal sistemlerin rezervuar sıcaklığı 150⁰C'yi aşıyorsa elektrik üretimi olanaklı olmakta, bu sıcaklığın altındaki hidrotermal sistemler (orta ve düşük

entalpili) ise ısıtmada (konut, ahır, kümes, sera vb.) ve çeşitli endüstri dallarında (dokuma, konserve ve tekstil gibi vb.) enerji girdisi olarak kullanılmaktadır [Erişen, 1989].

Yerkabuğunda herhangi bir akışkan ihtiva etmediği halde bazı teknik yöntemlerle ısısından yararlanılan, yerin derinliklerindeki sıcak kuru kayalar da jeotermal enerji kaynağı olarak nitelendirilmektedir [Gözübol ve Şenyuva, 1994]. Sıcak kuru kaya (hot dry rock) teknolojisi kullanılarak yerin derinliklerindeki ısı enerjisinden herhangi bir yüzey atığı ve kirliliği olmadan yararlanılabilmektedir. [Kalpaklı ve Beker, 2002].

Jeotermal kaynaklar, sıcaklık içeriğine göre, düşük entalpili ($20-70^{\circ}\text{C}$), orta entalpili ($70-150^{\circ}\text{C}$) ve yüksek entalpili (150°C 'den yüksek sıcaklık) olmak üzere kabaca üç grupta sınıflandırılmaktadır [Kalpaklı ve Beker, 2002].

Elektrik üretimi rezervuar sıcaklığı 150°C 'yi aşan yüksek entalpili jeotermal alanlarda gerçekleştirilmekle beraber, son yıllarda düşük entalpili alanlarda da buharlaşma noktaları düşük gazlar kullanılmak suretiyle elektrik üretiminin olanaklı olabileceği de ortaya çıkmış bulunmaktadır [Erişen, 1989].

Orta ve düşük entalpili su egemen sistemler doğrudan elektrik enerji üretiminde kullanılmamaktadır. Ancak bu kaynaklar ısıtma, buharlaştırma, kurutma gibi endüstrinin düşük sıcaklık isteyen proseslerinde ısı enerji olarak değerlendirmek mümkündür.

Türkiye'de hesaplanan jeotermal elektrik potansiyeli 4500 MW ise de eldesindeki verilere göre teknik potansiyel 500 MW civarındadır. Ancak yapılan sondajlara dayalı olarak ortaya konulan kesinleşmiş jeotermal elektrik potansiyeli 200 MW düzeyinde bulunmaktadır [Kalpaklı ve Beker, 2002].

Sıcak kuru kaya (hot dry rock) sistemler ile elektrik üretilebilmektedir. Bu sistem sondaj makinaları yardımıyla kayalarda suni çatlaklar meydana getirilir. Bu sondaj borularından aşağıya verilen basınçlı su kayalar içinde ısınır ve diğer borulardan emilerek ısınmış olarak tekrar yüzeye çıkar. Bu sıcak sudan elde edilen

buhar klasik türbin sistemi ile enerji üretiminde kullanılır. Buhar soğuduktan sonra yeniden sistemi geri çevirebilir [Erdin ve ark., 2002].

Türkiyede toplam 1000 dolayında sıcak ve mineralli su kaynağı ve jeotermal akışkan çıkan kuyu noktası vardır. Bilinen jeotermal alanların %95'i ısıtmaya uygundur. Türkiye'de az sayıda da olsa yüksek entalpili jeotermal alanlar da keşfedilmiştir. Ancak ülkemizde jeotermale dayalı elektrik üretimi yeterli düzeye ulaşamamıştır. Bugün arama yapılmış sahalarda içinde, yeni teknolojileri de kullanarak 10 kadar jeotermal sahadan elektrik üretmek mümkündür [www.jmo.org.tr].

Jeotermal akışkanı meydana getiren sular meteorik kökenli olduklarında yer altındaki rezervuarlar sürekli beslenmekte ve kaynaklar yenilenmektedir. Bu nedenle beslemenin üzerinde kullanım olmadıkça kaynakların azalması söz konusu değildir. Dünyanın kullanılabilir jeotermal enerji potansiyelinin 4.10^{20} J olduğu tahmin edilmektedir [Look, 1988].

Avantajları:

- Jeotermal enerjiden elde edilen birim enerji maliyeti daha düşüktür.
- Termik santrallere göre çok daha az çevre sorununa yol açmaktadır. Re-enjeksiyon uygulamalarının giderek gelişmesiyle çevresel etkileri azalmıştır.
- “Binaery Cycle” ve ya “Multi Flashing System” gibi teknolojik gelişmeler ile düşük sıcaklıktaki sahalardan da elektrik üretimi mümkün olmakta ve santral çevrim verimleri artırılarak birim enerji maliyeti daha da aşağılara çekilebilmektedir [Koçak, 2001].
- Kolayca işletmeye alınabilir.
- Atmosfere CO₂ ve diğer emisyonların verilmemesi bu enerji türünde fauna floraya olumsuz etkiler minimum düzey olmaktadır.
- Yüksek düzeyli teknoloji gerektirmez.
- Jeotermal enerjiye dayalı santrallerde CO₂, NO_x, SO_x atımı çok düşük seviyededir.

Dezavantajları:

- Yüzey deformasyonu, akışkan çekilmesiyle oluşan fiziksel etkiler.
- Gürültü, termal kirlilik ve zararlı kimyasal maddelerin ortaya çıkmaktadır.
- Yeraltı suyu dengesi bozularak gözeneklerdeki basınçlar değişmektedir.
- H_2S , NH_3 , CH_4 , Hg ve borik asit gibi potansiyel kirleticilerin açığa çıkmasıdır.
- Yapılarında bulunan hidrojen sülfür ve karbondioksit gibi gazların açığa çıkması nedeniyle re enjeksiyon gereklidir.
- Çok miktarda su kullanılması en önemli çevresel problemidir.

Türkiye için jeotermal enerji önemli kaynaklardan biridir. Jeotermal enerji potansiyeli açısından dünyanın yedinci ülkesidir. Akışkan sıcaklığı $40^{\circ}C$ 'nin üzerinde 140 jeotermal saha mevcuttur. Bu sahaların tümü merkezi ısıtmaya, sera ısıtmasına, endüstriyel proses ısı kullanımına ve kaplıca kullanımına uygundur. Ancak bunlardan sadece yedi tanesi elektrik üretimine uygundur. Bu sahalardan Denizli-Sarayköy'de 20 MW kurulu elektrik gücünde bir santral mevcuttur.

Türkiye'nin teorik toplam jeotermal kapasitesi 31.500 MW'dir. Bunun eşdeğeri 5 milyon konutun ısıtılmasıdır. Bunun karşılığı ise yılda 30 milyar m^3 doğalgaz eşdeğeridir. Ancak, bu teorik bir değer olup, pratikte 1 milyon konutun ısıtılması mümkün olabilir [Dağdaş ve Akkaya, 2002; Çağlar ve Şen, 2004].

Türkiye'de jeotermal enerji ile konut ısıtma sistemi, Gönen, Simav, Kızılcahamam, Narlıdere, Sandıklı, Kırşehir, Balçova, Afyon, Kozaklı ve Diyardin olmak üzere 10 bölgede 30.500 konut ısıtılmaktadır.

4.4. Hidrolik Enerji

Hidrolik enerji, suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi ile sağlanır. Suyun basıncı ve hız etkisinden faydalanarak su türbinleri vasıtasıyla mekanik enerji elde edilir.

Yenilenebilir enerjinin en büyük kaynağı kanıtlanmış bir teknoloji olan hidroelektriktir. Hidroelektrik, temel enerjisini hidrolik çevrimi oluşturan ve bu yolla sürekli yenilebilir bir su kaynağı yaratan güneşten almaktadır. Hidroelektrik halen üretilen yenilenebilir tüm enerjinin % 92'sinden fazlasını temsil etmekte ve ticari kaynağı olarak görünmektedir [Pasin, 2002].

Hidroelektrik santraller (HES) üretilen güce göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır;

Büyük HES	$\geq$	10.000 kW
Küçük HES		1001- 10.000 kW
Mini HES		101-1000 kW
Mikro HES	$\leq$	100 kW

Hidroelektrik santral tesisleri depolamalı ve depolamasız olarak ikiye ayrılır. Depolamalı tesisler, yapay baraj göllü ya da tabii göllü, depolamasız tesisler, kanal veya nehir üzerine inşaa edilmiştir [Köse, 2001].

Hidroelektrik santralleri yapılış çeşitlerine göre, düşük (alçak) düşülü, orta düşülü ve yüksek hidrolik sanraller olmak üzere üçe ayrılırlar.

Düşük (Alçak) Düşülü Hidrolik Santraller ($H < 10$ m): Nehir veya kanal tipi santrallerdir. Nehrin tek tarafına, iki tarafına, koy içine ve kanal içine inşa edilebilmektedir.

Orta Düşülü Hidrolik Santraller ($H < 50$ m): Baraj ve kanal tipi olarak iki şekilde yapılmaktadırlar.

Yüksek Düşümlü Hidrolik Santraller ($H > 50$ m): barajlı, tabii göllü ve türbin pompa şeklinde çalışan depolamalı santraller olarak yapılmaktadırlar.

Hidrolik makinalar su türbinleri ve su çarkları olmak üzere ikiye ayrılırlar. Su türbinleri dinamik hidrolik makinalar olmasına karşılık, su çarkları su ağırlığı kuvveti makinalardır.

Diğer enerji kaynağı seçeneklerine göre;

Avantajları:

- İhmal edilebilir miktarda sera gazı üretimi
- Büyük miktarda enerjinin en düşük fiyatla depolanması
- Elektrik talebinin en kısa sürede ve en kolay şekilde karşılaştırılması [Pasin, 2002].
- Doğal kaynaklar kullanılır dışa bağımlı değildir.
- Acil Durumlarda devreden çıkarılabilir.
- Yapılan yatırım sadece enerji için değil sulama-taşkın amaçlı kullanılabilir.

Dezavantajları;

- Büyük alan kaplaması,
- İklimi değiştirmesi
- Dikkate değer kaza ihtimali bulunması,
- Doğal görünümü bozarak görüntü kirliliği oluşturabilmesi,
- Balık ve doğal yaşamı etkilemesi,
- Ekolojik dengeyi bozması
- Suyun kalitesini değiştirmesi,
- Yağışlara bağlı olumsuz etkilenmesi,
- Doğal fay hareketlerini etkileyerek deprem oluşum riskini artırması biçiminde sıralanmaktadır [Ültanır, 1998].

Hidrolik enerjide 1969 sonrası baraj yıkılması biçiminde 8 kaza görülmüş olup, toplam ani ölüm sayısı 3.839 ile Çernobil kazasındaki ani ölümün 124 katıdır.

Metrolojik gözlemlere göre yılda 643 mm'lik yağmur, 501 milyar m³ suya eşdeğerdir. Bununla birlikte, ortalama değerin sadece 186 milyar m³'ü ırmaklarla denizlere ve göllere akar. Türkiye'nin teknik ve ekonomik hidroelektrik enerji potansiyeli 430, 215 ve 124,5 milyar kWh'tir [Hepbaşlı ve ark., 2001].

4.5. Dalga Enerjisi

Rüzgârın deniz ve okyanus yüzeyindeki hareketleri sonucu ortaya çıkan dalgalar birer enerji birimi olarak karşımıza çıkar. Rüzgârların sınır tabakasındaki sürtünme dolayısıyla ortaya çıkardıkları dalgalar deniz yüzeyinin tamamen rasgele iniş ve çıkışlara sahip olmasına neden olurlar. Dalga enerjisi, özellikle çevreye olan en az olumsuz etkisi dolayısı ile yenilenebilir enerji kaynakları içinde yerini almıştır. Dalga enerjisi teknolojisi rüzgâr enerjisi gibi diğer temiz enerji kaynakları teknolojilerine göre ekonomik görünmemesine rağmen, Dünya Enerji Konseyi dünya genelinde dalga enerjisi miktarının 2 TW olduğunu hesaplamıştır [Thorpe, 1999].

Dalga hareketinin, yinelenmesi akarsuyun yinelenmesinden farklıdır. Akarsuyun yinelenme periyodu, kaba bir düşünce ile bir yıldır; hâlbuki dalgaların periyodu maksimum 6 saniyedir. Buradaki büyük farkı göz ardı etmeden, günümüz teknolojileri kullanılarak, oluşan, yinelenen bu enerjiyi almak için daha fazla gecikilmemelidir [Çokan, 2002].

Dalga'nın enerji kaynağı olarak kullanımındaki olumlu ve olumsuz yönleri şu şekilde özetleyebiliriz:

Avantajlar:

- Dalga enerjisi sera gazı kirleticilerinden uzak bir enerji sistemi olduğundan küresel ısınma açısından hiçbir problem teşkil etmez.
- Dalga enerjisi dönüştürücüleri işletme esnasında yakıtı ihtiyaç duymazlar. Dolayısıyla çevreyi kirleticisi hiçbir katı atık bırakmazlar

- Bir ülkenin enerji talebinin en yüksek olduğu kış aylarında en fazla kullanılmaya hazır olan temiz enerji türlerinden biridir.
- Dalga enerjisi teknolojisi yeni iş alanlarının açılmasına katkıda bulunacaktır.

Dezavantajlar:

- Dalga enerjisinin, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre yatırım maliyeti daha yüksektir.
- Fırtına esnasında dalga enerjisi dönüştürücülerinin zarar görme riski oldukça yüksektir. Çünkü böyle bir fırtınada normal şartlarda elde edilen enerjinin 10 katı kadar enerji söz konusu olacaktır. Bu durum boyutlandırmada hesaplara katıldığı zaman dalga enerjisi maliyetini de arttıracaktır.
- Dalga enerjisi dönüştürücüleri yerleşim alanlarından uzak kurulmuşsa, şebekelerde bazı sorunlarla karşı karşıya kalınabilir. Bu durumda şebeke işletme maliyetinin göz önünde bulundurulması gerekir.
- Dalga enerjisi konusunda deneyimli insan gücünün olmaması durumunda, işletmeler yanlış politikalar sonucunda kısa zamanda ciddi problemlerle karşı karşıya kalabilirler [Aytek ve ark.,2002].

Dalga enerjisi, dalga enerjisi dönüştürücüleri ile elde edilir. Bu dönüştürücüleri aktif ve pasif olarak ikiye ayırmak mümkündür. Aktif dönüştürücüler dalga ile birlikte hareket ederler ve mekanik olarak çalışırlar. Elektrik su yüzeyinde yüzen kısmın harmonik hareketi ile elde edilir. Bu tür cihazlar yüzen parçalar ve kıyıda sabitlenmiş türbinlerden oluşurlar ve cihazlar dalgaların hareketinden dolayı yukarı ve aşağı doğru sallanırlar. Bu sallanma sonucunda türbin hareket eder ve dalga hareketlerini elektrik enerjisine dönüştürür. Pasif dönüştürücüler ise, sabit olarak kalırlar, mekanik teçhizatları yoktur, sadece içlerinde havanın ilerlemesi için olanak sağlarlar. Türbinlerin çalışması ya dalgaların gelgiti sonucu oluşan basınç farkıyla ya da daralan kanal sistemlerindeki suyun yüksek kotta toplanması ile doğan enerji ile çalışır.

Son on yılda dünya genelinde dalga enerjisi teknolojinin gelişmesi neticesinde dalga enerjisi üretiminde çok önemli ilerlemeler olmuştur. Özellikle bazı Avrupa ülkelerinde, devlet bazında yapılan teşviklerle birçok bölgede pilot alanlar kurulmuş ve dalga enerjisi üretilmeye başlanmıştır.

İngiltere, gerek dalga enerjisi teknolojisi gerek dalga enerjisi üretiminde oldukça büyük ilerlemeler sağlayan bir ülkedir. İngiltere'nin dalga enerjisi kapasitesi 120 GW'tır [Petroncini ve Yemm, 2002] İrlanda coğrafi konumu nedeniyle dalga enerjisi üretimine çok elverişli ülkelerden biridir. Ülkenin batı ve güney sahillerinde dalga enerjisi kapasitesi 25 GW'tır [Mollison, 2002]. Portekiz'de dalga enerji kapasitesi ise 10 GW'tır [Mollison ve Pontes, 2002].

Deniz dalga enerjisi, deniz sıcaklık gradyant enerjisi, deniz akıntılarının enerjisi (boğazlarda) ve med-cezir enerjisi olarak tanımlanabilmektedir. Türkiye için üzerinde durulabilecek enerji grubu ise özellikle deniz dalga enerjisidir. Deniz dalga enerjisinin temelinde yine rüzgâr enerjisi yatmaktadır. Türkiye'de Marmara hariç olmak üzere açık deniz kıyı uzunluğu 8210 km civarındadır. Bunun turizm, balıkçılık ve kıyı tesisleri nedeniyle en fazla beşte birlik kısmı kullanılabilir ve bu da yıllık olarak 18.5 TWh/yıl enerji demektir [Aytek ve ark., 2002].

4.6. Biokütle Enerjisi

Biyokütle terimi ile belirli bir zaman, alan ya da hacim ölçüsünde toprak üstü ve altındaki yaşayan bitkisel ve hayvansal maddelerin miktarı anlaşılır. Dünya üzerinde yer alan biyokütlenin yaklaşık %90'nının ormanlarda gövdeler, dallar, yapraklar ve döküntü maddeler ile burada yaşayan hayvan ve mikroorganizmalardan oluştuğu ve dünya ormanlarının yıllık net biyolojik üretiminin yaklaşık 50×10^{19} ton olarak tahmin edilmektedir. Bu üretim miktarı ziraat alanları, çayırliklar, otlaklar, stepler, tundralar ve geri kalan vejetasyon formlarında fotosentez ile oluşan bütün birincil biyokütle miktarlarından fazladır [Saracoğlu, 2004].

Biyokütle enerji kaynakları klasik ve modern olmak üzere ikiye ayrılır. Klasik biyokütle kaynakları; normal ormanlardan elde edilecek yakacak odun ile bitki ve

hayvan artıklarından oluşur. Modern biyokütle kaynakları enerji ormancılığı ürünleri ile orman ve ağaç endüstrisi atıkları, enerji tarımı ürünleri, tarım kesiminin bitkisel artıkları ve hayvansal atıkları, kentsel atıklar, tarımsal endüstri atıkları biçiminde sıralanır. Bu materyaller biyokütle yakıt teknikleri ile işlenerek katı, sıvı ve gaz yakıtlara çevrilir [Başçetinçelik, Karaca ve Öztürk, 2004].

Biyokütle kaynakları, kimyasal bağlarında güneş enerjisini depolayan organik maddelerdir. Selüloz (%35-50), hemiselüloz (%20-35) ve lignin (%15-30) gibi üç ana bileşen ile ekstraktifler ve kül gibi çok daha az oranda bulunan diğer bileşenlerden meydana gelir. Karbon, hidrojen ve oksijen molekülleri arasındaki bağlar solunum, yanma ya da bozunmayla kırıldığı zaman depolanan enerji açığa çıkar [www.ermisweb.state.mi.us]. Biyokütlenin enerji kaynağı olarak kullanımındaki olumlu ve olumsuz yönleri şu şekilde özetleyebiliriz:

Olumlu yönler:

- Hemen her yerde elde edilebilir olması
- Üretim ve çevrim teknolojilerinin iyi bilinmesi
- Her ölçekte enerji verimi için uygun olması
- Depolanabilir olması
- Sosyo-ekonomik gelişmelerde önemli olması
- Çevre kirliliği oluşturmaması
- Sera etkisi oluşturmaması
- Asit yağmurlarına yol açmaması

Olumsuz yönler:

- Düşük çevrim verimine sahip olması
- Tarım alanları için rekabet oluşturmaması
- Su içeriğinin fazla olması [www.youthforhab.org.tr]

Biyokütle, fosil yakıtların yerini alabilecek sentetik yakıtlara yanma, piroliz, gazlaştırma ve sıvılaştırma gibi değişik dönüşüm teknolojileri kullanılarak

dönüştürebilmektedir. Günümüzde bu amaçla geliştirilen teknolojilerden önemli bir bölümü ekonomik açıdan uygulanabilir olmalarına rağmen endüstriyel uygulamaları sınırlıdır. Bu dönüşüm teknolojileri içerisinde piroliz, biyokütlenin sentetik yakıtlara dönüştürülmesinde kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir [Zanzi, Sjöström ve Björnbo, 2002; Briggwater ve Peacocke, 2000].

Piroliz prosesi genel anlamda oksijensiz ortamda organik maddeleri ısıtarak ayrışma işlemidir ve mekanizması oldukça karmaşıktır. Yaygın olarak kabul edilen bir kurama göre ısıtma etkisine bağlı olarak birincil ürünlerin oluştuğu ve bu ürünlerin yüksek sıcaklıkta ikincil reaksiyonlar için yeterli bir süre bulmaları durumunda parçalanarak katran ve gaz ürüne dönüştüğü düşünülmektedir. Oluşan ikincil ürünlerin bileşim ve özellikleri uygulanan sıcaklık ve reaktörde kalma süresine bağlı olarak değişmektedir [Bridgwater ve Bridge, 1991]. Biyokütlenin cinsine ve yapısına bağlı olmaksızın piroliz yöntemi ile yüksek verimle elde edilen sıvı ürün, iyileştirme işlemleri sonunda kalorifik değeri yüksek, kolay depolanabilir, taşınabilir özellikleri ile petrol türevi sıvı yakıtlar için iyi bir alternatif oluşturmaktadır [Soltes, 1998; Sorensen, 1983].

Yeni ve yenilebilir enerji kaynaklarından biri olan biyokütle, son yıllarda araştırmacıların oldukça ilgisini çekmekte ve biyokütleden enerji olarak yararlanmak amacı ile birçok çalışma yapılmaktadır. Özellikle Avrupa Birliği üyesi ülkeler bu konudaki çalışmaları ile dikkat çekmektedirler. Örneğin Finlandiya son 20 yıldır biyokütle enerji kullanımını ikiye katlamış ve enerjisinin %25'ini bu yolla üretmeye doğru gitmektedir. Şu anda Avrupa Birliğinde en büyük yenilenebilir enerji kaynağı kullanıcısı ve elektriğinin %17'sini biyokütleden üreten bir ülke olarak en büyük paya sahiptir. Finlandiya hükümeti 2010 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynağı kullanımını %50'ye çıkarmayı hedeflemektedir. Finlandiya'da biyoenerji için yıllık toplam yatırım ödeneği 15 milyon € iken, araştırma ve geliştirme çalışmaları için ayrılan miktar ise 17 milyon € civarındadır [Başçetinçelik, Karaca ve Öztürk, 2004]. Hızla büyüyen kavak, söğüt, kızılgağaç, Akçaağaç, huş, okaliptus, akasya gibi yapraklı ağaç türlerini yongalayıp kurulu güçleri 1-120 MW arasında değişen ısı tesislerinde yakarak ısı ve elektrik enerjisi üretmeyi amaçlayan Enerji Ormancılığı kavramı da son yıllarda gelişmektedir. Kanada 2050'li yıllarda enerjisinin %50'sini

enerji ormancılığı ile karşılamayı planlamaktadır [Saraçoğlu, 2004, Demiral ve Şensöz, 2002].

Enerji ormancılığı uygulamaları ile üretilcek odun ürünü, ormanlarda hasat çalışmalarından sonra genellikle çürümeye bırakılan dal, kabuk ve tepe parçaları ile toplumun kullanmadığı odun ürünleri ve orman endüstrisinin yonga, talaş, kabuk gibi atıklarının enerji üretiminin gerçekleştirilebileceği ısı tesislerinin ülkemizin çeşitli yörelerinde kurulması ile, bu konuda lider olan Finlandiya ve diğer ülkelerde olduğu gibi, ülkemizin enerji açığının azaltılmasında yenilenebilir yeni bir enerji kaynağından yararlanılabilecektir. Ancak ne yazık ki Türkiye’de amaçla kurulmuş tek bir ısı tesisi bulunmamaktadır. [Saraçoğlu, 2002].

4.7. Biogaz Enerjisi

Biyogaz; bitki ve hayvan artıkları gibi organik maddelerin havasız ortamda fermantasyonu sonucu oluşan ve bileşiminde %60-70 metan, %40-30 karbondioksit ve az miktarda hidrojen sülfür, hidrojen, karbonmonoksit ve azot bulunan renksiz ve yanıcı bir gaz karışımıdır. Bilhassa H_2S ve nem korozyona sebep olduklarından hem üretim hem de kullanma açısından önemlidirler.

Günümüzde biyogaz üretimi atık maddelerden, kırsal atıklardan, yüksek kirlilik içeren endüstriyel atıklardan, atık su arıtma tesislerindeki biyolojik arıtma süreci sonunda elde edilen çamurlardan, katı atıkların organik özellik taşıyan bileşenlerinden ve bu atıklara benzer özellikteki diğer atıklardan yapılabilir. Bu şekilde temiz enerjinin elde edilmesi, atıkların oksijensiz ortamda metan gazına dönüşümü mümkün olmakta; geriye kalan kısım ise çok verimli gübre kaynağı olarak kullanılabilir [Buğutekin ve Binark, 2004; Onat ve Topaloğlu, 2004].

Biyogaz tesisleri planlanan amaca göre; aile tipi (6-12 m³ kapasiteli), çiftlik tipi (50-100-150 m³ kapasiteli) ve köy tipi (100-200 m³ kapasiteli) tesisler olarak sınıflandırılabilir. Uygulamadaki biyogaz sistemleri ise çalışma prensiplerine ve tasarımlarına göre; kesikli ya da sürekli sistemler; tek ya da iki aşamalı prosesler,

yatay reaktörler, dikey tarımsal standart ya da dikey büyük reaktörler olarak da sınıflandırılabilir (Buğutekin ve Binark, 2004).

Biyogaz uygulamaları tüm organik atıkların kontrollü şekilde depolanmasını sağlamasının yanı sıra, fermentasyon sırasında sıcaklık nedeniyle dezenfeksiyon etkisi de oluşturmaktadır. Organik atıkların, özellikle çiftlik gübrelerinin kontrolsüz şekilde depolanması yeraltı ve yer üstü sularının kimyasal ve biyolojik kirlenmesinin nedenleri arasındadır. İçerdiği azot toprakta depolanmakta, toprak altına yıkanmakta, gaz formunda atmosfere salınarak çevreye olumsuz etkilerde bulunmaktadır. Toprakta depolanan azot, nitrat formunda taban suyuna ulaşarak canlılar açısından tehlike oluşturmaktadır. Amonyak formunda bulunan azot, asit yağmurlarının nedenleri arasında yer alırken, N_2O formunda sera etkisinde önemli rol oynamaktadır.

Fermentasyon sonucu C/N oranının küçülmesi, kokunun azalması, komateryal kullanılması ile çiftlik gübrelerinden olan amonyak kaybının azalması, nitrat kirlenmesinin önlenmesi, mera alanlarında yem materyalinin daha az kirlenmesi, parçacık büyüklüğünün küçülmesi, metan ve N_2O gazının azalması biyogaz fermentasyonunun olumlu etkileridir [Yaldız ve Sözer, 2002].

Biyogaz tesislerinde karşılaşılan sorunlar incelendiğinde en önemlisinin, tesisi ekonomik gaz üretimi sağlayacak sıcaklığa getirmek ve o sıcaklıkta tutmak olduğu görülür. Sıcaklığın korunması ve taban suyu açısından tesis yerinin seçimi, sıcaklığa bağlı olarak günlük besleme miktarının değişimi, tesislerdeki konstrüksiyon hataları, tesis dolumunda kullanılan maddelerin diğer istenmeyen maddelerle karışması, tesislerin mevsimlere göre öncelikli doldurulması, işletecek kişilerin bilgi seviyesi ve ehliyeti, karıştırıcı düzeneklerdeki problemler, bu sistemlerin tanıtılması, uygulamaya konulabilmesi ve üreticiye kabul ettirilmesi, devlet tarafından yapılacak teknik yardımlar ve verilebilecek krediler diğer faktörleri oluşturmaktadır [Buğutekin ve Binark, 2004].

Biyogazın dünyada yeri ve önemine bakıldığında, tarım ve hayvancılığın çok yaygın olduğu birçok ülkede biyogaz tesisleri mevcuttur. Örneğin Çin'de 1 milyarın üzerindeki nüfusun büyük çoğunluğu yakıt olarak biyokütle kullanmakta olup daha

çok yemek pişirmek ve aydınlanmak için biyogaz üretimi için 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 ve üzeri olan 800 biyogaz üretim tesisinin toplam kapasitesi 8500 KW dolayındadır [Bilgin, 2003].

Türkiye’deki 1999 yılı istatistikleri kullanılarak, sadece koyun, keçi ve sığır sayısına göre yapılan bir hesaplamada, yılda üretilen 92.602 ton hayvan gübresinden 7.408.160 m³ metan gazı elde edilebileceği, bunun da yaklaşık 5,2 Mtep olduğu bulunabilir [Eryılmaz, 1981]. Hububat samanı, mısır sapı, şeker pancarı artıkları ve patates artığı dikkate alınarak yapılan enerji hesapları sonucu bu maddelerin enerji değerlerinin 5,09 Mtep olduğu görülmüştür [Ültanır,1998; Dalgıç, 2002]. Dolayısıyla, çiftlik hayvanı gübreleri ve bitkisel üretim atıkları toplam potansiyeli, 10,29 Mtep’i bulmaktadır ve bu değer, Türkiye toplam enerji tüketiminin %13’üne eşittir.

5. ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARININ ÇEVRESEL ETKİSİ

5.1. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisi emisyon yaymayan ve çevresel kirlilik yaratmayan bir enerji kaynağıdır. Yeryüzünün %95'in de rüzgar enerjisi elde edilebilir. Rüzgar çiftlikleri bulundukları alanın sadece %1'ini kullanır. Çiftçilik faaliyetleri türbinlerin hemen altında yapılabilir.

Rüzgâr enerjisinden elektrik üretim sürecinin karbon-bağımsız olması, yani atmosfer kirliliğine sebebiyet vermemesi nedeniyle bu kaynak “temiz enerji” olarak nitelendirilmektedir. Çevre sorunları, çevre kalitesi salt ‘atmosfer, hava ve su kirliliği’ veya ‘karbon emisyonları’ boyutlarında ele alındığında, rüzgar enerjisinin temiz bir enerji kaynağı olduğu doğru bir saptamadır. Bu koşulda, yeryüzünde rüzgar hızlarının olanak verdiği her noktayı türbinler ile donatmak fikrini savunmak durumundayız. Hiç kuşkusuz, böyle bir savunu gerçekçi olmayacaktır. Kesintili bir kaynak olduğu ve dünya enerji gereksinimini tek başına karşılayamayacağı gerçekleri bir kenara bırakılırsa, giderek ucuzlayan teknolojinin bilinçsizce tüketilmesi, tıpkı fosil yakıtların zararları göz ardı edilerek, yıllar boyu, sınırsızca kullanılmasında düşülen hataları farklı boyutlarla doğuracaktır [Peker, 2002].

Rüzgar enerjisinin en büyük avantajı çoğu enerji üretim santrallerinin bulundurmak zorunda oldukları soğutma suyuna ihtiyaçları olmamasıdır. Bu durum rüzgar enerjisini en zararsız enerji kaynağı haline getirmektedir. Fakat diğer taraftan türbinler için geniş alanlara ihtiyaç duyulmaktadır [Yasavul ve Tüfekçi, 2001; Şahin ve ark., 2000]. 1 MW elektrik üretimi için 700-1000 m² arazi gerekmektedir. Görsel ve estetik olarak olumsuzdurlar. Gürültülüdürler, rüzgar makineleri tarafından oluşturulan gürültü, rüzgar hızının artması ile yükselir. Bu gürültü duyulabilir ses oranının altındaki düşük frekans boyutundadır. Düşük frekans ses dalgaları evlerin ve diğer yapıların titreşimine neden olmaktadır. Bu durum ancak bu seviyedeki ses frekanslarına dayanıklı binaların yapılması ile ortadan kaldırılabilir. Bir çok Avrupa ülkesinde büyük rüzgar türbinlerinin yarattığı çevre sorunları nedeniyle milli

park alanlarının sınırları içine ve çok yakınlarına kurulması yasaklanmıştır. Bu olumsuz etkilere kuş ölümleri de eklenebilir. Kuşlar rüzgar güllerine doğru sürüklenmekte ve çok hızlı dönen pervanelerden kaçamamaktadırlar.

Kuzey California'da rüzgar türbinlerinin yol açtığı kuş ölümleri üzerine yapılan çalışmalar sonucunda bir yılda 192- 449 kuşun öldüğü tespit edilmiştir. Bu çalışmada herbir türbin başına yılda 0,018-0,074 kuş düşmektedir. Ancak radyo ve soğutma kulelerinin de kuş ölümlerine neden olduğu göz ardı edilmemelidir. Exxon Valdez olayında sadece bir seferde petrol sızıntısı yüzünden 375.000- 500.000 kuş ölmüştür. Rüzgar enerjisinin çevresel etkilerini incelerken bu kuş ölümleri diğer kaynakların yarattığı çevresel etkiler yanında kabul edilebilir değerlerdedir. [Bechly, 1997].

5.2. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisinin kullanım biçimine göre çevre etki ve sorunları değişik olmaktadır. Bugün yaygın biçimde kullanılan güneşli su ısıtıcılar, mimari yapı ile bütünleşik ele alınmadıklarından görüntü kirliliği oluşturmaktadırlar. Burada özellikle güneşle elektrik üretiminin çevre etkileri ele alınmıştır. Fotovoltaik üreteçler, üretimleri ve atımları koşulunda partikül sorunu, ağır metal sorunu ve atık sorunu ortaya çıkarmaktadır. Görüntü kirliliği oluşturabilmekte, çevrim verimlerinin düşüklüğü nedeni ile büyük alan istemektedirler. Güneş ve rüzgar santrallerinin 2.275-3.750 t CO₂/MW kadar CO₂ atımını engellemeleri, küçük düzeylerde kalan tüm sakıncalarının da gözardı edilmesine neden olacak en büyük çevresel kazançlarıdır [Ültanır, 1998].

Güneş termik santrallerinin ayna fonksiyonlu konsentratör (odaklı kollektör) ve heliostat tarlaların oluşturduğu ışık kirliliğinin yani parlak ışığın göz sağlığına olumsuz etkisi, tümü ile santral yapısının oluşturabileceği çirkin görüntü, yakın yörede yansımalarından radyasyon yoğunluğu artışı, çalışma akışkanı su/ buhar yerine değişik kimyasallar olan santrallerin ısı transfer akışkanlarının olumsuz etkisi ve kaza olasılıkları vardır [Ültanır, 1998].

5.3. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji yılın her anında ulaşılabilir bir enerji kaynağıdır. Atmosfere CO₂ ve diğer emisyonların verilmediği bu enerji türünde, flora ve faunaya olumsuz etkiler minimum düzeyde olmaktadır.

Jeotermal enerji kaynaklarının en önemli çevresel problemlerinden biri çok büyük miktarlarda su kullanımıdır. Jeotermal akışkanlar kullanıldıktan sonra mevcut yüzey sularına deşarj edildikleri takdirde yüzeysel sularda termal kirliliğe ve pis kokulu su estetik görüntünün bozulmasına neden olmaktadır. Ayrıca deşarj edilen bu suların bünyelerinde bulundurdıkları kirleticiler çevresel problemlere yol açabilmektedir. Bu kirleticiler hidrojen sülfat, karbondioksit, amonyak, metan, borik asit, cıva, arsenik, flor vs. olarak sayılabilir. Bu kirleticiler insan sağlığı ve tarım alanları için risk oluşturmaktadırlar.

Yeraltı suyu beslenmesi ve yüzeysel sulara deşarj edilen termal suların yol açacağı çevresel problemleri gidermek amacıyla rezervuar ve akiferlerin re enjeksiyon sistemler geliştirilmektedir.

5.4. Hidrolik Enerji

Bugüne kadar ki suya dayalı planlama ve uygulamalarda, Türkiye'nin ormanlarına, diğer bitki örtüsüne, yabanıl ve iç su canlılarına, tarım arazilerine, su kaynaklarına, kültürel mirasa önemli risk oluşmuştur. Atatürk Barajı'nda 580, Birecik Barajı'nda 30, Karkamış Barajı'nda 40, Aslantaş Barajı'nda 25 arkeolojik yerleşim kaybedilmiştir. 10.000'in üzerindeki arkeolojik yerleşim de baraj sularının tehdidi altındadır [Cano, 2003].

Hidrolik enerji santrallerinin çevreye olumlu ve olumsuz etkisi vardır. Olumlu etkiler enerji üretimi, taşkın önlenmesi, ziraatı geliştirme, balıkçılığı teşvik, ağaçlandırma ile çevrenin estetik kalitesini ve mansapta su kalitesini yükseltilmesidir [Gülen ve Pişkin, 2002].

Hidroelektrik enerji üretiminin doğal, tarihi ve kültürel varlıklar ve sosyo-ekonomik çevre üzerinde boyutları projeden projeye değişen etkileri mevcuttur.

Çevresel etki çoğunlukla su altında kalan taşınmazlar ve yöre halkının yeniden iskanı, orman varlığının taşınması, nadir ve nesli tehlikedeki bitki ve hayvan türleri konularında ortaya çıkmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynağı olan hidroelektrik santraller; ilk yatırım maliyeti yüksek olmalarına karşın ortalama ömürleri 150 yıl gibi uzun olan ve bu nedenle ekonomik irdeleme yapıldığında en ucuz enerji üreten projelerdir. Enerji üretiminin yanında içme kullanma ve sulama suyu temini, taşkın koruma, balıkçılık, rekreasyonel amaçlar gibi ikincil önemli katkıları da bulunmaktadır [Alpaslan, 2001].

5.5. Dalga Enerjisi

Dalga elektrik enerjisi santrallerinde inşaat süresi diğer santrallere göre çok daha kısadır ve primer enerjiye para ödenmesi gerekmez. Doğaya zarar verecek atık, yakma ve yanma yoktur, çevreye bıraktığı herhangi bir kirleticisi olmayan, doğal, yenilenebilir, çevreci, sınırsız büyüklükte, kesintisiz, prezisyonlu ve kaliteli bir enerjidir. Nüfus yoğunluğu kıyılarda toplandığı yerlerde uzun iletim hattı olmaksızın dolayısı ile enerji kaybı olmaksızın enerji üretildiği yerde tüketilmektedir. Santral, şase yapısı dalyan görevi görecek denizlerdeki balık neslinin çoğalmasına yardım edecek, ekolojik dengeye katkıda bulunmaktadır. Dalga elektrik enerjisi santralleri, deniz üzerinde kurulduğu için tarım arazilerini yok etmeyecektir. Sistemde gürültü kirliliği yoktur. Topografik yapısı uygun olan yerlerde yapılan dalga elektrik santralleri, dalgakıran olarak arkalarında liman oluşturarak deniz ulaşımına katkıda bulunabilmektedir.

5.6. Biyokütle Enerjisi

Biyokütle yakıtları hemen hemen hiç sülfür emisyonları üretmezler ve asit yağmurlarını azaltırlar. Biyokütle yakıtları atmosferik karbonun döngüsünü sağlar, küresel ısınmayı azaltırlar.

Atmosfere salınan CO₂ miktarı, biyokütlenin büyüme süresinde alınan miktarına eşittir. Tam yanma ile yalnız CO₂ ve su buharı çıkışı yapılabilen biyokütle sistemlerinde 1 kW enerji karşılığında ortalama 20-30gr CO₂ çıkışı söz konusudur.

En temiz enerji toplacıları olan rüzgar enerjisi ile fotovoltaik hücreleri için bu değerler 9 ve 80-160 gr/kW'dır. Gaz yakıtlar ve kömür için ortalama 446 ve 995 olan sonuçlarla karşılaştırıldığında ise biyokütle üretimindeki emisyonlara karşın temiz bir yakıt olduğu ortaya çıkmaktadır [Tiuri, 2001 ve www.youthforhab.org.tr].

Biyokütlenin yanmasının sonucu kömüre kıyasla daha az kül oluşur ve külün ortamdan uzaklaştırılması kolay ve ucuz olur, depolanma alanı gereksinimi azalır. Biyokütle külü tarım alanlarında toprak iyileştiricisi olarak kullanılabilir. Kısa dayanıklı enerji bitkileri (otlar ve ağaçlar) geleneksel çiftlik bahçelerine kıyasla daha az yetiştirme ortamı faktörleri ile yetinebilirler. Enerji bitkileri daha az gübreleme ve herbisit uygulaması gerektirirler ve yıl boyunca vejetatif büyüme (ağaç türlerinin kütük ve köklerinden sürgün gelişimi ile büyümesi) sağlarlar, toprak erozyonuna karşı koruma sağlayarak havza kalitesini artırırlar, ayrıca yaban hayatını geliştirirler [Saraçoğlu, 2004]. Örneğin Amerika Birleşik Devletlerinde mevcut 372 biyokütle elektrik enerjisi santralini yılda 7.000 MW üretim düzeyine eriştiği, fosil yakıt dış alımını ve sera gazları emisyonunu azaltma yanında su ve toprak kaynaklarını korumaya yönelik katkılarının kanıtlandığı, bu nedenle de 2020 yılına kadar üretimin 5 kat artırılmasının hedeflendiği, tarım ve ormancılık atıkları yanında enerji tarım ve ormancılığı enerji ürünlerinin artırılması yanında en iyi şekilde ve çok amaçlı olarak değerlendirilmesinin hedeflendiği görülmektedir [Diane, 2000]. 1995-2000 döneminde ABD'nin yenilenebilir enerji tüketimi ortalaması 7.1 katrilyon Btu/yıl olup büyük kısmı elektrik enerjisi olarak tüketilmektedir, bu miktarının %55 kadarını sağlayan hidroelektrik üretimini %38 ile odun ve biyokütle enerjisi izlemektedir [Lawler, 2000].

Domac'ının araştırmasına göre, biyokütlenin elektrik ve ısı üretiminde kullanılmasında 2020 yılında 323.000 işgücü potansiyeli oluşturulurken, 515.000 işgücü yakacak olarak enerji bitkileri ya da orman ve tarımsal atıkların üretiminde çalışabilecektir.

5.7. Biogaz Enerjisi

Bilimsel düzeyde ve uygulamada, çiftlik gübreleri dışında kalan diğer organik atıkların kullanılması konusunda son yıllarda yoğun çalışmalar yapılmıştır. Bu tür materyaller ile çalışmada çevre açısından dikkatli olunmalıdır. Özellikle kesimhane

atıkları ve kentsel atıklar önemlidir. Kimyasal ve biyolojik faktörlerin yanı sıra pH, amonyak konsantrasyonu, organik asitler, toksit maddeler, fermentasyon süresi ve fermentasyon süresi önemli rol oynamaktadır. Mesofil sıcaklık koşullarında (35⁰C) ve 20-25 günlük bekleme sürelerinde hastalık etmenleri büyük oranda inaktif hale gelmektedirler. Termofil koşullarda ise (53 ⁰C ve üstü sıcaklıklar) bu süre birkaç saate inmektedir. Sıcaklığa dayanıklı bazı patojenler için de ek önlemlerin alınması gereklidir. Termofil koşullarda tesislerin yüklenmesinin 24 saatten daha kısa aralıklarla yapılması gerekmektedir [Philipp ve Kuhn, 1998]. Bazı organik atıkların ağır metal içerebileceği göz önüne alınmalı ve biyogaz sonrası metallerin de kompost gibi tarımda gübre olarak kullanılacağı düşünülürse sınır değerlerler aşılmamalıdır.

Biyogaz tesislerinde kullanılan materyalden kaynaklanabilecek biyolojik kirlenmenin önlenmesi için fermentasyondan sonra dezenfeksiyon önerilmektedir. Tüm sıcaklık kademelerinde çalışan tesisler için gerekli olmak üzere materyal küçültülerek kullanılmalıdır ve parçacık büyüklüğü 10 mm'den uzun olmamalıdır [Philipp ve Kuhn, 1998]. Biyogaz teknolojisinin olumlu etkilerinin gerçekleşebilmesi için organik materyalin fermentasyon sırasında %40 oranında parçalanması gereklidir. Azot oksitler karbondioksitten 150 kez daha fazla miktarda ozon tabakasına zarar vermektedir ve çiftlik gübreleri de bu gazların kaynakları arasındadır [Bauwman, 1991]. Kolay parçalanabilir organik bileşiklerden oluşan azot oksit biyogaz fermentasyonundan sonra bu bileşiklerin azalması nedeniyle fermente olmuş gübreden daha az miktarda oluşmaktadır.

6. NÜKLEER ENERJİ

Nükleer enerji, fizyon ya da füzyon yoluyla elde edilen enerjidir. Fizyon; atom çekirdeğinin parçalanması, füzyon; iki küçük çekirdeğin birleştirilmesidir. Nükleer santrallerin reaktör ünitelerinde, nükleer fizyon reaksiyonu güvenli biçimde denetim altına alınmış olarak gerçekleştirilmektedir. Bir nükleer elektrik santralinin reaktörü, uranyum gibi fizyona uygun maddelerden oluşan nükleer yakıtın, çekirdek bölünmesi sonucu açığa çıkan nükleer enerjisini, sürekli-güvenli ve kontrollü biçimde ısı enerjisine dönüştüren bölümüdür. Ortaya çıkan bu enerji suyu kaynatmakta kullanılmakta, termik santrallerde olduğu gibi, buhar türbini ve jeneratör ikilisinden elektrik üretilmektedir [TÜSİAD, 1998].

6.1. Nükleer Enerji Santrallerinin Mevcut Durumu

Büyük boyutlara ulaşan enerji açığını ancak nükleer elektrik santralleri ile (özellikle gelişmekte olan ülkeler için) karşılanabileceği gerekliliğinden, bu enerji kaynağının geliştirilmesi ve yenilenmesi yoluna gidilmiştir. Bugün üçüncü nesil diyebileceğimiz nükleer elektrik santralleri; oldukça geliştirilmiş ve yenilenmiş olması, alternatif enerji kaynakları içersinde bugün için en uygun çözüm olarak kabul edilmektedir. Nükleer teknoloji, dünyanın elektrik gereksinmesinin % 17'sini karşılamının yanı sıra, tıpta ve endüstride kullanılan birçok izotopun üretilmesi ile de insanlığın hizmetindedir. Günümüzde 31 ülke nükleer enerji santralı işletmektedir. Dünya genelinde, 1000'i aşkın ticari, askeri ve araştırma amaçlı nükleer reaktör işletilmektedir [DPT,2001]. Nükleer enerjinin dünyadaki durumuna baktığımızda; Aralık 2000 tarihi ile Eylül 2002 tarihi arasında kurulu bulunan nükleer santral sayısı 438'den 442'ye çıkmıştır. Bu santrallerin net gücü 356746 MWe (MegaWatt-elektrik) ve üretilen enerji 2544 TWh (milyar kW-saat)'dir. İnşa halindeki santrallerin sayısı 35 adet ve bu santrallerin net gücü yaklaşık 27743 MWe olacaktır [IAEA, 2002].

6.2. Nükleer Enerji Eldesinde Kullanılan Hammaddeler

Nükleer enerji eldesinde kullanılan hammaddeler uranyum, toryum ve plutonyumdur. Nükleer enerjinin başlıca hammaddesi olan uranyumun iki izotop tipi

bulunmaktadır. Bulundurdıkları proton ve nötronların toplam sayısını ifade eden uranyum 235 ve uranyum 238. Nükleer enerji üretiminde yakıt olarak uranyumun 235 nolu izotopu kullanılmakta ve 1 kg uranyum235, 141 kg doğal uranyumdan elde edilmektedir. 1 kg uranyum ile üretilen elektrik 16,6 ton taşkömürü ya da 11,1 ton (80 varil) petrolle üretilen elektriğe eşdeğerdir. Diğer bir deyişle, 1 kg kömürden 3 kWh, 1 kg petrolden 4,5 kWh ve 1 kg uranyumdan 50.000 kWh elektrik üretilmektedir [www.dtm.gov.tr].

Dünya uranyum kaynaklarına bakacak olursak [Uranium,2001];

Görünür Uranyum Kaynağı: 3 182 600 tonU

Muhtemel(1) Uranyum Kaynağı: 1 209 760 tonU

Muhtemel(2) Uranyum Kaynağı: 2 332 000 tonU

Dünyadaki tüm uranyum kaynaklarının, bugünkü uranyum tüketimi (yaklaşık 65 000ton/yıl) ile, 200 yılın üzerinde yeteceği öngörülmektedir.

Türkiye’de uranyum kaynakları konusunda yapılan çalışmalarda gerek sahadaki cevher limitlerinin dünyaca kabul edilen ekonomik limitlerin altında olması gerekse de düşük tenör nedeniyle kurulması planlanan sarı pasta üretim tesisinin ekonomik olmaması ve ayrıca uranyumun dünya piyasasındaki durumu (1987 yılında 53.63\$/KgU, günümüzde yaklaşık 25\$/KgU) nedeniyle uranyum rezervlerimizin ekonomik olmadığı belirlenmiştir [Nukem, 2003].

Doğal toryum, tümü radyoaktif olan izotopların bir karışımından oluşur. Özellikle toryum 232, yakın gelecekte nükleer santrallerde geliştirilmekte olan reaktörlerde yakıt olarak kullanılarak, nükleer sanayi için önemli bir enerji elementi olacaktır. Toryum, uranyum gibi doğrudan enerji üretilen bir madde olmamasına karşın, uranyum ve/veya plutonyumla birlikte kullanıldığında, uranyuma göre fazla ve uzun süreli enerji üretme kapasitesine sahiptir. Toryum katkılı yakıtlar, sırf uranyum içeren yakıtlara göre çok daha az miktarda bölünme ürünü (radyoaktif atıklar) çıkartmaktadırlar. Bütün bu avantajlar toryumu nükleer yakıt olarak kullanmak için cazip hale getirmektedir. Ancak bunların yanısıra teknik ve ekonomik bazı zorluklar vardır. Bunların başında halen dünyada işletilmekte olan nükleer güç

reaktörlerinin temel tasarımında bir değişiklik yapmadan toryumun kullanılmasının sağlanması gelmektedir. Bu konuda gerek AB, gerek ABD, Kanada, Kore ve Japonya'nın halen sürdürülen çalışmalarında, temel hedef, mevcut Hafif Sulu Reaktörler (LWR) veya Ağır Sulu Reaktörler (HWR) gibi ticari reaktörlerin yakıt dizaynında bir değişiklik yapmadan toryum-uranyum-plutonyum yakıtlarının etkin olarak kullanılması ve böylece plutonyum stoklarının azaltılmasıdır [UAEA, 1999].

Birçok ülkede yüksek tenörlü maden cevherleriyle geniş rezervler bulunmuş olmasına rağmen dünyadaki toryum kaynaklarının dağılımıyla ilgili mevcut bilgi ve birikim kısıtlıdır. Tablo 6.1'de dünya toryum rezervleri görülmektedir.

Tablo 6.1. Dünya Toryum Rezervleri

Ülke	Rezerv
ABD	160 000
Avusturalya	300 000
Brezilya	16 000
Kanada	100 000
Hindistan	290 000
Malezya	4 500
Norveç	170 000
G. Afrika	35 000
Diğer Ülkeler	90 000
TOPLAM	1 200 000

Kaynak: U.S. Geological Survey,2001.

Türkiye'de toryum kaynakları konusunda yapılan çalışmalar; kompleks cevhere klasik yöntemler uygulandığında toryumun bir fonksiyonda toplanamayacağı, sadece toryumun kazanılmasına yönelik cevher çözündürme işlemleri uygulandığında, toryumun yüksek verimle kazanılabileceği fakat işletme maliyetinin çok yüksek çıkması nedeniyle sahadaki toryumun yan ürün olarak kazanılmasının daha uygun olacağı belirtilmektedir [Kaplan, 1997]. Tespit edilmiş olan ortalama tenörün düşüklüğü ve rezervin kompleks olması durumu toryumun tek başına ekonomik olarak çıkarılabilir olmaktan uzak olduğu sonucunu çıkarmaktadır.

6.3. Nükleer Enerji Santralleri ve Çeşitleri

Bir nükleer santraldeki sistemler konvansiyonel güç santralleri ile aynı mantıkla çalışırlar. Isı enerjisinin üretildiği kısımda elde edilen buharın türbin-jeneratörü döndürerek elektrik üretilmesi felsefesi, temel olarak nükleer santrallerde de aynıdır.

Nükleer santraller ısı üretmek için nükleer reaksiyonu kullandıkları ve bunun sonucunda çevreye salınmaması gereken radyoaktif maddeler ürettikleri için, bazı ek sistemler kullanırlar. Örneğin, bir çok nükleer santralde nükleer yakıtı barındıran yakıt tüpleri arasından ısınarak geçen su, doğrudan türbine gönderilmeyip, türbin için buhar üretilen ikinci bir çevrimi ısıtmak için kullanılır. Bununla ilgili sistemlere Birincil Soğutma Sistemi adı verilir. İkincil sistem ise birincil soğutma sistemindeki ısıyı alarak türbin-jeneratörü döndürmek için gerekli olan buharın üretilmesi için kullanılan sistemdir. Her iki sistem de kapalı birer döngü oluşturmuşlardır. Soğutma sistemi ise ikincil sistem içinde yer alan yoğunlaştırıcıyı soğutmak için kullanılır. Bu sistemde sıcaklığı yoğunlaştırıcıya göre daha az olan, deniz, göl veya ırmaklardaki su kullanılır. Suyun bolca bulunmadığı yörelerde ise bu sistemin içinde soğutma kulelerinden faydalanılır.

Nükleer santraller, birincil sistemlerindeki farklılıklara göre değişik şekillerde adlandırılırlar. Dünyadaki 400 den fazla sayıda nükleer santralin yaklaşık olarak yarısı "basınçlı su reaktörü"dür. Basınçlı su reaktörlerinde, birincil sistem yaklaşık 150 atmosferlik bir basınç altında tutularak, içinde bulunan suyun yüksek sıcaklıklara kaynamadan çıkarılması sağlanmıştır. Buna ek olarak "kaynar sulu", "basınçlı ağır sulu" reaktörler de en çok kullanılan nükleer santral tipleridir.

6.4. Nükleer Enerji Santralleri ve Maliyeti

Günümüzde işletilmekte olan nükleer güç santrallerinin ilk yatırım maliyeti yüksek güvenlik ve kalite anlayışı nedeni ile diğer enerji üretim teknolojilerine göre daha yüksektir. İlk yatırım maliyeti ülkeden ülkeye ve seçilen teknolojiye göre değişmekle birlikte maliyet 1500-3500 \$/kW arasındadır. Nükleer santrallerin fosil yakıtlı santrallerine göre en önemli avantajı yakıt maliyetinin düşüklüğü (0.45

cent/kWsaat) ve üretim maliyetine olan etkisinin görece azlığıdır. Şöyle ki; yakıt maliyetinin iki misline çıkması nükleerde üretim maliyetini %10 etkilerken, aynı durum doğal gaz santrallerinde yaklaşık %60-80 artış getirebilmektedir. Nükleer enerji santralinin üretim maliyetini oluşturan unsurlar aşağıda verilmektedir:

Kapital 2,28 cent/kWsaat % 63

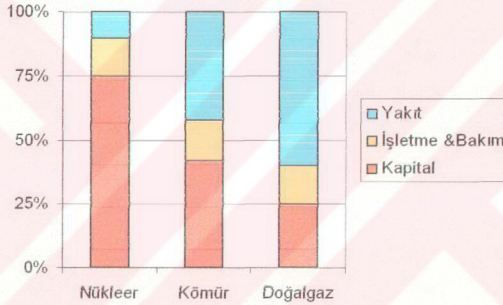
İşletme-bakım 0,90 cent/kWsaat % 25

Yakıt* 0,45 cent/kWsaat % 12

Toplam** 3,63 cent/kWsaat % 100

*Atık depolama ve söküm maliyeti hariç (yaklaşık değer 0,2 cent/kWsaat)

**İşletme sırasında yapılacak olan kapital yatırımı hariç



Şekil 6.1.Nükleer, Kömür ve Kombine Çevrim Gaz Santrallerinin Üretim Maliyetindeki Payları (%10 iskonto oranı ve 25 yıllık süre için).

[Kaynak: Proceedings of European Seminar on Nuclear in a Changing World, 1998].

Nükleer tesislerin ömürleri dolduğunda, tesislerin sökülmesi ve yeşil alana dönüştürülmesi için bazı ülkelerde çalışmalar yapılmaktadır. Örneğin; Almanya'da bazı uygulamalar bulunmaktadır. Nükleer tesislerin Almanya'da işletmeden alınması ve sökülmesi işlemlerinin maliyeti zamanla azalmıştır. Özellikle uzaktan kumandalı sökme teknolojisinin gelişmesi ve maliyetlerin kabul edilebilir düzeye inmesi ile tesis sökülmesi işlemleri eskiye göre daha ucuz olmaktadır. Almanya'da kurulu bulunan standart bir nükleer santralin (1200 MWe) işletmeden alınması, sökülmesi

ve yeşil alana dönüştürülmesinin maliyetinin 400 Milyon Euro olacağı tahmin edilmektedir ve bu rakam santralin ilk yatırım maliyetinin yaklaşık %20'sine karşılık gelmektedir. Fransa'da da benzer şekilde tesis sökme maliyet hesaplamaları yapılmaktadır ve 900 MWe gücündeki bir nükleer santralin işletmeden alma ve sökme maliyetinin 210 Milyon Euro olacağı tahmin edilmektedir ve bu rakamın ilk yatırım maliyeti içindeki payı %15 kadardır.

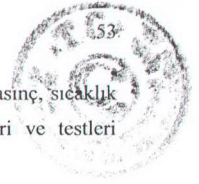
6.5. Nükleer Teknolojide Güvenlik

Nükleer santraller gerek normal çalışma koşullarında, gerekse olası bir kaza durumunda çevreye zarar vermeyecek biçimde tasarlanırlar. Tasarım aşamasında, santralin normal işleyişi esnasında olabilecek her türlü insan ve alet hatasının kazaya neden olmaması için gerekli tüm önlemler alınır. Örneğin reaktöre su sağlayan bir pompa devreden çıkarsa (bozulursa), diğer yedek pompalar bu işlevi yerine getirecektir. Sistemi çalıştıran ani elektrik kayıplarına karşı, elektrik kaynağının çeşitlendirilmesi yoluna gidilmiştir. Buna göre şebeke elektrigiğine ilave olarak, otomatik sisteme giren dizel jeneratörler ile akü sistemleri ayrıca kullanılabilir. Olası bir kaza durumunda yerçekimi etkisinden faydalanılarak sistemi % 100 korumaya alan oluşumlar mevcuttur. En önemlileri, nötron yutucu kontrol çubuklarının basınçlı su reaktörlerinde yerçekimi etkisiyle aşağı düşerek reaktördeki fizyonu durdurması veya reaktör basınç kabından belli bir yükseklikteki su rezervinin, yine yerçekimi etkisiyle soğutma suyunu sağlamasıdır. Fizyon olayını durduracak daha değişik kontrol sistemleri de vardır. Örneğin, nötron yutucu özelliği olan boronlu suyun reaktöre basılması ve fizyon olayının durdurulması sağlanır.

Nükleer santrallerde fizyon sonucu açığa çıkan radyoaktif maddelerin ve radyasyonun çevreye ulaşabilmesi için, aşması gereken içiçe pek çok engel mevcuttur. Bunlar en içten dışı doğru sıralanırsa:

Yakıt: Nükleer yakıtların seramik yapıda oluşları nedeniyle radyoaktif maddelerin sadece % 1 yakıttan dışarı çıkabilir.

Yakıt Zarfı: Nükleer yakıt elemanları zirkonyum alaşımından yapılmış iki ucu kapalı silindirik bir boru içersindedir. Bu borular aşınmaya karşı çok dayanıklı olup radyoaktif maddelerin soğutucuya geçmesini engeller.



Reaktör Kabı (Kalbi): Paslanmaz çelikten imal edilen bu kap; basınç, sıcaklık ve radyoaktiviteye karşı oldukça dayanıklıdır. Dizaynları, üretimleri ve testleri titizlikle yapılır.

Beton Zırh: Reaktörün en dışında, biyolojik kalkan görevi yapan 120 cm kalınlıkta betondan yapılmış zırhtır. Dışarıya radyasyon çıkmamasını garanti altına alır.

Birinci ve İkinci Koruma Kabuğu: Birinci yapı çelikten imal edilmiştir, santralin nükleerle ilgili tüm parçaları bunun içersinde yer alır. İkinci yapı ise betonarme olup 1,5-2 metre kalınlığında son koruyucu bariyerdir. Her iki koruma kabuğu da reaktörü olası bir kaza durumunda radyoaktif sızıntıların çevreye ulaşmasına engel olur. Ayrıca uçak düşmesi, füze saldırıları gibi dış etkilere reaktör ekipmanlarının korunmasını sağlamış olurlar.

Nükleer santrallerin yapımında diğer önemli husus, santralin yapılacağı yerin seçilmesidir. Yer seçiminde en önemli kriter, reaktörün yapılacağı bölgenin sismik ve meteorolojik özellikleridir. Sismik özellik denilince meydana gelebilecek bir depremde, santrale ne kadarlık bir ivmeyle kuvvet uygulanacağını göstermesi açısından önemlidir. Nükleer santral genelde santral sahasından yaklaşık 60 km uzaklıkta Richter ölçeğine göre 8 ve santral yerinin 30 km derinliğinde Richter ölçeğine göre 6,5 büyüklüğünde meydana gelebilecek depremlere karşı önlem alınabilecek tasarımı yapılır. Meteorolojik olaylar da (hortum, tayfun, sel gibi doğal afetler) göz önüne alınarak tasarımda dikkate alınır [TAEK, 2000].

6.6. Nükleer Santral Kazaları

Bugüne kadar çevreye zarar verebilecek özellikte 3 nükleer santral kazası olmuştur: 1) 1957 yılında İskoçya'da meydana gelen *Windscale* kazası; bu kazada reaktörün civarına bir miktar radyasyon yayılmakla beraber ölümler veya akut radyasyon hastalığıyla sonuçlanan bir olay meydana gelmemiştir. 2) 1979 yılında ABD'de meydana gelen *Three Mile Island* kazası; normal bir işletim arızası, ekipman kaybı ve operatör hatası ile kazaya dönüşmüş, ancak kısmi reaktör kalbi ergimesi meydana gelmesine rağmen reaktörü çevreleyen beton koruyucu kabuğu sayesinde çevreye ciddi bir radyasyon sızıntısı olmamıştır. 3) 1986 yılında Ukrayna'da

meydana gelen Çernobil kazası; bu kaza insan ölümüne neden olmuş tek ticari nükleer santral kazasıdır. Kaza, reaktör güvenliği ile ilgili bir test sırasında gerçekleşmişti. Yapılan test, bu tür reaktörlerin kararlı çalışmadığı çok düşük güç seviyesindeydi ve bu seviyede reaktörün güvenlik sistemlerinin devreye girmemesi için, sorumlu operatörler, normalde yapmamaları gerektiği halde acil durum kapama sistemini devre dışı bırakmışlardı. Deney sırasında kalp içi sıcaklıklar güvenli seviyenin üstüne çıktığında ise reaktörü kapatacak ve soğutma sağlayacak sistemler devre dışındaydı. Bu affedilmez hata, buhar basıncının artmasına ve bu yüzden oluşan buhar patlamasıyla birlikte çatının çökmesine yol açtı. Böylece, reaktör içindeki sıcak grafit direk olarak atmosferle temas eder hale geldi. Havada bulunan oksijenle reaksiyona giren grafitin yanmasıyla reaktör kalbi bütünlüğünü kaybetti ve bu tür Rus reaktörlerinde (RMBK-1000) koruma kabuğunun da olmaması nedeniyle, radyoaktif maddeler dışarı salındı. 35 kişi kaza nedeniyle hayatlarını kaybettiler. Uzun dönemde de binlerce insan üzerinde olumsuz etkileri görülmeye devam etmektedir.

6.7. Nükleer Enerjinin Alternatif Kullanım Alanları

Her ne kadar nükleer enerjiden sağlanan ısıнын endüstriyel uygulama alanı genişse de, dünya gidişatına baktığımızda nükleer reaktörlerin elektrik üretimi haricinde kullanımı bağlamında hidrojen üretimi ve tuzlu sudan tatlı su üretimi iki ana başlık olarak öne çıkmaktadır.

6.7.1 Hidrojen Üretimi

Özellikle hidrojen üretimi konusu; bor madenlerimizin değerlendirilmesi bağlamında çok önemlidir. Borun taşıyıcı olarak enerji üretiminde kullanılması için öncelikle hidrojen üretimi gerekmektedir. Hidrojen üretiminin bilinen en uygun tekniklerin birisi de nükleer reaktörlerin kullanılması ile buhar üretimi yoluyla. "buhar-metan yeniden oluşturma" yönteminin kullanılmasıdır. Bu yöntem, günümüzde hidrojen üretimi için en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Bu üretim biçimi iki adımdan oluşmaktadır. Birinci adımda doğal gaz yüksek sıcaklıkta (392 °C) buhara tabi tutularak hidrojen, karbonmonoksit ve karbondioksit elde edilir.

İkinci adımda ise karbonmonoksit buhara tabi tutularak ilave hidrojen ve karbondioksit elde edilir.

6.7.2. Tuzlu Sudan Tatlı Su Üretimi

Son on yılda, nükleer enerjinin içilebilir su elde etme amaçlı kullanımına olan ilgi artmaktadır. Bu ilgi, nükleer enerjinin ekonomik rekabet kabiliyetinden enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesine, sınırlı fosil yakıt kaynakların korunmasından çevre korunmasına ve nükleer teknolojinin endüstriyel gelişmedeki yeri gibi çok çeşitli nedenlerden kaynaklanmaktadır.

1989 yılından beri ilgili üye ülkelerin katılımı ile sürdürülen UAEA fizibilite çalışmaları, su sıkıntısı çeken birçok ülkede deniz suyunun nükleer teknolojinin kullanımı ile arıtılmasının hem teknik hem de ekonomik olarak uygulanabilir olduğunu göstermiştir. Bazı üye ülkeler, perspektifleri doğrultusunda, nükleer arıtma konusunda prototip programlar başlatmış, bazıları da bu doğrultuda planlama yapmaktadır. Halen kullanımda veya geliştirilmekte olan çeşitli reaktör tipleri için nükleer arıtma amacı yavaş yavaş ağırlık kazanmaktadır. Halen nükleer teknolojinin kullanımı ile deniz suyundan içilebilir su elde etme alanındaki geliştirme çalışmaları; Çin, Hindistan, Kore Cumhuriyeti, Fas ve Rusya Federasyonu'nda sürdürülmektedir. Japonya'daki tüm reaktörler deniz kıyısında kurulmuş olup, Kansai, Shikoku ile Kyushu elektrik şirketlerine ait bazı nükleer güç santrallerinde, tesislerin bulunduğu sahadaki içilebilir su ihtiyacı ve buhar üreteçlerine besleme suyunu sağlamak üzere nükleer tesiste üretilen ısı ve/veya elektrik enerjisi kullanan deniz suyu arıtma sistemleri mevcuttur. Bu arıtma tesislerinin kapasitesi 1000-3000 m³/gün arasındadır. UAEA çalışmaları için yapılan ekonomik analizler, su üretim maliyetinin hem nükleer hem de fosil yakıtlı santraller için aynı seviyelerde olduğunu göstermektedir [www.taek.gov.tr].

Bu bahsedilen alanlardan başka nükleer reaktörler, tıp ve endüstride kullanılan yararlı radyoizotopların üretilmesinde de kullanılırlar. Kanser tedavisinde, boru kaynaklarının tahribatsız muayenesinde kullanılan Kobalt-60, Tiroid bozukluklarının teşhis ve tedavisinde kullanılan İyot-131, doktorların vücut içini görme amacıyla kullandıkları çeşitli tarayıcı cihazlarda kullanılan Teknesyum-99, akciğer havalanmasının ve kan akışının ölçülmesinde yararlanılan Ksenon-133, bu izotoplara

örnek olarak verilebilir. Nükleer santrallarda elde edilen fazla enerji ise, ev ve seraların ısıtılması ve petrol üretimi gibi alanlarda kullanılmaktadır.

6.8. Nükleer Enerjinin Çevresel Boyutu

Nükleer santrallerin çevre ve insana zarar verebilecek şekilde kaza yapma riski, günümüzde kullandığımız diğer teknolojik sistem ve ürünlere göre, yok denecek kadar azdır. Bir nükleer santralin çevresinde yaşayan insanlara yüklediği yıllık doz doğal radyasyonun çok altındadır. Günümüzde doğal kaynaklar dışında insan yapımı radyoaktif maddelerden de radyasyon alınmaktadır. Örneğin, x ışınları TV, radyoaktif serpintiler ve çeşitli malzemeler gibi. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan ortalama etkin doz 2,4 mSv/yıl ($\text{mSv}=0,0001 \text{ Sievert}=0,1 \text{ rem}$) civarındadır. Normal işletme şartlarındaki bir nükleer güç santralının toplam doza katkısı 0,01 - 0,001 mSv/yıl arasındadır ve yıllık çevresel radyasyon dozu ise, 1/100 ve 1/300 arasında olmaktadır (Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi'nin belirlediği kabul sınır değerleri).

Nükleer güç santralleri işletme sırasında atmosfere kirletici gazlar salmazlar. Fosil yakıt kullanımında ise sera etkisine sebebiyet veren karbondioksit (CO_2) iklim değişikliği üzerinde etkiler yaparken diğer emisyonların etkileri bölgeseldir. Özellikle fosil yakıtların yanmasından çevreye ve insan sağlığı açısından çok daha vahim sonuçları olan kükürtdioksit (SO_2) ve azot oksitler (NO_x) asit yağmurlarına yol açarak, göllerdeki doğal yaşamı tehdit etmekte, ormanları ve tarım alanlarının tahrip edebilmektedir. Bu tür emisyonları en az salan enerji kaynakları yenilenebilir enerji kaynakları ve nükleer enerjidir. Eğer şu an dünyada kurulu bulunan 442 adet nükleer santral yerine, aynı gücü üreten kömürle çalışan termik santraller olsaydı, her yıl dünya atmosferine 2300 milyon ton CO_2 , 42 milyon ton SO_2 , 9 milyon ton NO_x ve 210 milyon ton kül daha fazla olarak atılmış olacaktı [TAEK, 2000]. 1000 MWe gücüne sahip bir kömür santralının yıllık yakıt, atık ve emisyon miktarlarının, aynı güçteki bir nükleer santralının miktarlarıyla karşılaştırılması Tablo 6.2'de verilmiştir.

Tablo 6.2. 1000 MWe Gücündeki Nükleer ve Kömür Santrallerinin Yıllık Karşılaştırılması

Yakıt, Atık ve Emisyonlar	Nükleer	Kömür
Yakıt (Tüketilen miktar)	27 ton	2.6 milyon ton
Kullanılmış Yakıt (Yüksek Radyoaktiviteli Atık)	27 ton	-
Yüksek Radyoaktiviteli Atık	3-5 m ³	-
Orta ve Düşük Radyoaktiviteli Atık	800 ton	-
CO ₂	-	6.5 milyon ton
Kül	-	300 000 ton
SO ₂	-	20 000ton
NO _x	-	4 000 ton
Ağır Metal	-	400 ton

Kaynak: IAEA, 1998

2020 yılına yönelik tahminlerde, enerji talebi % 65 artarken, CO₂ emisyonunun da aynı paralelde (yaklaşık % 65) artacağı öngörülmektedir. Kyoto Protokolü şartları gözönüne alındığında ve bunun sonucunda fosil kaynaklara olan bağımlılığın azaltılması gereği düşünüldüğünde, nükleer enerjiye olan talep gelecek yirmi yılda, ciddi bir şekilde artma eğilimine girecektir. Kyoto Protokolü global CO₂ emisyonunu, 2008-2012 yılları arasında 1990 yılı değerinin % 5,2 altına indirmeyi hedeflemektedir. Ayrıca CO₂ emisyon vergisi de gündemdedir ve söz konusu vergilendirme nükleer santralleri, üretim maliyeti açısından, kömürle çalışan termik santrallere göre daha cazip hale getirecektir [TAEK,2000].

Her enerji alternatifinde olduğu gibi nükleer enerji üretiminde de atık problemi söz konusudur. Nükleer sektör son yıllarda atık teknolojisinde önemli gelişmeler kaydetmiştir ve modern radyoaktif atık depolama teknolojileri, oldukça yüksek güvenlik kriterlerini sağlamaktadır.

Nükleer atıklar genel olarak düşük, orta ve yüksek seviyeli atıklar olarak sınıflandırılır. 1000 MWe gücünde, % 75 yük faktörü ile çalışan ve yılda 6,6 milyar kWh enerji üreten bir nükleer güç santrali için yıllık radyoaktif atık miktarları:

Düşük seviyeli radyoaktif atık 460 ton, Orta seviyeli radyoaktif atık 310 ton, Yüksek seviyeli radyoaktif atık, kullanılmış yakıt 27 ton (3 m^3)'dur.

Düşük ve orta seviyeli atıklar kolayca yeraltında veya yer üstünde saklanabilmektedir. Bunlar santralde kullanılan plastik kutular, eldivenler, filtreler vb., endüstride kullanılan atıklar, tıpta kullanılan radyoaktif maddelerden oluşurlar. Kullanılmış yüksek seviyeli atıklar olarak bilinen yakıtlar, reaktörden çıkarıldıktan sonra içersindeki radyasyon miktarının çok düşük düzeye inmesi için reaktör binası içersindeki havuzlarda uzun müddet bekletilir. Yaklaşık on yıl sonunda kullanılmış yakıtlar % 99 oranında radyoaktivitelerini kaybederler. Geriye çok uzun yarı ömürlü izotopların (çekirdeğindeki proton sayısı aynı, nötron sayısı farklı atomlar) yer aldığı bu yüksek seviyeli radyoaktif atıklar camlaştırılarak korozyona dayanıklı kaplar (3 mm çelik, 100 mm kurşun ve 6 mm titanyum) içersinde derin jeolojik yapılar (deniz dibi, yeraltı sularının bulunmadığını gösteren tuz yatakları, kristal veya sediment kayalar) içersinde izole edilirler. Ayrıca atık depolama ile ilgili, ayrıştırma/dönüştürme seçeneği ise son zamanlarda araştırma aşamasındadır [Rogner, 2000; TAEK ,2000].

7. HİDROJEN ENERJİSİ

Dünya için büyük tehlike arz eden fosil yakıtların yanma ürünlerinin sera etkisi, ozon tabakasında delinme, asit yağmurları ve kirlilik gibi global problemlere yolaçmasının çözümü için Hidrojen Enerji Sistemi'nin mevcut yakıt sistemlerinin yerine geçirilmesi gerekmektedir. Hidrojen çok verimli ve temiz bir yakıttır. Yandığında sera gazları, ozon tabakasına zarar veren kimyasallar, asit yağmuru ögeleri ve kirlilik üretmez. Yenilenebilir enerji kaynaklarından (güneş vs.) üretilen hidrojen, sürekli enerji sistemi sağlayacaktır [Veziroğlu ve Noyan, 2003].

Hidrojen bir doğal yakıt olmayıp, birincil enerji kaynaklarından yararlanılarak su, fosil yakıtlar ve biyokütle gibi değişik hammaddelerden üretilen sentetik bir yakıttır [Tezcan Ün, 2003].

Birincil enerji kaynaklarının dönüştürülmesi ile elde edilen ikincil enerjilere, "enerji taşıyıcısı" da denir. Hidrojen 21. yüzyıla damgasını vuracak bir enerji taşıyıcısıdır. Kolayca ve güvenli olarak her yere taşınabilen, taşınmasında çok az enerji kaybı olan, her yerde (sanayide, evlerde ve taşıtlarda) kullanılabilen, tükenmez, temiz, kolaylıkla ısı, elektrik ve mekanik enerjiye dönüşebilen, karbon içermeyen, ekonomik ve hafif olan hidrojenin yalnız 21. yüzyılın değil, güneş ömrü olarak kestirilen gelecek 5 milyar yılın da yakıtı olacağı söylenebilir [Eral, 1998].

Hidrojenin kullanılmasını gerektiren başlıca iki neden olup, biri fosil yakıtların yanma emisyonu karbon dioksitin artmasından kaynaklanan, global ısınmaya neden olan çevre sorunu, diğeri petrol ve doğal gaz gibi akışkan hidrokarbonların bilinen üretilen rezerv ömürlerinin insan ömrü ile kıyaslanabilecek boyuta düşmüş olmasıdır [Ültanır, 1997].

Hidrojen; taşıma, ısıtma ve güç üretimindeki yüksek verimliliklerinden dolayı, nitelikli bir enerji kaynağıdır. Hidrojen, elektrik kullanımının zor olduğu ve yüksek enerji gereken alanlarda kullanılabilir. Hidrojen "sıfır atıklı araçlar" için kullanıldığında önemli bir yer tutabilir. Hidrojen yakıt hücreli araçlar, hidrojen depolu sistemlerin daha az yer kaplaması, hafifliği ve ucuzluğundan dolayı, elektrik bataryalı sistemlere göre daha avantajlı olabilir ve çok kısa bir sürede yeniden yakıtı

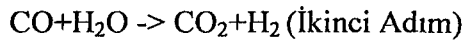
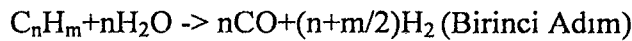
dönüştürülebilir; hele bataryaların saatler süren yeniden dolma işlemleriyle kıyaslanırsa. Hidrojen, küresel ölçekte büyük oranda düşük sera gazı yayabilir ve az bir yerel kirlenme üretebilir. Hidrojen, çok değişik mevcut yenilenebilir kaynaklardan (rüzgar, güneş ya da hidroelektrik ile beslenen) su elektrolizi teknolojisi yada yenilenebilir olarak artan biokütle gazlaştırılmasından üretilir. Kısacası; hidrojen, yaygın olarak kullanılan fosil yakıtların yerini alabilecek büyük bir yenilenebilir enerji kaynağı olabilir [Arioğlu, 2002]

7.1. Hidrojen Üretim Yöntemleri

Hidrojen evrenin en bol elementi olmasına rağmen atmosferdeki derişimi milyonda birden daha da azdır. Hidrojenin çoğu kimyasal bileşiklere bağlıdır. Bu nedenle büyük ölçekli kullanım için hidrojen bitkiler, su, kömür veya doğal gaz gibi kaynaklardan özütlenmektedir. Özütleme sürecinde önemli miktarda enerji tüketildiğinden, hidrojen enerji kaynağı olmaktan çok bir enerji taşıyıcısı olarak düşünülmektedir. Aslında hidrojen kullanımı sonucunda açığa çıkan enerji üretimi sırasında yatırılan enerjidir. Bu nedenle hidrojenin nasıl üretildiği büyük önem taşımaktadır [Dinçer, 2002].

Buhar-metan yeniden oluşturma yöntemi: Günümüzde hidrojen üretimi için en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Bu üretim biçimi iki adımdan oluşmaktadır. Birinci adımda doğal gaz yüksek sıcaklıkta (392 °C) buhara tabi tutularak hidrojen, karbonmonoksit ve karbondioksit elde edilir. İkinci adımda ise karbonmonoksit buhara tabi tutularak ilave hidrojen ve karbondioksit elde edilir. Hidrojen üretmek için en verimli yöntem bu yöntemdir ve hidrojen ürün miktarı %70-%90 arasında olur [TAEK, 2004].

Uygulanan prosesin kimyasal formülü aşağıda verilmiştir:



Elektroliz yöntemi: Su moleküllerine elektrik şarjı uygulanarak hidrojen ve oksijen atomlarının bağlarının kopması sağlanır. Oluşan yüklü parçacıklardan

hidrojen iyonu pozitif elektrik yüküne sahiptir ve negatif elektrotta toplanır oksijen ise negatif yüke sahip olduğundan pozitif elektrota doğru hareket eder. Suyun içine eklenen tuz gibi elektrolitler iletkenliği ve dolayısıyla prosesin verimliliğini arttırırlar. 25 °C sıcaklık ve 1 atm basınçta saf su içerisindeki hidrojen ve oksijeni ayırmak için gerekli gerilim 1,24 Volttur. Bir mol suyun elektrolizi için gerekli en düşük enerji miktarı 65,3 watt-saat ve bir m³ hidrojen üretmek için gerekli en düşük enerji miktarı 4,8 kWh'tir [TAEK, 2004].

Buhar elektrolizi yöntemi: Geleneksel elektroliz yönteminin bir çeşitlemesidir. Bu yöntemde, suyun ayrıştırılması için gerekli enerjinin bir kısmı sisteme ısı enerjisi olarak verilerek verim yükseltilir. 2.500 °C sıcaklıkta suyun içerisindeki hidrojen ve oksijen serbest hale geçer. Buradaki problem sistemin çalıştığı yüksek sıcaklıkta hidrojen ve oksijenin yeniden birleşmesinin önlenmesidir [TAEK, 2004].

Termo-kimyasal ayrıştırma yöntemi: İyot yada brom gibi bazı kimyasallar kullanılarak ısı yardımıyla su moleküllerinin parçalanması sağlanır [TAEK, 2004].

Foto-elektrokimyasal yöntem: Bu yöntemde hidrojen üretmek için iki elektro kimyasal sistem kullanılır. Bunlardan birisi katalizör olarak çözünebilir metal bileşikleri kullanırken diğeri yarı iletken yüzeylerinden faydalanır. Çözünebilir metal bileşiğinin çözülmesi sırasında bileşik, güneş enerjisini soğurarak bir elektrik şarjı oluşturur ve su moleküllerinin parçalanmasını sağlar. Bu proses fotosentez olayını taklit etmektedir. Diğer yöntemde ise yarı iletken elektrotlar bir fotokimyasal pil içerisinde optik enerjiyi kimyasal enerjiye çevirirler yarı iletken yüzeyi iki amaca birden hizmet eder, bir taraftan güneş enerjisini soğururken diğer taraftan elektrot olarak çalışır [TAEK, 2004].

Biyo-kütle Gazifikasyonu ve Pirolizi: Biyo-kütlenin yüksek sıcaklıkta gazifikasyonu ve düşük sıcaklıkta pirolizi ile hidrojen üretilir [TAEK, 2004].

Foto-Biyolojik: Bazı bakteriler ve algler güneş enerjisinden faydalanarak hidrojen üretirler. Mühendislik sistemleri ve katalizörler kullanılarak verimin %24'e kadar çıkartılabileceği düşünülmektedir [TAEK, 2004].

Radyoliz: Bu metotta nükleer reaktörde üretilen yüksek enerjili partiküllerin çarpışması ile su molekülleri parçalanır. Üretilen hidrojen ve oksijen atomları tekrar su oluşturmak üzere çok çabuk bir araya geldikleri için radyoliz verimi %1 civarındadır [Dincer, 2002].

7.2. Hidrojen Enerjisinin Ekonomisi

Hidrojen diğer yakıtlara göre pahalıdır. Ancak teknolojik ilerlemeler ile maliyet düşürülürse uzun dönemde hidrojen pazarda önemli rol oynayacaktır. Fosil yakıt, ısı ve elektrik kullanılarak hidrojenin elde edildiği yöntemlerde petrol veya kömürün fiyatının artması hidrojen fiyatını da yukarı çekecektir. Bu nedenle fosil yakıtların fiyatlarının artması fosil kaynaklı hidrojeni ticari olarak rekabet edebilir duruma getirmeyecektir [Dinçer, 2002].

Hidrojen diğer yakıtlara göre pahalı olmasına rağmen uzun dönemde teknolojik ilerlemelerle enerji kullanımında önemli rol oynayacaktır. Pazarın bölgesine ve boyutuna bağlı olarak hidrojenin kg başına maliyeti 2,35-7\$ arasındadır. Ancak bu maliyet göreceli olup, hidrojen çağına adım atılmakla hızlı düşüşü beklenmektedir. Çevresel zararlar ve yüksek kullanma verimi dikkate alındığında solar hidrojen enerji sistemleri en düşük etkin maliyete sahiptir. İklim değişikliğinin ölçülemez maliyeti dikkate alınmaksızın dış maliyetler dahil edilirse hidrojen enerjisi, hidrokarbon enerji maliyetinden 2,9 kat yüksektir. [Tezcan Ün, 2003].

Hidrojen ekonomisinin gerçek bir değerlendirilmesi kirlilik önleme/ortadan kaldırma ve kirleticilerin etki maliyetleri olan dış maliyetler dikkate alınarak yapılabilir. Fosil yakıtların neden olduğu kirleticilerin iklim değişikliğine etkisinin maliyeti ölçülemez ve nümerik olarak hesap edilemez [Momirlan ve Veziroğlu, 2002].

7.3. Hidrojen Depolama

Gerek sabit gerekse taşınabilir uygulamalar için hidrojenin etkin ve güvenilir tarzda depolanabilmesi gereklidir. Taşınabilir uygulamalarda ilave olarak depolamada hafiflik önem kazanmaktadır.

Hidrojen gaz veya sıvı olarak saf halde tanklarda depolanabileceği gibi, fiziksel olarak nano tüplerde veya kimyasal olarak hidrür şeklinde depolanabilmektedir. Hidrür şeklinde depolama; katı halde metallerde ve alanatlarda olabileceği gibi, sodyum bor bileşiğinde olduğu gibi sıvı halde de olabilmektedir [Güvendiren ve Öztürk, 2003].

Tanklarda Depolama:

Hidrojenin kullanılabilmesi için büyük ölçekli, güvenli ve pratik depolama yöntemlerinin geliştirilmesi gereklidir. Hidrojen sıvı olarak depolanabilmesine rağmen, -253°C sıcaklığa kadar soğutulması gerektiğinden bu zor bir işlemdir. Soğutma işlemi hidrojenin depoladığı enerjinin %25-%30'u kadar enerjiye mal olur ve sıvılaştırılmış hidrojenin depolanması özel yöntemleri ve malzemeleri gerektirir. 1 kg hidrojenin soğutulması yaklaşık 10 kWh elektrik enerjisi gerektirir [Anonim]. Gaz halinde depolama durumunda nispeten düşük olan hacimsel yoğunluğu artırmanın bir yöntemi gazın daha düşük sıcaklıkta, örneğin sıvı azot sıcaklığında veya iyice soğutulması ile (-253°C) sıvı olarak depolanmasıdır. Ancak sıvılaştırma için gerekli enerji küçümsenmeyecek düzeydedir, hidrojenden sağlanacak enerjinin yaklaşık 1/4'ü kadardır [Güvendiren ve Öztürk, 2003].

Hidrojen diğer gazlarda olduğu gibi uygun nitelikli tanklarda gaz veya sıvı olarak depolanabilmektedir. Nitekim otomotiv firmalarınca geliştirilen araçların büyük çoğunluğu hidrojenin tanklarda depolanmasını esas almaktadır [Güvendiren ve Öztürk, 2003].

Etkin depolama 150 atmosfer veya daha yüksek basınç değerlerini gerektirmekte, bir taraftan yüksek basınç diğer taraftan tankın hafif olma gerekliliği tank tasarımı açısından zorlayıcı olmaktadır [Güvendiren ve Öztürk, 2003].

Nanotüplerde Depolama:

Hidrojen karbon nanotüplerde de depolanabilmektedir [Darkrim et al. , 2002]. Karbon nanotüpler kısaca grafit tabakaların tüp şekline dönüşmüş halidir. Çapları birkaç nanometre veya 10-20 nanometre mertebesinde, boyları ise mikron civarındadır. Nanotüpler tek-duvarlı olarak üretilebileceği gibi çok-duvarlı tüplerde

üretilebilmektedir. Çeşitli ilavelerle oluşturulan, örneğin alkali-ilaveli (Li-K), nanotüpler de mevcuttur [Hirscher et al., 2002].

Hidrojen, nanotüplerde iki şekilde depolanabilmektedir. Zayıf -van der Waals etkileşimi- sonucu oluşan (fiziksel) depolama ile depolanan hidrojen geri alınabilmekte ve sisteme tekrar aynı miktarda hidrojen yüklenebilmektedir. Kovalent bağların oluşumu ile (kimyasal olarak) depolanan hidrojen ise ancak çok yüksek sıcaklıklarda geri alınabileceği için faydalı kapasite dışındadır [Atkinson et al., 2001].

Bor Esaslı Depolama

Bor esaslı sistemler ana olarak sodyum bor hidrürü esas almaktadır. NaBH_4 , katı halde ağırlıkça %10,5 hidrojen içermektedir. Hidrür yaklaşık 500 °C kadar kararlılığını muhafaza etmektedir. Alanatlarda olduğu gibi sodyum bor hidrür karbon ile öğütülmüş ancak reaksiyon sıcaklığında belirgin bir düşme görülmemiştir. Mg ilavesi ile yapılan öğütmede sadece Mg'nin beklenen sıcaklıklarda hidrojen depoladığı, bor esaslı bileşenin ise reaksiyona girmediği, tespit edilmiştir [Güvendiren ve Öztürk, 2003].

7.4. Hidrojen Enerjisi Güvenilirliği ve Kullanım Alanları

Yakıtlar mukayese edilirken, son kullanıcıdaki kullanım verimliliğinin hesaba katılması önemlidir. Kullanıcı tarafından kullanılmak için, yakıtlar ısı, mekanik ve elektrik enerjisine dönüştürülürler. Çalışmalar göstermektedir ki, neredeyse her kullanım durumunda hidrojen, istenen enerji şekline diğer yakıtlara göre çok daha verimli şekilde dönüştürülebilmektedir [Barbir, et al., 1990].

Hidrojen diğer yakıtlardan farklı güvenlik donanımı ve prosedürü gerektirse de onlardan daha fazla tehlikeli değildir. Dünyada hidrojen zaten petrol ve kimya endüstrisinde veya başka yerlerde güvenle kullanılmaktadır. Hidrojen güvenlik sıralamasında propan ve metanın (doğal gaz) arasındadır [Dinçer, 2002].

Yakıtların güvenlik özellikleri bir yandan toksisiteleriyle, diğer yandan da yangında verdikleri zararın özellikleriyle ilgilidir. Yanma ürünlerinin toksisitesine ilaveten, yakıtların kendi kendisi de toksik olabilir. Karbon/ hidrojen oranı artıkcça toksisite artar. Hidrojen ve hidrojenin ana yanma ürünü olan su ve su buharı ise toksik değildir. Hidrojenin alevli yanması sırasında meydana gelen NO_x 'in toksik etkisi vardır [Veziroğlu ve Noyan, 2003].

Ulaşımnda, endüstride ve evlerde hidrojen kullanımı aslında sanıldığı kadar yeni değildir. Dünyanın pek çok yerinde hala evlerde kullanılmakta olan havagazı aslında hidrojen ve karbonmonoksidin bir karışımıdır. Zeplin ve bazı balonlar gibi hava taşıtlarında hidrojen kullanılmıştır. Sanayide petrolün rafine edilmesinde, amonyak ve metanol üretiminde, metalürji ve gıda sektörlerinde kullanılmaktadır. Uzak mekiğinin roketlerinin yakıtı da hidrojendir [Anonim].

Yakıt pilleri, hidrojenden enerji elde edilmesi için geliştirilen bir teknolojidir. Yakıt pillerinde elektroliz prosesi tersine çevrilerek hidrojenle oksijen elektro kimyasal bir prosesle birleştirilir. Bunun sonucunda elektrik, su ve ısı açığa çıkar. ABD'nin uzay programında uzay araçlarına enerji sağlamak için onlarca yıldır yakıt pilleri kullanılmaktadır. Otomobil ve otobüsleri çalıştıracak güçte yakıt pilleri geliştirilmiştir ve geliştirilmeye devam edilmektedir. Çeşitli şirketler yerleşik enerji üretimi için yakıt pilleri geliştirmek üzere çalışmalar yapmaktadır.

7.4. Hidrojen Enerjisi Çevresel Etkisi

Hidrojen kullanımı çok temiz bir yakıttır. Hidrojenin yanması veya yakıt hücresinde tüketilmesi sonucu son ürün olarak sadece su üretilir. Yanma yüksek sıcaklıkta olursa havadaki azot ve oksijenden NO_x oluşabilir. Ancak bu sorun diğer yakıtlarla aynıdır ve kontrol edilebilir. Diğer yakıtların aksine hidrojen elementlerden üretilen kirletici içermez. Bu nedenle de SO_2 , CO, CO_2 , uçucu organik kimyasallar oluşmaz [Dinçer, 2002]. Tablo 7.1.'de farklı enerji sistemlerinden üretilen kirleticilerin miktarları görülmektedir. Hidrojen kullanımı sonucunda sadece su oluştuğundan çevresel ve iklimsel kalite iyileşecektir. Ancak bu iyileşmelerin olabilmesi için hidrojen kullanımına bir an önce geçilmesi gerekmektedir.

Tablo 7.1. Enerji Sistemlerinde Üretilen Kirletici Miktarları

Kirletici	Fosil Yakıt Sistemi (kg/GJ)	Kömür/Sentetik Fosil Sistem (kg/GJ)	Solar-Hidrojen Sistemi (kg/GJ)
CO ₂	72,40	100,00	0
CO	0,80	0,65	0
SO ₂	0,38	0,50	0
NO _x	0,34	0,32	0,10
HC	0,20	0,12	0
Partikül Madde	0,09	0,14	0

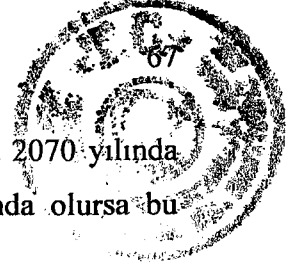
Kaynak: Tezcan Ün, 2002.

Türkiye'de hidrojen üretiminde kullanılabilecek kaynaklar; hidrolik enerji, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, deniz-dalgı enerjisi, jeotermal enerji ve nükleer enerjidir. Türkiye gibi gelişme sürecinde ve teknolojik geçiş aşamasındaki ülkeler açısından, uzun dönemde fotovoltak güneş-hidrojen sistemi uygun görülebilir[Anonim, 2005].

Hidrojenin fosil yakıt kullanarak buhar iyileştirme ile üretilirse oluşacak karbondioksit miktarı fosil yakıt direkt yakıldığında oluşacak emisyon miktarından yüksektir. Ayrıca buhar iyileştirmede kükürt gibi fosil yakıtın içerdiği safsızlıklarda kirletici emisyonu neden olmaktadır. Elektroliz yöntemi kullanıldığında ise elektroliz işleminin sürebilmesi için gerekli elektriğin ne şekilde temin edildiği önem taşımaktadır. Hidrojenin biyokütleden, solar enerjiden veya diğeryenilenebilir kaynaklardan üretimi emisyon miktarını azaltır [Dincer, 2002].

Hidrojen, özellikle kloroflorakarbonların sebep olduğu ozon tabakasına zarar vermez. Hidrojenin hibritlenme özelliğine dayanan soğutma ve iklimlendirme sistemleri kloroflorakarbonlara değil hidrojene ihtiyaç duyar ve hidrojen sızıntısı ozon tabakasında delinmeye yol açmaz. Bu soğutma sistemleri, hareketli kısımları olmadığından ayrıca oldukça sessizdirler.

Hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkileri düşünüldüğünde, fosil yakıt yerine hidrojen kullanılması ile fiziksel sağlık şartlarında da iyileşmeler olacaktır. Enerji üretimi sırasında CO₂ emisyonunun azalması veya atmosferdeki CO₂ derişiminin düşürülmesi sağlanabilir. Atmosferdeki CO₂ derişiminin düşürülmesi teknik ve ekonomik olarak solar fotosentez ile sağlanabilir. Atmosferde CO₂ derişimi 2050 yılında 520 ppm'e ulaşacaktır. Ancak hidrojen kullanılırsa bu senaryo



değişebilecektir. Solar hidrojene geçiş 25 yıl gecikirse karbon dioksit 2070 yılında yaklaşık 620 ppm'e kadar yükselir. Eğer hidrojene geçiş 2050 yılında olursa bu geçişin hiç pozitif etkisi olmaz [Momirlan ve Veziroğlu, 2002].

Türkiye'nin hidrojen üretimi açısından başka bir şansı da uzun bir kıyı şeridi olan Karadeniz'in tabanında kimyasal biçimde depolanmış hidrojen bulunmasıdır. Karadeniz'in suyunun % 90'ı anaerobiktir ve hidrojen sülfür (H_2S) içermektedir.

7.5. Hidrojen Enerjisinin Avantaj ve Dezavantajları

Hidrojen enerjisinin avantajları ve dezavantajları aşağıda sıralanmıştır,

Avantajları:

- Hidrojen yenilenebilir enerji kaynakları da dahil olmak üzere herhangi bir enerji kaynağı kullanılarak üretilir.
- Hidrojen elektrik kullanılarak üretilir ve nispeten yüksek verimle de elektriğe çevrilebilir. Hidrojenin solar enerjiden doğrudan üretim süreçleri de geliştirilmiştir.
- Fosil yakıtlar son kullanımda sadece bir süreç ile dönüştürülürken, hidrojen kullanılacak enerji şekline beş farklı süreç ile dönüştürülmektedir.
- Son kullanımda hidrojen kullanılacak enerji şekline dönüşürken en yüksek verime sahiptir. Hidrojen fosil yakıtlardan %39 daha verimlidir. Kısaca hidrojen birincil enerji kaynaklarını korur.
- Hidrojen gaz şeklinde (büyük ölçekli depolamada), sıvı şeklinde (hava ve uzay ulaşımında) veya metal hidrit şeklinde (araçlar ve diğer küçük ölçekli depolamada) depolanabilir.
- Hidrojen boru hatları veya tankerler ile büyük mesafelere taşınabilir (bir çok durumda elektrikten daha ekonomik ve verimlidir).
- Hidrojen diğer yakıtlardan farklı güvenlik ekipmanı ve prosedürü gerektirse de onlardan daha fazla tehlikeli değildir. Hidrojen güvenlik sıralamasında propan ve metanın (doğal gaz) arasındadır. Yangın tehlikesi ve zehirlilik dikkate alındığında hidrojen en güvenilir yakıttır.

- Hidrojen elektrikten veya solar enerjiden üretilirken, taşınırken veya depolanırken ve son kullanımda herhangi bir kirletici üretmez veya çevreye zararlı herhangi bir etkisi yoktur. Hidrojenin yanması veya yakıt hücresinde tüketilmesi sonucu son ürün olarak sadece su üretilir. Yanma yüksek sıcaklıkta olursa havadaki azot ve oksijenden NO_x oluşabilir. Ancak bu sorun diğer yakıtlarla aynıdır ve kontrol edilebilir.
- Çevresel hasarlar ve yüksek kullanma verimi dikkate alındığında solar hidrojen enerji sistemleri en düşük etkin maliyete sahiptir [Barbir, 2003, Veziroğlu, 2003, Dincer, 2002].

Dezavantajları:

- Hidrojen enerjisi birincil enerji kaynağı değildir. Birincil enerji kaynaklarından elde edilmektedir.
- Pahalı bir teknolojidir.
- Elde edilmesi güçtür.
- Hidrojenin kullanılabilmesi için büyük ölçekli, güvenli ve pratik depolama yöntemlerinin geliştirilmesi gereklidir.
- Küçük boyutlarda tesis maliyeti yüksektir.

8. TÜRKİYE İÇİN ENERJİ KAYNAKLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde alternatif enerji kaynaklarının çevresel yönden fosil kaynaklara göre mukayesesi yapılacaktır. Fosil kaynakların neden olduğu çevresel zararlar ve tükenilebilir olmaları yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına ve tercih edilmelerine neden olmaktadır. Ancak dikkat edilecek husus bu kaynakların çevresel etkileri incelenmeli ve varolan çevresel etkilerini minimuma indirecek teknolojiler geliştirilmelidir.

Mevcut enerji üretim ve tüketim sistemleri, yerel, bölgesel ve küresel ölçekte hava, su ve toprak kirlenmesine yol açmaktadır. Son yıllarda artan enerji gereksiniminin karşılanmasında, fosil enerji kaynaklarından yapılan üretimle ortaya çıkan çevre kirliliği, dünyanın gündeminde önemli bir yer tutmaktadır. Kirlletici azaltımının en önemli aracı, yeni ve yenilenebilir enerjileri de içerecek şekilde oluşturulacak, çevreye karşı duyarlı ve sürdürülebilir enerji sistemleridir. Tüm dünyada temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru bir yönelme gözlenmektedir. Tablo 8.1.'de enerji kaynaklarının çevresel etkileri verilmiştir. Fosil enerji kaynakları başta hava kirliliği olmak üzere iklim değişikliği, su kirliliği ve toprak kirliliğine neden olmaktadır. Nükleer enerjisi de ise en büyük sorun radyasyondur. Yenilenebilir enerji kaynaklarını incelediğimizde en büyük avantajları fosil kaynakların handikabı olarak karşımıza çıkan hava kirliliğine neden olmamasıdır.

Tablo 8.1. Enerji Kaynakların Muhtemel Çevresel Etkileri

Enerji Kaynağı	İklim Değişikliği	Asit Yağmurları	Su Kirliliği	Toprak Kirliliği	Gürültü	Radyasyon
Petrol	X	X	X	X	X	-
Kömür	X	X	X	X	X	X
Doğalgaz	X	X	X	-	X	-
Nükleer	-	-	X	X	-	X
Hidrolik	X	-	X	X	-	-
Rüzgar	-	-	-	-	X	-
Güneş	-	-	-	-	-	-
Jeotermal	-	-	X	X	-	-

Enerji üretimi ve tüketiminin, özellikle elektrik enerjisinin çevresel risklerini araştıran pek çok çalışma bulunmaktadır [Göktepe, 2002]. Elektrik üretiminde yararlanılan tüm teknolojiler, kaynağı ne olursa olsun, insan sağlığı ve çevre açısından belli bir risk taşır. Karar mekanizmaları için, enerji teknolojilerinin yakıt çevrimlerinin bütün safhalarını içine alan risk mukayeselerinin yapılması yeterlidir [Göktepe, 2003]. Enerji üretim teknolojileri risk mukayeseleri, tüm yakıt çevrimi safhaları için yapılarak çevresel yönden değerlendirilmelidir.

Rüzgar enerjisi sera gazı emisyonlarının azaltılmasında etkin olarak kullanılması gereken yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Türkiye’de rüzgar enerjisini 10.2 MW’lık Bozcaada, 1.5 MW’lık Çeşme, 7.2 MW’lık Çeşme-Alaçatı ve 1,2 MW’lık İstanbul - Hadımköy rüzgar santralleri elektrik üretiminde kullanılmaktadır. 2010 yılına kadar kurulu gücün 2.100 MW’a çıkması durumunda; yılda yaklaşık 5,46 TWh enerji üretilebilir. Rüzgardan üretilen bu enerjiden yaklaşık 3.8 milyon ton CO₂, 2.200 ton SO₂, 17.000 ton NO_x emisyon tasarrufu sağlanabilecektir [Anonim,2005].

Türkiye ormanlarında her yıl yaklaşık 7 milyon m³ kadar ağaç atığının ormanlarda kaldığı ve bunun büyük bir oranının nakliye masrafları yüzünden ormanlarda çürümeye terk edilmektedir. Ormanlarda çürütülen bu çok büyük miktardaki ağaç atıklarının yanı sıra her yıl ülkemizde tarımsal üretim sonrası 56 milyon ton bitki sapı ve atıklarının da enerji üretiminde değerlendirilmesi sağlandığında 2.8-3.9 milyon m³ ya da 1.4-2 ton eşdeğer petrol olarak belirlenen biyokütle potansiyelimizden enerji üretimi sağlanabilecektir. [Saraçoğlu, 2004, Demiral ve Şensöz, 2002].

Türkiye, jeotermal enerjide 5 Milyon konut eşdeğeri ısı potansiyelinin yaklaşık 1 Milyon konutu bugünün şartlarına göre ısıtma amaçlı olarak değerlendirilebilecektir. Ancak jeotermal sahalara yakın bölgelerde sera ısıtması, endüstriyel kullanım, kaplıca amaçlı kullanım, kimyasal madde üretimi, balık çiftlikleri vb. kullanımları uygulamak mümkündür. Jeotermal potansiyelimiz tam olarak kullanıldığı zaman elde edilebilecek CO₂ emisyon azalım değerleri bugünkü

teknik ve ekonomik şartlarda uygulanabilir 1 Milyon konut eşdeğeri 8 Milyon ton/yıl, toplam ısı potansiyeli 5 milyon konut eşdeğeri 48 Milyon ton/yıl'dır.

Günümüzde işletmede olan nükleer santraller yerine fosil yakıtlı özellikle kömür yakıtlı santraller kullanılmış olsaydı, her yıl 1,2 milyar ton karbon atmosfere verilmiş olacaktı.

Enerji kaynaklarından farklı elektrik üretim teknolojileri ile tüm üretim zinciri boyunca ortaya çıkaracakları sera gazı emisyonlarını etkileyen faktörler Tablo 8.2.'de verilmiştir.

Tablo 8.2. Enerji Kaynaklarının Sera Gazı Emisyonunu Etkileyen Faktörler

Fosil Yakıtlar	- Karbon içeriği, kalori değeri gibi yakıt özellikleri - Madenin tipi ve yeri - Yakıtın çıkarılma yöntemi - Doğal gaz için boru hattı kayıpları - Dönüşüm verimliliği - Yakıt temini, tesisin kurulması ve sökülmesi için kullanılan elektriğin elde edildiği yakıt cinsi
Hidrolik	- Tipi (akarsu veya rezervuar) - Tesis yeri (tropik bölge, kuzey iklimi) - Baraj inşaatı için kullanılan enerji - İnşaat malzemelerinin (beton, çelik...) üretiminden kaynaklanan emisyonlar
Rüzgar	- Bileşenlerin üretimi ve inşaat sırasında kullanılan enerji - Tesisin yeri (iç bölge ya da kıyı bölge) - Verim ya da kapasite faktörü (bölgedeki rüzgar durumu)
Güneş	- Pil üretiminde kullanılan silikonun miktarı ve niteliği - Teknolojinin tipi (amorf, kristal malzeme) - Üretim için kullanılan elektriğin elde edildiği yakıt cinsi - Yıllık verim ya da tesis ömrü
Biyokütle	- Yakıt özelliği (nem içeriği, kalori değeri) - Yakıt hazırlamada kullanılan enerji (büyütme, hasat, taşıma) - Tesis teknolojisi
Nükleer	- Yakıtın çıkarılması, dönüştürülmesi, zenginleştirilmesi ve tesisin inşaatı ile sökülmesi sırasında kullanılan enerji - Yakıt zenginleştirme için gerekli olan enerji (gaz difüzyon teknolojisi yakıtın zenginleştirilmesi aşamasında enerji yoğun bir işlemdir ve santrifüj işlemine göre 10 kat daha fazla sera gazına sebep olur.) - Yakıtın yeniden işlenmesi ve geri dönüştürülmesi seçeneği yakıtın tek sefer kullanılmasına göre enerji üretim zincirinde %10-15 daha az sera gazı emisyonuna sebep olur.

KAYNAK: (Nuclear Energy and Kyoto Protocol, OECD, NEA, 2002)(TAEK)

Enerji politikalarının belirlenmesinde çevreye verilen etkilerin yanı sıra, göz önünde bulundurulması gereken parametreler, enerji kaynağının dışa bağımlı olup olmaması, ömrü, yatırım ve üretim maliyetleridir. Tablo 8.3.'te bu karşılaştırma verilmiştir.

Tablo 8.3.Enerji Kaynaklarının Karşılaştırılması

Enerji Kaynağı	Kaynağın Temini	Kalan Ömür [yıl]	Yatırım Maliyeti [\$ / KW]	Üretim Maliyeti [¢ / kWh]
Petrol	İthal	40- 45	1500- 2000	5,0- 6,0
Kömür	Yerli/ İthal	200- 250	1400- 1600	2,5- 3,0
Doğalgaz	İthal	60- 65	600- 700	3,0- 3,5
Nükleer	İthal	>200	3000- 4000	7,5- 12,0
Hidrolik	Yerli	-	750- 1200	0,5- 2,0
Rüzgar	Yerli	-	1000- 1200	3,5- 4,5
Güneş	Yerli	-	Yüksek	10,0- 20,0
Jeotermal	Yerli	-	1500- 2000	3,0- 4,0

Türkiye, hidrolik enerji potansiyelinin %35'ni, jeotermal enerji potansiyelinin % 0,06'sını, rüzgar enerjisi potansiyelinin %0,2'sini kullanmaktadır. Güneş enerjisi potansiyeli çok yüksek olmasına karşın yeterli kullanılmamaktadır. Ancak sıcak su üretiminde kullanılan düzlemsel kolektörler oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Türkiye, 200'ü rüzgar, 125'i hidrolik, 31,2'si güneş, 23,8'i jeotermal olmak üzere toplam 380 milyar kilowatt saat (kwh) temiz elektrik enerjisi potansiyelini verimli kullanamıyor. 2001 yılında hidrolik enerji potansiyelinin yüzde 19,2'sini, güneş potansiyelinin binde 8,2'sini, jeotermal enerjisinin binde 3,8'ini, tahmini rüzgar potansiyelinin binde 0,3'ünü kullanılabilmektedir. Türkiye yenilebilir enerji kaynakları yönünden şanslı bir ülkedir. Bu kaynakların verimli kullanılması gerekmektedir.

9. SONUÇLAR

Bu çalışmada mevcut enerji kaynaklarının durumu, dünya ve Türkiye açısından incelenmiş, Değişik enerji kaynakları, nükleer enerji ve hidrojen enerjisi ve bunların kullanımındaki avantajlar, dezavantajlar ile çevresel etkileri tespit edilmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Geleceğin enerjisi hidrojen enerjisidir, hidrojen 21. yüzyıla damgasını vuracak bir enerji taşıyıcısıdır.

- Hidrojen kullanımı çok temiz bir yakıttır.
- Fosil enerji sistemlerin atmosfere saldığı kirletici gazlara neden olmaz. Hidrojenin yanması veya yakıt hücresinde tüketilmesi sonucu son ürün olarak sadece su üretilir.
- Yüksek sıcaklıkta yanma sonucunda havadaki azot ve oksijenden NO_x oluşabilir ki bu değerde fosil yakıt sistemlerinden % 70 daha azdır.
- Hidrojen ozon tabakasına zarar vermez.
- Son kullanımda hidrojen kullanılacak enerji şekline dönüşürken en yüksek verime sahiptir. Hidrojen fosil yakıtlardan %39 daha verimlidir.
- Güneşten elde edildiği takdirde güneş ömrü olarak kestirilen gelecek 5 milyar yılın da yakıtı olacağı söylenebilir

Hidrolik enerji doğal enerji kaynaklarından su gücünden enerji ürettiğinden en önemli enerji kaynaklarından biridir.

- Yenilenebilir enerjinin en büyük kaynağı kanıtlanmış bir teknoloji olan hidroelektriktir.
- Hidroelektrik, temel enerjisini hidrolik çevrimi oluşturan ve bu yolla sürekli yenilebilir bir su kaynağı yaratan güneşten almaktadır.
- Türkiye açısından yerli yapım oranının termik ve nükleer santrallerle mukayese edilemeyecek kadar yüksektir.

- İhmal edilebilir miktarda sera gazı üretimi ile hava kirliliğinin azalmasına önemli bir katkı sağlamaları dikkate alındığında çevreyle uyumludur.
- Büyük miktarda enerjinin en düşük fiyatla depolanmaktadır.

Rüzgar enerjisi Türkiye için önemli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Gelecekteki enerji problemine karşı bir çözüm olarak görülmektedir.

- Küresel ısınmaya yolaçan karbondioksit, asit yağmurlarına yolaçan kükürtdioksit ve azotoksit emisyonlarına neden olmaz. Rüzgar enerjisinden 1 kW'lık güç üretimi 1 kg CO₂ emisyonunu engeller.
- Soğutma suyuna ihtiyaç yoktur.
- Rüzgar enerjisi sürekli bir enerji kaynağı değildir. Ancak rüzgar enerjisinin depolanma ve kullanılma yöntemleri ile ilgili çok sayıda çalışmalar bulunmakta ve rüzgar enerjisinin en verimli kullanımı, jeneratörler yardımıyla elektrik enerjisine çevirip yerel elektrik enerjisi şebekesine aktarılabilir.
- Türkiye'de rüzgar enerjisinin verimli elde edileceği bölgelerden başlanarak bölge şartlarına uygun projeler hazırlanmalı ve uygulamaya konulmalıdır.

Jeotermal enerjinin günümüzde enerji üretim teknolojileri arasında çevresel açıdan en uygun kaynaklardan biridir.

- Jeotermal enerjiden elde edilen birim enerji maliyeti daha düşüktür.
- Termik santrallere göre çok daha az çevre sorununa yol açmaktadır. Re-enjeksiyon uygulamalarının giderek gelişmesiyle çevresel etkileri azalmıştır.
- Kolayca işletmeye alınabilir.
- Atmosfere CO₂ ve diğer emisyonların verilmemesi bu enerji türünde fauna flora olumsuz etkiler minimum düzey olmaktadır.
- Reenjeksiyon ile rezervuar parametrelerini (basınç, sıcaklık vb.) koruyarak rezervuarı etkin tutmak, beslemek ve çevrede herhangi bir

(nehir, dere, deniz ve atmosfere) kirletici atık sorunu yaratmamak için uygulanmaktadır.

Güneş, ana enerji kaynağıdır. Güneş Enerjisi güvenilir bir kaynak olup yaygın kullanımda yüksek ve özel teknoloji gerektirmemektedir.

- Güneş, tükenmeyen tek enerji kaynağıdır.
- Çevre kirletici duman, gaz, karbon monoksit, kükürt ve radyasyon atıkları yoktur.
- Yerel uygulamalar için elverişlidir.
- Dışa bağımlı olunmadığından ekonomik bunalımlardan bağımsızdır.
- Güneş enerjisi kullanımı konusunda teşvik edici bir politika benimsenmelidir.

Türkiye'nin batı ve kuzey kıyılarının dalga enerjisi yönünden oldukça zengindir.

- Bu kıyılarda küçük yerleşim birimlerinin elektrik enerjisi gereksinimi dalga enerjisi ile sürekli olarak sağlanabilir.
- Dalga enerjisi sera gazı kirleticilerinden uzak bir enerji sistemi olduğundan küresel ısınma açısından hiçbir problem teşkil etmez.
- Çevreye kirletici hiçbir katı atık bırakmazlar
- Uzun vadede dalga enerjisinden daha fazla yararlanma olanakları geliştirilmelidir.

Nükleer enerji oldukça geliştirilmiş ve yenilenmiş olması, alternatif enerji kaynakları içersinde bugün için en uygun çözüm olarak kabul edilmektedir. Nükleer enerjinin nasıl ucuz bir maliyetle devreye sokulabilirliği, güvenli bir şekilde çalıştırılabilirliği ve ürettiği atıkların çevre riskini nasıl en aza indirgenebilirliği konuları tartışmalıdır.

- Nükleer güç santralleri işletme sırasında atmosfere kirletici gazlar salmazlar. Nükleer santraller, fosil yakıt santralleri gibi gaz

emisyollarına neden olmasalar da, kendilerine özgü çevre riskleri oluşturmaktadır.

- 1 kg uranyum ile üretilen elektrik 16,6 ton taşkömürü ya da 11,1 ton (80 varil) petrole üretilen elektriğe eşdeğerdir.
- İnsan hataları ve mekanik arızaların birleşimi binlerce insanın ölümü, yüz binlerce insanın yaralanması, geniş arazilerin radyoaktif kirlenmesi ve milyarlarca dolarlık zararlar sonuçlanabilmektedir.
- Güvenlik konularına ek olarak nükleer santraller kullanılmış yakıt çubukları ve diğery radyoaktif atıkları nedeniyle sorun olmaya devam etmektedir.
- Radyoaktifliğı binlerce yıl devam eden bu atıkların çevreden uzaklaştırılması problemidir.

Türkiye fosil enerji kaynakları yönünden (petrol ve doğal gaz) dışa bağımlıdır. Ayrıca fosil enerji kaynaklarının çevresel etkileri ve dünya üzerindeki rezervlerinin azalması yenilenebilir enerji kaynaklarının değerylendirilmesi gerekli kılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını yaygılaştırılmalıdır.

Yenilenebilir enerji kaynakları teknolojilerinde Ar-Ge çalışmalarına önem verilerek ve desteklenerek dış bağımlılık azaltılmalı ve maliyetler düşürülmelidir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve geliştirilmesi ile ilgili yasal düzenlemeler yapılmalıdır.

Gelecekteki güç üretim teknolojileri planlanırken topluma faydalı, yenilenebilir ve çevre dostu enerji kaynaklarına öncelik verilmelidir.

KAYNAKLAR

Akkaya, A.V., Akkaya E. K., Dağdaş A., Yenilenebilir enerji Kaynaklarının Çevresel Açıdan Değerlendirilmesi, IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 16-18 Ekim 2002.

Alpaslan A., Türkiye’de Hidrolik Enerji, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, İzmir, 18-20 Ocak 2001.

Anonim, Enerji Sektöründe Sera Gazı Azatımı Çalışma Grubu Raporu, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 2005.

Aras, H., Öztürk Ö., Rüzgar Enerjisinin Türkiye’deki Durumunun Dünya ile Karşılaştırılması, IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 16-18 Ekim 2002.

Ateşok, G. Enerjinin Stratejik Önemi ve Türkiye, Dünya Enerji Konseyi Türkiye Milli Komitesi, Türkiye 9. Enerji Kongresi, 24-27 Eylül 2003.

Atılğan, M., Altan D.B., Savonius Rüzgar Çarklarının Performansının Geliştirilmesi ve Karşılaştırılması, Mühendis ve Makina, Sayı 533, Haziran 2004.

Atılğan, İ., Türkiye’nin Enerji Potansiyeline Bakış, Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 15, No 1, 2000.

Atkinson K., Roth S., Hirscher M., Grünwald W., Carbon Nanostructures: An efficient Hydrogen Storage Medium for Fuel Cells, Fuel Cells Bulletin, Vol.4, Issue.38, 9-12, 2001.

Aytek, A., Özger, M., Altunkaynak, A., Dalga Enerjisi için Gerekli Parametreler, IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 16-18 Ekim 2002.

Barbir, F., “Review of Hydrogen Conversion Technologies”, www.iahe.org, 2003.

Barbir, F., Veziroğlu, T. N., Plass, H. J., Environmental Damage Due to Fossil Fuels Use, Int. J. Hydrogen Energy 10,739, 1990.

Başçetinçelik A., Karaca C. ve Öztürk H.H., Bazı Avrupa Birliği Ülkelerinde Biyokütle Politikaları, V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 26-28 Mayıs 2004.

Bauwman, A.F., Land use related sources of CH₄ and N₂O. In: Deutcher Bundestag, Enquete-Kommision “Schutz der Erdatmosphaere”, Kommisiondrucksache 12/1-a, 1991.

Bechly, M., Wind Energy- a Clean Source of Renewable Energy, Energy For Ever- Technological Challenges of Sustainable Growth Symposium, Australian Academy of Tecnological Sciences and Engineering, Australia, November 1997.

Bilgin, N., Biyogaz nedir?, Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Anakara Araştırma Enstitüsü, Anakara, 2003.

BP Statical Review of World Enerji, June, 2002.

Bridgwater, A.V. and Bridge, S.A., A Review of Biomaass Pyrolysis and Pyrolysis Technologies. Biomass Pyrolysis Liquids Upgrading and Utalization”, Elsevier Applied Science. London and New York, 31, 12-19. 1991.

Bridgwater, A.V. and Peacocke, G.V.C., Fast pyrolysis processes for biomass, Renewable and Sustainable Energy Rewiews, 4, 1-73, 2000.

Buğutekin, A., Binark, A.K., Dünyada ve Ülkemizde Biyogaz Çalışmaları, V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 26-28 Mayıs 2004.

Cano, M., İnsan Su ve Öteki Değerler, 2. Akasya Gençlik Zirvesi, 22 Nisan 2003.

Comparative Air Emissions of Wind and Other Fuels, Wind Energy Fact Shett, American Wind Energy Association, Comparative Cost of Wind and Other Fuels. Wind Energy Fact Sheet, American Wind Energy Association, 1995.

Çağlar, M., Canbaz M., Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli, IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 16-18 Ekim 2002.

Çağlar, M., Şen, S., Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Sürdürülebilir Kalkınma, V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 26-28 Mayıs 2004.

Çıtıroğlu, A., Güneş Enerjisinden Yararlanarak Elektrik Üretimi, Mühendis ve Makina Dergisi, Sayı: 485, Haziran 2000.

Çokan, M., Dalga Elektrik Santralleri, IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 16-18 Ekim 2002.

Darkrim F.L., Malbrunot P., Tartaglia G.P., Review of Hydrogen Storage by Adsorption in Carbon Nanotubes, Int. J Hydrogen Energy, 27, pp.193-202, 2002.

Dağdaş, A., Akkaya A. V., Jeotermal Enerjiden Yararlanmanın Çevresel Avantajları, IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 16-18 Ekim 2002.

Demiral, İ., Şensöz, S., Fındık(Corylus Avellana L.) Küspesinin Sabit Yatak Reaktöründe Pirolizi, IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 16-18 Ekim 2002.

Devlet Planlama Teşkilatı, "Elektrik Enerjisi", "Özel İhtisas Komisyonu Raporu", DPT : 2569-ÖİK:585, Ankara, 2001.

Diane, M. M., Burning Biomass: Advantage of using biomass energy; Budget given to an initiative aimed at tripling the use of bio-based products and bioenergy by 2010, The Environ. Mag. 11:12, 2000.

Dincer, I., Technical, Environmental and Exergetic Aspects of Hydrogen Energy Systems, International Journal of Hydrogen Energy 27, 2002.

Domac,J., Bioenergy and job generation. Unasylava, FAO, Vol.: 53, 2002/, Rome, 2002.

Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Yayınları, 2002.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı APK Kurulu/PFD İstatistikleri, 2002.

Eral, M., Enerji Teknolojileri Politikası Çalışma Grubu Raporu, Tübitak-TTGV Bilim-Teknoloji-Sanayi Tartışma Platformu, Ankara, 1998.

Erdin, E., Alten A., Şirin, G., Isıtmak ve Soğutmak İçin Yer Isısının Kullanılması, IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 16-18 Ekim 2002.

Erişen, B., Sivas Jeotermal Alanının Jeotermal Enerji Potansiyelini ve Yararlanma Olanaklarına İlişkin Ön Değerlendirme Raporu, M.T.A. Orta Anadolu I. Bölge Müdürlüğü, Sivas, 1989.

Eryılmaz, H., “Biyogaz nedir nasıl elde edilir?”, Topraksu Genel Müd., Merkez Topraksu Araştırma Enst. Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın No. 80, Çiftçi Yayın No. 7, Ankara, 1981.

Göktepe, B. G., Enerji Sistemlerinin Çevresel Risk Algılaması, VIII. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, Kayseri, 15-17 Ekim 2003.

Göktepe, B. G., Nükleer Enerji-Çevre Etkileşimi, 2. Enerji Forumu, Çırağan Sarayı, İstanbul, 11-13 Aralık 2002.

Gözübol, A.M., Şenyuva T., Sivas- Sıcak Çermik Alanının Jeotermal Potansiyeli Raporu, M.T.A. I. Bölge Müdürlüğü, Sivas, 1994.

Gülen, J., Pişkin, S., Türkiye’nin Hidroelektrik Potansiyeli ve Çevresel Etkileri, IV. Ulusal Temiz enerji Sempozyumu, İstanbul, 16-18 Ekim 2002.

Güvendiren, M., Öztürk, T., Enerji Kaynağı Olarak Hidrojen Ve Hidrojen Depolama, Mühendis ve Makina Dergisi, Sayı 523, Ağustos 2003.

Hepbaşlı, A., Özdamar, A., Özalp, N., Present status and Potentail of Renewable Energy Source in Turkey, Energy Sources, 23: 631-648, 2001.

Hirscher M., Becher M., Haluska M., Quintel A., Skakalova V., Choi Y.M., et al., Hydrogen Storage in Carbon Nanotubes, J Alloys and Compounds, 330-332, 654-658, 2002.

IAEA (International Atomic Energy Agency), News Brief, 2002.

IAEA, "Choosing The Nuclear Power Option Factors to be Considered", Viyana, 1998.

Kalpaklı, Y., Beker, Ü., Türkiye’de Jeotermal Enerji ve Kullanılabilirliği, IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 16-18 Ekim 2002.

Kaplan, H., Eskişehir- Sivrihisar-Kızılcaören Köyü Yakın Güneyi Bastnasit- Barit- Florit Kompleks Cevher Yatağı Nihai Etüt Raporu, 1997.

Koçak, A., Türkiye’de Jeotermal Enerji Aramaları ve Potansiyeli, Türkiye III. Enerji Sempozyumu, Ankara, 6-8 Aralık 2001.

Köse, F., Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Sistemleri, Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, 2001.

Lawler, A., Clinton Seeks “Major Lift” in U.S. Research Programs, Science, 287:558, 2000.

Look, D.C., Sauer, H.J., Engineering Thermodynamics, Van Nostrand Reinhold, Hong Kong, 1988.

Mollison, D., Ireland’s wave Power Resource, A report to the National Board for Science and Techonology and for Electricity Supply Board, Dublin, 2002.

Mollison, D., Pontes, M.T., Assessing the Porteguese wave-power resource, Energy, Vol:17, 2002.

Momirlan, M., Veziroğlu, T.N., Current Status of Hydrogen Energy, Renewable and Sustainable Energy Reviews 6, pp.141-179, 2002.

Nukem Price Bulletin, Mart 2003.

Onat, S., Topaloğlu, B., Bir Biyogaz Üretim Tesisi Modeli, V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 26-28 Mayıs 2004.

Özail, E., Uyar, T.S., Güneş Enerjisi Teknolojisindeki Gelişmeler, Sürdürülebilir Enerji Teknolojilerindeki Gelişmeler ve Türkiye'deki Uygulamaları Konferansı, MMO Yayın No:215, İstanbul, 3-4 Nisan 1999.

Özdamar, A., Dünya ve Türkiye'de Rüzgar Enerjisinden Yararlanılması Üzerine Bir Araştırma, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü ve Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir, 2000.

Özden, H., İzmir Gibi Büyükşehirlerde Rüzgar Enerjisi Tesislerinden Faydalanma Teknikleri, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, İzmir, 2003.

Özgener, Ö., Türkiye'de ve Dünya'da Rüzgar Enerjisi, IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 16-18 Ekim 2002.

Pasin, S., Dünyada ve Türkiye'de Hidroelektrik Potansiyelin Gelişimi, Enerji Dünyası, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Bülteni, Sayı 41, Nisan 2002.

Peker, Z., Rüzgar Enerjisinin Çevresel Etkileri Ve Bu Etkilerin Azaltılmasında Planlamanın Rolü, Mühendis ve Makina Dergisi, Sayı: 509, Haziran 2002.

Petroncini, S., Yemm, R.W., Introducing wave energy into the renewable energy marketplace, CECS-Centre for Study of Environmental Change and Sustainability, University of Edinburgh, Scotland, UK, 2002.

Philipp, W., Kuhn, E., Hygiene und Umweltaspekte, Kofermentationi Arbeitspaper 249, KTBL, S. 29-40 (Zit.5 und 6), 1995.

Proceedings of European Seminar on Nuclear in a Changing World, Avrupa Komisyonu, XII/0318/98.EN, Cilt I ve II, Brüksel, 14-15 Ekim 1998.

Rogner, H., "Sustainable Energy Development-Economics and Externalities", IAEA, 2000.

Saraçoğlu, N. Türkiye'nin Enerji Üretiminde Biyokütle Kaynaklarından Yararlanma Yolları, V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 26-28 Mayıs 2004.

Saraçoğlu, N., Yenilenebilir Çevre Dostu Enerji Kaynağı: Enerji Ormancılığı, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Dergisi, Sayı:412, 2002.

Soltes, E.J., "Of Biomass Pyrolysis and Liquids". Thereform. In ACS Symposium Series, 376, 1998.

Sorensen, H.A., "Energy Conversion Systems". New York: Chemical Publ. Co. 1983.

Şen, Z., Temiz Enerji ve Kaynakları, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 2002.

TAEK (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu), "Sürdürülebilir Kalkınma ve Nükleer Enerji", Ankara, 2000.

TAEK (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu), "Sürdürülebilir Kalkınma ve Nükleer Enerji", Ankara, 2000.

TAEK Teknoloji Dairesi, "Nükleer Atık İdaresi ve Dünyadaki Uygulamalar", Ankara, 2000.

TAEK, Hidrojen Enerjisi, Türkiye Atom enerjisi Kurumu Teknoloji Dairesi, Ankara, 2004.

Tezcan Ün, Ü., 21. Yüzyılın Enerjisi: Hidrojen, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Semineri, İzmir, 2003.

Tavman, İ., Önder, T. K., Türkiye’de Rüzgar Enerjisi Potansiyeli ve Kullanımı, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, İzmir, 18-20 Ocak 2001.

Tezcan Ün, Ü., Hidrojen Enerjisi: Depolanması, Güvenliği, Çevresel Etkisi Ve Dünyadaki Durumu, Mühendis ve Makina Dergisi, Sayı 525, Ekim 2003.

Thorium, U.S. Geological Survey, Mineral Commoditiy Summaries, January 2001.

Thorpe, T.W., A Brief Review of Wave Energy, ETSU-120, DTI, 1999.

Topçu, S., et al., Analysis of Wind Energy at the Western Black Sea Region, ITU Science Foundatior Project, İstanbul, 2000.

Tuiri, M., Doc. 8810: Report, Committee on Science and Technology, EU. 5.5PHARE and TACIS, 2001.

Tübitak, Enerji ve Çevre Teknolojileri Stratejisi, Vizyon 2023 Projesi Enerji ve Çevre Teknolojileri Strateji Grubu, Ankara, 2004.

Türk Sanayicileri ve İşadamları Derneği, 21. Yüzyıla Girerken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi, TÜSİAD-T/98-12/239, İstanbul, 1998.

Türksoy, F., “Rüzgar Enerjisi; Dünyadaki Yeri ve Türkiye için Önemi”, Türkiye 6.Enerji Kongresi, İzmir, 1994.

UAEA, "Utilisation of Thorium Fuel, Options in Emerging Nuclear Energy Systems", Teknik Komite Toplantısı, Viyana, 1999.

Uranium 2001 Resources, Production and Demand, OECD Nuclear Energy Agency and International Atomic Energy.

Uzmen, R., ARAR A.A., 21 Yüzyıda Enerji Kullanımı ve İklim Değişikliği, Uluslar arası Ekonomik sorunlar Dergisi, Sayı II, Mayıs 2001.

Ültanır, M., “21. Yüzyıla girerken Türkiye’nin enerji Stratejinin Değerlendirilmesi”, TÜSİAD. Yayın No. TÜSİAD-T/98-12/239, İstanbul, Aralık 1998.

Ünver, C., Rüzgar Enerjisi ve EİE'nin Çalışmaları, 1. Çevre ve Enerji Kongresi, Antalya, 14-15 Nisan 1997.

Veziroğlu T.N., Noyan Ö.F., 21. Yüzyılın Enerjisi: Hidrojen Enerji Sistemi, TMMOB Türkiye IV. Enerji Sempozyumu, Ankara, 2003.

Veziroğlu, T.N., "Hydrogen Energy System:A Permanent Solution To Global Problems", www.iahe.org, 2003.

Yaldız, O., Sözer, S., Biyogaz Teknolojisinin Çevresel Etkileri, IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 16-18 Ekim 2002.

Yerebakan, M., Rüzgar Enerjisi, İstanbul Ticaret Odası, Yayın No:33, İstanbul, 2001.

Zanzi, R., Sjöström, K. and Björnbom, E., "Rapid pyrolysis of agricultural residues at high temperature", Biomass and Bioenergy Vol.23 pp.357-366, 2002.

İnternet kaynakları:

<http://ermisweb.state.mi.us>

<http://www.youthforhab.org.tr>

<http://www.jmo.org.tr>, 09/07/2003

<http://www.dtm.gov.tr/ead/ekonomi/sayi%2011/na.htm>

www.taek.gov.tr/menu/bilgi.html - 35k - Ek Sonuç

www.eie.gov.tr

OZGEÇMİŞ



Sivas'ta doğan M. Tuba PUSAT, ilk, orta ve lise öğrenimini Sivas'ta tamamladı. 1996 yılında başladığı Uludağ Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği bölümünden 2001 yılında mezun oldu. 2001 yılında, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümünde yüksek lisansa başladı.

