

154181

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI**  
**VE**  
**ENERJİ VERİMLİLİĞİ**

Elektrik-Elektronik Müh. Ömer Fırat VARLI

**F.B.E. Elektrik Müh. Ana Bilim Dalı Elektrik Mühendisliği Programında**  
**Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. M. Salih TACİ**

Yrd. Doç. Dr. M. Salih TACİ

19-10-2004

Prof. Dr. Asım Kayaoglu

Ömer Fırat

Y. Doç. Dr. Ömer Gül

**İSTANBUL, 2004**

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ .....	iii
KISALTMA LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ .....	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ÖNSÖZ.....	viii
ÖZET .....	viii
ABSTRACT .....	ix
1 GİRİŞ.....	1
2 YENİLENEBİLİR ENERJİYE GENEL BAKIŞ .....	2
2.1 Giriş .....	2
2.2 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Tanımı.....	3
2.3 Yenilenebilir Enerji Kullanımının Tarihçesi .....	4
2.4 Neden Yenilenebilir Enerji.....	5
2.5 Yenilenebilir Enerjiye Bakış .....	9
2.6 Güç Sektöründe Yenilenebilir Enerji .....	11
3 YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE UYGULAMALAR .....	14
3.1 Giriş .....	14
3.2 Hidrolik Enerji.....	14
3.3 Rüzgar Enerjisi .....	19
3.4 Güneş Enerjisi .....	24
3.5 Jeotermal Enerji.....	30
3.6 Biyokütle (Biyomas) Enerjisi .....	36
3.6.1 Biyokütle Yetiştiricilik .....	37
3.6.2 Biyokütle Atıklar .....	38
3.6.2.1 Biyogaz.....	38
3.6.2.2 Çöp Termik Santralleri .....	39
3.7 Deniz Kökenli Yenilenebilir Enerjiler.....	40
3.8 Hidrojen Enerjisi .....	42
4 TÜRKİYE'NİN YENİLENEBİLİR ENERJİ POTANSİYELİ ve GLOBAL POZİSYONU .....	44
4.1 Giriş .....	44
4.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Türkiye .....	44
4.3 Türkiye'de Hidrolik Enerji.....	47
4.4 Türkiye'de Rüzgar Enerjisi.....	52
4.5 Türkiye'de Güneş Enerjisi .....	54

4.6	Türkiye'de Jeotermal Enerji.....	57
4.7	Türkiye'de Biyokütle(Biyomas) Enerjisi.....	60
4.8	Türkiye'de Deniz Kökenli Enerjiler .....	62
4.9	Türkiye'de Hidrojen Enerjisi .....	63
5	YENİLENEBİLİR ENERJİLERE EKONOMİK BAKIŞ.....	65
5.1	Giriş .....	65
5.2	Yenilenebilir Enerjiler ve Ekonomik Maliyetleri.....	65
6	ENERJİ VERİMLİLİĞİ .....	72
6.1	Giriş .....	72
6.2	Enerji Verimliliği Nedir .....	72
6.3	Üretimden Tüketime Verim .....	74
6.3.1	Üretim Aşamasında Verim.....	75
6.3.2	İletim ve Dağıtım Aşamasında Verim.....	75
6.3.3	Tüketim Aşamasında Verim.....	76
6.4	Yenilenebilir Enerjiler ve Verimlilik .....	76
6.5	Türkiye'de Enerji Verimliliği Çalışmaları.....	78
7	SONUÇ .....	80
KAYNAKLAR.....		83
EKLER.....		86
Ek 1	Fotovoltaiklerle İlgili Dünyadan Örnek Grafikler.....	87
Ek 2	Güneş Pillerinin Yapısı ve Çalışma Prensibi .....	88
Ek 3	Kanun Taslağında Kojenerasyon Terimleri .....	90
Ek 4	Yenilenebilir Enerji Kaynakları ile İlgili EPDK'nın Yapmış Olduğu Duyuru.....	92
ÖZGEÇMİŞ .....		94

## SİMGE LİSTESİ

A	Kaynakla temas eden yüzey alanı
C <sub>p</sub>	Betz limiti
g	Yerçekimi ivmesi
H <sub>0</sub>	Net düşü
I <sub>ph</sub>	Güneş ışığından üretilen elektrik akımı
I <sub>pv</sub>	Yük akımı
P	Güç
P <sub>e</sub>	Elektriksel güç
R <sub>p</sub>	Paralel direnç
R <sub>s</sub>	Seri direnç
Q	Ortalama debi
V	Hız
V <sub>pv</sub>	Güneş hücresi gerilimi
ρ	Yoğunluk
η	Verim
°C	Santigrat derece



## KISALTMA LİSTESİ

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AC	Alternatif Akım
BTU	British Thermal Unit – 1 kW's elektrik = 3412 Btu
DC	Doğru Akım
DSİ	Devlet Su İşleri
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri
DOE	Department of Energy
EIA	Energy Information Administration
EİEİ	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
EÜAŞ	Elektrik Üretim Anonim Şirketi
GJ	Gigajoule – 1 GJ = 10 <sup>9</sup> J = 10 <sup>9</sup> W/s
ICHET	International Centre for Hydrogen Energy Technologies
IEA	International Energy Agency
IPPC	International Panel on Climate Change
İDÇS	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
MTA	Maden Tetkik ve Arama
MW	MegaWatt – 1 MW = 10 <sup>6</sup> Watt = 10 <sup>3</sup> kW = 10 <sup>-3</sup> GW
NREL	National Renewable Energy Laboratory
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
ORC	Organic Rankin Cycle
PPMV	Parts Per Million by Volume
PV	Photovoltaics - Fotovoltaikler
PW	The Illuminating Engineering Society of North America
REPP	Renewable Energy Policy Project
TEP	Ton eşdeđer petrol - 1 TEP (TOE) = 11630 kW's = 41,868 GJ
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu
t/ha	hektar başına düşen ton değer
Wp	Wattpeak - 25 C kristal sıcaklığı, 1kW/m <sup>2</sup> ışınımında güneş hücresi tepe gücü
YEK	Yenilenebilir Enerji Kaynakları

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Sera gazı emisyonlarının beher kWh elektrik üretimi için değişimi .....	7
Şekil 2.2	Dünya fosil yakıt üretimi tahminleri.....	8
Şekil 2.3	2000 yılı itibariyle dünyadaki enerji kaynaklarının dağılımı .....	10
Şekil 2.4	2000 yılı itibariyle dünya elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı.....	12
Şekil 3.1	Bir hidroelektrik santralin yapısı .....	15
Şekil 3.2	Yapay depolu ve deposuz hidroelektrik santrallere örnek.....	17
Şekil 3.3	600 kW rüzgar türbini örnek rüzgar hızı-türbin gücü grafiği .....	21
Şekil 3.4	Çeşitli rüzgar türbin dizaynları .....	23
Şekil 3.5	Düzlensel güneş kollektörü .....	25
Şekil 3.6	Güneş hücresi elektrik eşdeğeri .....	26
Şekil 3.7	Heliostat tarlalı ve merkezi güç kuleli elektrik santrali .....	28
Şekil 3.8	Parabolik oluk tipi odaklı kollektör örneği.....	29
Şekil 3.9	Dağınık parabolik çanak tipi kollektör .....	29
Şekil 3.10	Kuru buharlı jeotermal santral .....	32
Şekil 3.11	Tek püskürtmeli jeotermal santral .....	33
Şekil 3.12	İkincil (binari) çevrim santraller .....	34
Şekil 3.13	Kombine püskürtmeli-ikincil (binari) çevrim santraller.....	34
Şekil 3.14	Biyokütle çevrimi .....	36
Şekil 3.15	Dalgadan elektrik enerjisi üretimi .....	40
Şekil 3.16	Gelgit hareketlerinden elektrik enerjisi üretimi .....	41
Şekil 3.17	Hidrojen üretim süreci .....	43
Şekil 4.1	Örnek bir rüzgar atlası .....	52
Şekil 4.2	1992-2001 yılları arasında PV modül pazarı gelişimi .....	57
Şekil 5.1	Danimarka'da rüzgar enerjisi maliyetlerinin yıllara göre değişimi .....	67
Şekil 5.2	Yıllar itibariyle üretime bağlı rüzgar enerjisi fiyat tahminleri.....	67
Şekil 5.3	Fotovoltaik modüllerin 1977-1998 dönemi fiyat ve verim değişimi.....	68
Şekil 5.4	Tipik bir öğrenme eğrisi .....	70

## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	Ülkelere göre kişi başına düşen elektrik tüketimi.....	2
Çizelge 2.2	Enerji üretiminde işgücü ihtiyacı.....	9
Çizelge 2.3	2000 yılı bölgesel yenilenebilir enerji kullanım miktarları .....	10
Çizelge 2.4	2020 yılı için dünya yenilenebilir enerji kaynakları tahmini.....	11
Çizelge 2.5	2000 yılı itibariyle şebeke bazlı elektrik üretim kapasitesi .....	12
Çizelge 2.6	Avrupa ülkeleri 2010 yılı için yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretim .....	13
	hedfleri .....	13
Çizelge 4.1	2002 yılı için Türkiye enerji dağılımı.....	45
Çizelge 4.2	2002 yılı Türkiye yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma oranları.....	45
Çizelge 4.3	EÜAŞ verilerine göre Türkiye'nin 2002 yılı kurulu gücü .....	46
Çizelge 4.4	Türkiye'nin yıllık yenilenebilir enerji potansiyeli .....	47
Çizelge 4.5	Yıllara göre Türkiye'de hidroelektrik enerji üretimi.....	48
Çizelge 4.6	Türkiye'de hidroelektrik potansiyelden yararlanma oranının bazı ülkelerle .....	49
	karşılaştırması .....	49
Çizelge 4.7	Ülkemiz hidroelektrik potansiyelinin dünyadaki durumu .....	50
Çizelge 4.8	2002 yılı itibariyle Türkiye'de büyük hidroelektrik enerji santralleri.....	51
Çizelge 4.9	Türkiye'de nehir tipi enerji santralleri .....	51
Çizelge 4.10	2002 yılı itibariyle Avrupa'da rüzgar enerjisi kurulu gücü.....	53
Çizelge 4.11	Dünyada kurulu elektrik gücü ve rüzgar elektriğinin payı .....	54
Çizelge 4.12	Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli .....	55
Çizelge 4.13	Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre .....	56
	dağılımı .....	56
Çizelge 4.14	Türkiye'de jeotermal uygulamalar .....	58
Çizelge 4.15	Türkiye'de jeotermal sahalar ve kullanım alanları.....	59
Çizelge 4.16	Dünya'da 1999 yılı itibariyle jeotermal elektrik üretimi .....	60
Çizelge 4.17	Türkiye'de biyokütle ve katı atık yakıtlı kojenerasyon tesisleri .....	61
Çizelge 4.18	ETKB'ye göre Türkiye'de biyomas kullanım tahminleri.....	62
Çizelge 5.1	Yenilenebilir enerji maliyetleri.....	71
Çizelge 6.1	Ülkelere göre kişi başına düşen enerji yoğunluğu.....	73
Çizelge 6.2	PV modül verimlilikleri.....	77

## ÖNSÖZ

Günümüzde televizyon, bilgisayar veya arabasız bir hayat düşünülebilir mi? Yemek yapmak için ateş yakmak veya suyumuzu nehirden almak, belki bir süre çadır hayatı yaşamak ilginç olabilir ancak yaşantımızın bir parçası haline gelen ve hayatımızı kolaylaştıran çözümler olmadan yaşamak kolay değil. Bilim adamları enerjiyi insanların kullanımına sunduktan sonra gerçekleşti aslında bütün bunlar. Bugün kömür, petrol, doğal gaz kullanarak elde ettiğimiz bu refahı alternatif çözümler insanlığın hizmetine sunulmadığı takdirde yakın zamanda kaybetme tehlikesiyle karşı karşıya kalabiliriz. Nedeniyse, oluşumu yıllarca süren bu kaynakların çok daha hızlı bir şekilde tüketilmesi. Enerji kaynaklarının yenilenebilir oluşu ve verimli kullanımını işte bu sebeple her geçen gün daha fazla önem kazanıyor.

Bu tezin hazırlanmasında emeği geçen Yrd. Doç. Dr. M. Salih Taci ve yüksek lisans eğitimim boyunca hiçbir konuda desteklerini esirgemeyen Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyelerine teşekkürü borç bilirim.

Bana mesleğimi sevdiren ve bu konuda yol almamı sağlayan, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Öğretim üyelerine ayrıca teşekkür ederim.

Bu tez bu günlere gelmemi sağlayan aileme ithaf olunur.

## ÖZET

Her geçen gün artmakta olan enerji ihtiyacı ile birlikte geleneksel enerji kaynakları toplumun enerji ihtiyacını karşılamakta gün geçtikçe yetersiz kalmakta, yine bu enerji kaynakları doğal yaşam ve çevreye zararlar vermektedir. Bu sebeplerden dolayı, ülkeler alternatif enerji kaynaklarının ortaya çıkartılması ve değerlendirilmesi için araştırma ve yatırımlara yönelmek durumunda kalmışlardır. Çözüm olabilecek alternatif kaynakların yenilenebilir, yani sürekli tekrar elde edilebilir oluşu ise hem yatırımların verimliliği hem de çözümün uzun vadeli ve kalıcı oluşu nedeniyle tercih edilmektedir.

Enerjiye erişim maliyetinin sanayi ve ekonomiye direkt etkisi nedeniyle kuruluşlar daha az maliyetli ve kolay erişilebilir enerji çözümleri ararken, insanlar için temel problem gittikçe daha büyük bir sorun haline gelen çevre kirliliğidir. Her iki kriter dikkate alınarak ortaya konulacak çözüm önerileri günümüzün popüler araştırma konusu haline gelmiştir.

Teknolojik ilerlemeler, beraberinde yenilenebilir enerji kaynaklarının keşfi ve verimli kullanımı alanında yeni bir çığır açmıştır. Ülkeler, konu ile ilgili geçmiş tecrübeleri de kullanarak geleceğe dair yeni perspektifler ortaya koymaktadırlar.

Bu çalışmada; öncelikle konu genel hatlarıyla tanımlanacaktır. Ardından, günümüzde tespit edilmiş yenilenebilir enerji kaynakları ve bunların verimli bir şekilde ekonomiye kazandırılması için izlenen süreçler, teknik değerlendirmeler ve rakamlarla, Elektrik Mühendisliği perspektifi ile ele alınacak, dünya ülkeleri ve ülkemizin pozisyonu ve bu alanda yapılan çalışmalar ile ilgili bilgiler paylaşılacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Yenilenebilir Enerji Çeşitleri, Elektrik Enerjisi, Verimlilik, Ekonomik Bakış, Yenilenebilir Enerji Uygulamaları

## **ABSTRACT**

With increasing trend in energy requirement, traditional energy sources are not only becoming insufficient for social energy demand, but also they give harm to natural life and environment. For these reasons, countries are started to investigate and put to use alternative energy sources and make investment. Possible solutions for these alternative energy sources are preferred to be renewable, in other words continuously re-obtainable, because of being investment efficient, also long term and permanent.

Because of energy cost's direct effect to industry and economy, while companies are looking for cheaper and easily reachable energy solutions, the main problem for people is environmental pollution growing day by day. Finding solutions considering both criteria has become one of the most popular research area for today.

Technological improvements open a new road for discovery and efficient usage of renewable energy sources. With the help of previous experiences, countries determine new perspectives for future.

In this study; first of all, subject will be generally defined. Then, with the perspective of Electrical Engineering and help of some numerical datas and technical evaluations, we will consider renewable energy sources and processes followed to make them part of economy. Finally, informations about the position of world countries with our country and studies on this subject will be shared.

**Keywords:** Types of Renewable Energy, Electrical Energy, Efficiency, Economical Point of View, Renewable Energy Applications

## **BÖLÜM 1**

### **GİRİŞ**

Gelişmekte olan dünya sanayi ve ekonomisi, buna ilaveten dünya nüfus artışı insanoğlunun enerji ihtiyacını her geçen gün arttırmaktadır. Günümüzde en çok kullanılan kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtlarının ömrünün sınırlı oluşu, öte yandan üretim ve kullanım esnasında çevreye dolayısıyla insan sağlığına zararları oluşu, yenilenebilir enerji kaynaklarını üzerinde önemle durulması gereken bir konu haline getirmiştir.

Kısaca tanımlamak gerekirse “doğal çevrede sürekli ve tekrarlanan enerji akımlarının nicelik ve nitelik özelliklerini bozmayacak şekilde kullanımı” olarak ifade edebiliriz yenilenebilir enerji kaynaklarını. Bunların en çok bilinen ve kullanılanları güneş, rüzgar, hidroelektrik, jeotermal, biyogaz, biyokütle, dalga enerjisi, hidrojen enerjisi olmakla birlikte daha küçük çaplı bilinen birçok alternatif yenilenebilir enerji kaynağı da mevcuttur. Bunlara gelişen teknoloji ve bilimle beraber her geçen gün yenileri ilave olmaktadır.

Gelişmiş ülkeler yeni-yenilenebilir enerji kaynakları için araştırma-geliştirme ve kurulum yatırımlarını her geçen yıl daha da arttırmaktadır. Benzer araştırmalara ülkemizde 1960-1970 döneminde başlanmış olmasına rağmen bir takım sebeplerden dolayı çok fazla ilerleme kaydedilememiştir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisine dönüşümü ve ekonomiye kazandırılabilmesi için geliştirilen sistemler ise mühendislik bilimi için ayrı bir araştırma konusudur. Yapılan araştırmalar neticesinde daha verimli çevrim sistemlerinin geliştirilmesi ile birlikte düşen maliyetler, tüketicilerin temiz enerji kaynaklarına yönelmesi için en belirleyici kriterdir.

## BÖLÜM 2

### YENİLENEBİLİR ENERJİYE GENEL BAKIŞ

#### 2.1 Giriş

Enerji, günümüz dünyasında, toplumsal yaşamın temelini oluşturan sanayi ve üretim için vazgeçilmez bir zorunluluktur. Teknolojik gelişmeler ve daha iyi yaşam standartları elde etme isteği, dünya ülkeleri için enerji ihtiyacını en büyük sorunlardan birisi haline gelmiştir. Günümüzde bir ülkenin kalkınmışlığının en önemli göstergelerinden birisi, o ülkede tüketilmekte olduğu toplam enerji miktarıdır.

Çizelge 2.1 Ünelere göre kişi başına düşen enerji tüketimi (Kaynak: IEA)

Ülkeler	Kişi Başına Birincil Enerji Tüketimi (TEP) 2001
Türkiye	1.10
Japonya	4.09
Almanya	4.26
İngiltere	4.00
Fransa	4.36
Kanada	7.90
ABD	7.98
OECD <sup>(ortalama)</sup>	4.65

Dünyadaki enerji tüketiminin yüzde 80-90'a yakın kısmı kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtlarından karşılanmaktadır. Araştırmalar dünya petrol yataklarına 40, doğal gaz yataklarına 65 ve kömür yataklarına 250 yıldan az ömür biçmektedirler (Eniş, 2003). Kaynakların sınırlı oluşu yeni ve sürdürülebilir çözümlerin bulunmasını zorunlu kılmaktadır.

Fosil yakıtları diye nitelendirilen yakıtların çevre üzerindeki etkileri de ihmal edilemez boyutlara ulaşmıştır. Bu tip yakıtların yakılmasıyla ortaya çıkan karbondioksit, kükürt dioksit, azot oksit, toz ve kurum çevreyi kirletmekte, bu ve benzeri sera gazları küresel iklim değişikliğine yol açmakta, insan sağlığını tehdit etmektedir.

Bu avantajlara, bağımsız kolay erişilebilir yeni enerji kaynaklarının, ulusların çıkarlarına güvenlik açısından da katkıda bulunduğu gerçeği eklendiğinde, yenilenebilir enerji

kaynaklarının ve bunların değerlendirilmesinin önemi daha belirgin olarak ortaya çıkmaktadır.

Dünyada yenilenebilir enerji kullanımına geçiş sürecinde, 2020 yılına kadar toplam elektrik enerjisi üretiminin yüzde 20'sinin, 2050 yılında ise yüzde 50'sinin yenilenebilir kaynaklardan sağlanması vizyonu, yukarıda belirtilen nedenlerin bir sonucudur Avrupa Birliği için bu değer 2010 yılı sonunda yüzde 22.1 olarak öngörülmüştür (Dündar ve Arıkan, 2003).

## **2.2 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Tanımı**

Yenilenebilir enerji kaynağı ifadesi, doğası gereği yeniden elde edilebilen (güneş, rüzgar, jeotermal, hidrolik enerjiler) veya geri dönüşümlü olan (biyokütle gibi) kaynakların ifade edilmesinde kullanılır. Diğer bir deyişle kömür, petrol, gaz, uranyum gibi sınırlı ve tükenebilir olanların dışında kalan kaynaklar yenilenebilir enerji kaynaklarıdır.

Aslında yenilenebilir enerji çoğunlukla dünyamızdan 151 milyon km uzaklıkta bulunan güneşin yaydığı ışık ve ısının, dünyaya direkt veya dolaylı etkilerinin bir sonucudur. Atmosferik olaylarla ortaya çıkan enerjiler yanında biyokütle diye tabir edilen ve bitkilerin yapısını oluşturan organik maddeler dahi güneşle direkt ilişkilidir çünkü bitkiler güneş sayesinde büyür. Fakat bütün yenilenebilir enerjilerin güneş kaynaklı olduğunu söylemekte mümkün değildir. Mesela jeotermal enerji dünyanın yerkabuğu ısısından kaynaklanmaktayken, gelgit enerjisi ay ve güneşin çekim kuvvetiyle ortaya çıkmaktadır.

Elde edilmiş yöntemleri göz önüne alındığında yenilenebilir enerji kaynaklarından enerjinin şu 3 şekilde sağlandığı söylenebilir:

- Doğrudan (güneş enerjisi ile su ısıtma sistemleri vs),
- Direkt elektrik enerjisi (fotovoltaikler vs),
- Dolaylı ve üretim kanalıyla elektrik enerjisi (hidro, jeotermal, güneş-termal elektrik veya rüzgar vs)

### 2.3 Yenilenebilir Enerji Kullanımının Tarihçesi

Yenilenebilir enerji kullanımını çok eskilere dönemlere dayanmaktadır. Biyokütle, ilkel çağlarda dahi ısınma amaçlı kullanılan bir enerji kaynağıdır. Rüzgar enerjisi ve hidrolik enerji ise daha sonraki dönemlerde değerlendirilmiştir. Eski Yunanistan'da su değirmenleri mısır öğütmek amacıyla kullanılmaktaydı. İlk rüzgar değirmenleri ise 1300 yıl önce Persia'da geliştirildi ve buradan Orta Doğu ve Çin'e yayıldı. Güneş enerjisi ile evlerin ısıtılması Eski Roma İmparatorluğu'nda uygulanmaktaydı.

Gerçek anlamda yenilenebilir enerjinin insan hayatına girişi ise elektrik enerjisine dönüştürüldüğü yıllara dayanmaktadır. Bu anlamda ilk adım 19. yüzyılda atılmıştır. 1880 yılında "Michigan's Grand Rapids Electric Light and Power Company" 16 adet ampülü yakmayı başarmıştır. Bundan 16 yıl sonra George Westinghouse büyük ölçekli ilk elektrik jeneratörünü Niagara Şelalelerinde inşa etmiştir. Bu gelişme sonucunda, 1920 yılında Amerika'da üretilen enerjinin yüzde 40'ı hidroelektrik santrallerinden gelmekteydi.

Rüzgar gücünden elektrik üretimi ilk olarak Danimarka'da 1891 yılında hayata geçirilmiştir. İlk rüzgar santralının şebeke bağlantısı ise 1986 yılında yapılmıştır.

1908 yılında Henry Ford, yenilenebilir kaynaklardan elde edilebilecek etanol'u yakıt olarak kullanabilen motoru geliştirdi. Ardından Atchison-Kansas'ta etanol üretecek fermentasyon fabrikası kurdu. 1930'lu yıllarda 'gasohol' adlı bu yeni yakıtı pazarlayan 2000 adet istasyon mevcuttu.

Güneş enerjisi uzun yıllar ısınma amaçlı kullanılmıştır. Güneş enerjisinin elektrik enerjisine çevrilmesi ise Edmand Becquerel'in 1839 yılındaki çalışmalarının sonucudur. 1940 yılında gelişen yarı iletken teknolojisi, buna bağlı diyot ve transistörün kullanımı ile birlikte 1954 yılında ABD'de Bell Laboratuvarlarında ilk güneş pili geliştirildi. Fakat bu ilk güneş pili ancak yüzde 4 verimlilikle güneş enerjisini doğru akıma çeviriyordu.

1950'li yıllardan sonra Ortadoğu ve Güney Amerika petrol yataklarının kullanımıyla birlikte enerji ihtiyacı petrolden karşılanmaya başlanmıştır. 1972 yılında 2.5 dolar olan petrol fiyatlarının, 1974 yılında varil başına 11 dolara çıkması, ardından 1979'daki İran devriminde

bu fiyatın varil başına 82 dolara kadar yükselmesi ülkeleri alternatif enerji arayışlarına yönlendirmiştir.

Son yıllarda fosil yakıtlarının çevresel etkileri üzerine yapılan araştırmaların sonuçlarının ortaya konulmasıyla arayışlar ivme kazanmaya başlamıştır. Sera gazı emisyonlarının düşürülmesine yönelik Japonya'da 1997 yılında 39 ülke tarafından imzalanan Kyoto protokolü ve 21 Mart 1994 tarihinde yürürlüğe giren 188 ülke ve Avrupa Birliği'nin taraf olduğu Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (İDÇS), konuya gereken ilginin gösterilmesi için bağlayıcı birer unsur olmuştur.

## **2.4 Neden Yenilenebilir Enerji**

1973 yılında yaşanan petrol krizinin enerji kaynakları konusunda güvensizlik yaratmasıyla birlikte başlayan süreç, “enerji arz güvenliği” ve “enerjinin çeşitlendirilmesi” konularının önem kazanmasıyla sonuçlanmıştır. 1990'lı yıllarla birlikte yapılan araştırmalarla geleneksel enerji kaynaklarının çevreye verdiği zararın ortaya konması ve gelişen çevre bilinciyle birlikte temiz enerjiye doğru bir yönelim ortaya çıkmıştır. Öte yandan, sürdürülebilir enerji, kalkınmanın temel unsurudur. Sürdürülebilir, temiz ve çeşitlendirilmiş enerji arayışı yenilenebilir enerji fikrine popülerlik kazandırmıştır.

Daha önce belirtilen sebeplerle birlikte toparlayacak olursak günümüzde yenilenebilir enerjinin popüler hale gelmesinin belli başlı nedenleri şu şekilde verilebilir:

- Hidrokarbon diye adlandırılan fosil yakıtlarının yerine kullanıldıklarında global ve lokal atmosferik emisyonlarda düşüş, bu emisyonların yol açtığı global ısınmanın önlenmesi,
- Fosil yakıtlarının orta ve uzun vadede yetersiz ve tükenmekte oluşu,
- Enerjide arz güvenliğine katkı sağlaması,
- Enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi,
- Öz kaynakların korunması (daha az kullanılan kömür, petrol gibi rezervlerin ileriye dönük uzun vadeli saklanması),
- Modüler, dağıtılmış ve daha küçük ölçekli teknolojiler yoluyla altyapı ve esneklik sağlaması,

- İlerleyen teknoloji ve konuya artan ilginin beraberinde yapılan yatırımlarla, kurulum maliyetlerinin bazı yenilenebilir enerji kaynakları için popüler enerjilerle rekabet edebilir seviyelere gerilemesi,
- İşletme ve bakım maliyetlerinin düşük oluşu,
- Yeni endüstrileşen ve gelişmekte olan ülkelerde kırsal kesimdeki kullanıcılara daha kolay çözümler sunması,
- Kırsal bölgelerde oluşturduğu iş ve altyapı olanakları ile sosyo-ekonomik gelişmeye katkı sağlaması,
- Sürdürülebilir kalkınmaya katkı sağlaması,
- Ülkelerin stratejik nedenlerle enerji konusunda mümkün olduğunca az dış bağımlı olmak ve ekonomilerini global enerji piyasalarındaki dalgalanmalardan korumak istemeleri.

Ayrıca küçük ölçekli üretim seçenekleri sunması, bir başka deyişle son kullanıcının kolaylıkla uygulayabileceği çözümlere açık olması, enerji arzının yetersiz olduğu yerlerde büyük bir avantaj olarak ortaya çıkmaktadır.

Günümüzde dünya enerji sistemi çoğunlukla fosil yakıtlara bağımlıdır. Dünya genelinde kömür, petrol ve gaz yatakları toplam birincil enerji tüketiminin % 80'ini oluşturmaktadır. Her yıl fosil yakıtlarından kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonundaki artış % 0.5'ler civarına ulaşmıştır. 2003 yılında yapılan "İklim değişikliği konulu hükümetler arası panel" (IPPC), iki yüzyıl önceki endüstri devriminden bu yana emisyon değerinin 270 ppmv'den 340 ppmv'ye ulaştığını ortaya koymuştur. Yine aynı panelde 21. yüzyılda emisyonları düşürmeden enerji ihtiyacının aynı yöntemlerle karşılanması halinde, iklim değişikliğinin kaçınılmaz olacağı ortaya konmuştur. Aynı sürecin bir sonucu olarak, atmosferdeki CO<sub>2</sub> yoğunluğunun 2050'den önce iki katına ulaşacağı öngörülmüştür. Bu yakıtlar, CO<sub>2</sub> emisyonunun yanında yine canlıların sağlığı için tehdit oluşturan, sülfür, nitrojen oksitler ve çeşitli partiküllerin atmosfere, petrolün denizlere karışması gibi riskleri de beraberinde taşımaktadır. Fosil ve nükleer yakıtların bir çok panel ve uluslararası konferansta dile getirilen çevresel zararları şu şekilde ifade edilmiştir:

- Atmosfer ve dünya iklimi için zararları,
- Ozon deliğinde büyüme,
- Asit yağmurları sonucu ormanların ölümü ve suların kirlenmesi,
- Hava kirliliği sonucu insan sağlığına olumsuz etkileri,

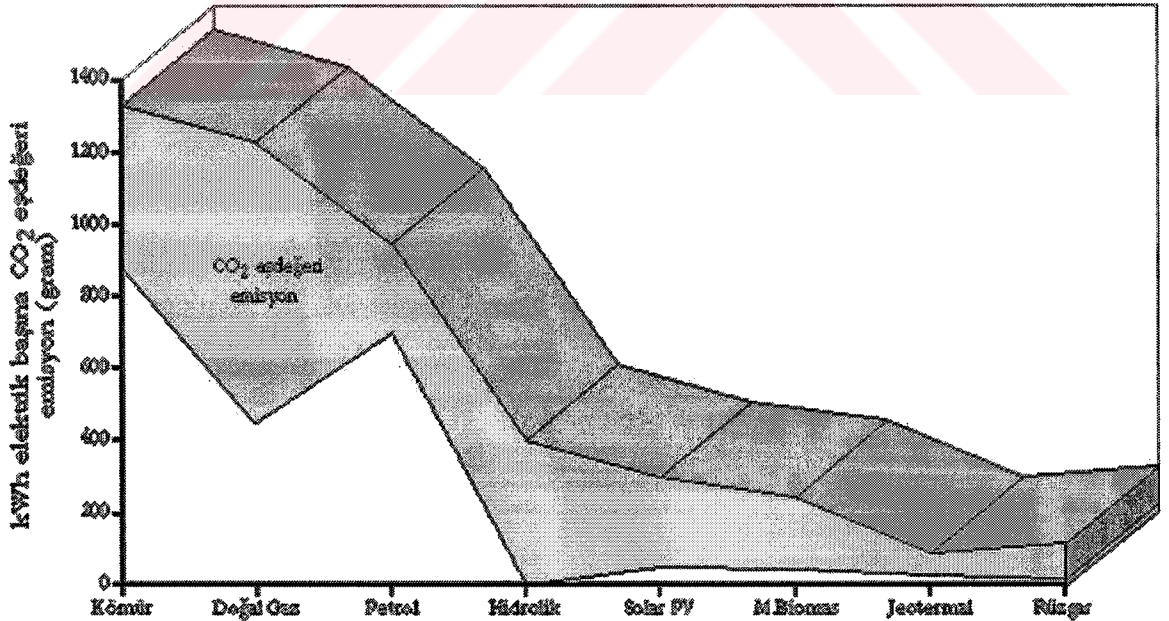
- Deniz, göl ve nehirlerde toksin birikimi,
- Petrol ve kömür üretim ve işleme süreçlerinde dünya genelinde azalmakta olan su kaynaklarının kullanımı,
- Nükleer radyasyon ve plütonyum üretiminin riskleri ve atıklarının depolanmasında yaşanan problemler.

Aynı konferanslarda bu ciddi risklerin ortadan kaldırılabilmesi için ortaya konulan 3 temel çözüm önerisi şunlardır:

- Özellikle üretim, taşımacılık ve binalarda olmak üzere enerjinin verimli kullanımı,
- Yenilenebilir enerji alternatiflerinin değerlendirilmesi,
- Yeni enerji teknolojilerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması.

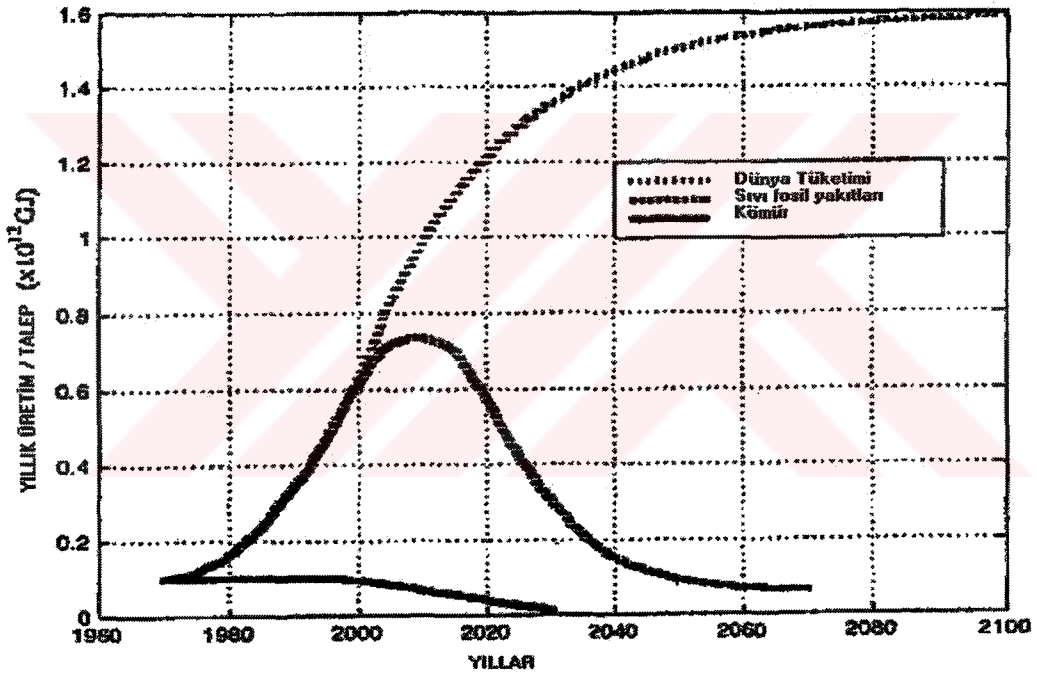
Belirtilen tedbirler, günümüzde, bu riskin farkına varan uluslararası toplum tarafından yavaşta olsa uygulanmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının çevreye etkisini çeşitli enerji kaynakları ile karşılaştırmalı olarak gösteren Şekil-2.1, doğal dengenin korunması için yenilenebilir enerjinin neden önemli olduğunu da ortaya koymaktadır.



Şekil 2.1 Sera gazı emisyonlarının beher kWh elektrik üretimi için değişimi. Kaynak: Tübitak

Yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının bir önemli nedeni ise fosil yakıtlarının yakın bir gelecekte tükenecek oluşudur. Kömür ve sıvı fosil yakıtlarıyla ilgili öngörülen darboğaz, aşağıdaki grafikte açık bir şekilde ortaya konmaktadır. Enerji talebi artan dünya nüfusu ve gelişmekte olan sanayi ve ekonomilere bağlı olarak devamlı artmakta iken fosil yakıt üretim tahminleri ihtiyacın çok gerisinde kalmaktadır. Dünya yıllık petrol üretimi 4 milyar ton civarındayken, petrol firmaları ve istatistikçilere göre toplam rezerv 120-160 milyar ton civarındadır. Üretimin tepe noktasına 2010-2012 arasında erişeceği ve daha sonra yetersiz kalmaya başlayacağı öngörülmektedir. Grafikte dikkat çekici bir başka nokta ise dünya kömür yataklarına 200-250 yıl ömür biçilmesine rağmen, enerji talebindeki artışı karşılamakta çok yetersiz kalacağıdır.



Şekil 2.2 Dünya fosil yakıt üretimi tahminleri

Yenilenebilir enerjinin doğası gereği dağıtık olarak uygulanabilirliği, kurulum ve işletim basamaklarında iş gücü kullanımı ve yeni iş alanları açılması konularında daha avantajlı olmaktadır. 1-4 Haziran 2004 tarihlerinde Almanya'nın Bonn şehrinde düzenlenen Yenilenebilir Enerji Konferansı'nda sunulan aşağıdaki çizelge enerji üretiminde farklı sektörlere göre iş gücü ihtiyacı hakkında daha ayrıntılı fikir vermektedir.

Çizelge 2.2 Enerji üretiminde iş gücü ihtiyacı

Sektör	Yıllık işgücü / MTEP Yakıt üretimi	Yıllık işgücü/Terawattsaat (yakıt + güç üretimi)
Petrol	396	260
Denizden Petrol	450	265
Doğal gaz	428	250
Kömür	925	370
Nükleer enerji	100	75
Ağaç türevi		733-1.067
Hidro		250
Minihidro		120
Rüzgar		918-2.400
PV Güneş		29.580-107.000
Biyoenerji (şeker kamışı)		3.711-5.392

**Kaynaklar:** Grassi, Electric Power International, Carvalho ve Scwarcz, Perez, IEA, REPP, UNICA

**Not:** Rakamlar kurulum ve üretim maliyetlerini içermektedir.

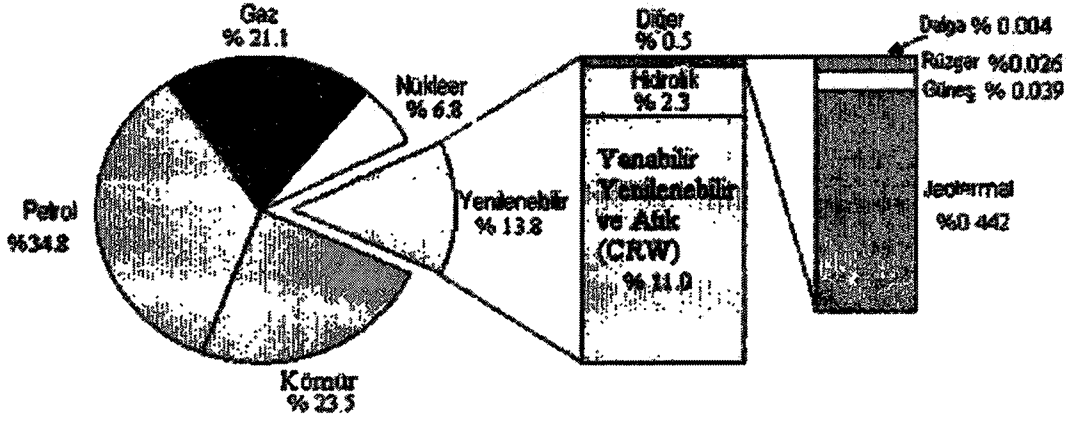
## 2.5 Yenilenebilir Enerjiye Bakış

Global yenilenebilir enerji pazarı son 10 yıl içerisinde çok fazla büyüyerek önemli sektörlerden birisi haline gelmiştir. 1995 yılında yaklaşık 6 milyar dolar olarak hesaplanan bu pazarın 2002 yılı itibariyle 17 milyar doları bulmuş olması bunun somut göstergesidir. Yine bu yıllar arasında sektöre en az 80 milyar dolarlık yatırım yapılmıştır. Fakat bu yıllarda sektörde yaşanan büyüme daha çok ülkelerin yenilenebilir enerji alternatiflerini fosil yakıtlara karşı teşvik etmesiyle sağlanmıştır.

2000 yılı verilerine göre dünyada toplam birincil enerji kaynakları 9958 Milyon TEP civarındadır. Son 30 yıllık dönem içerisinde, yenilenebilir kaynaklar yıllık ortalama yüzde 2.1'lik bir büyüme göstermişlerdir. Yine aynı dönemde en hızlı büyüme rüzgar ve güneş enerjisinde gerçekleşmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynakları, toplam global enerjinin yüzde 13.8'ini teşkil etmektedir. Bu oranın yüzde 11'lik kısmını biyokütle, yüzde 2.3'ünü hidrolik ve yüzde 0.05'lik kısmını diğer yenilenebilir enerjiler oluşturmaktadır. 2000 yılı verilerine göre dünyada yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payı yüzde 19'dur. AB'de ise toplam enerji tüketiminin yüzde

6'sı yenilenebilir kaynaklardan sağlanmaktayken, bu enerjinin elektrik üretimindeki payı ortalama yüzde 14'tür.



Şekil 2.3 2000 yılı itibariyle dünyadaki enerji kaynaklarının dağılımı

Dünyadaki yenilenebilir enerji dağılımını inceleyecek olursak, Asya, Afrika ve Latin Amerika bölgelerinde enerjinin büyük kısmını biyokütleden sağlanmaktadır. OECD ülkelerinde ise hidrolik, rüzgar, jeotermal gibi kaynaklar daha çok kullanılmaktadır.

Çizelge 2.3 2000 yılı ölgesel yenilenebilir enerji kullanım miktarları (Altuntaşoğlu, 2003)

BÖLGE	Toplam Primer Enerji Kaynağı TPES	TPES içindeki Toplam Yenilenebilirler	TPES içindeki Toplam Yenilenebilirlerin Oranı	Toplam Yenilenebilirler içinde Ana Yakıt Kategorilerinin Payı		
				Hidrolik	Jeotermal, Güneş, Rüzgar, vb.	Yenilenebilir ve Atık
	Mtep	Mtep	%	%	%	%
Afrika	508	259	50.9	2.3	0.2	97.5
Latin Amerika	456	127	27.9	37.3	1.3	61.3
Asya (Çin hariç)	1123	382	34.0	4.0	3.3	92.7
Çin (Asya hariç)	1158	234	20.2	8.2	0.0	91.8
OECD üyesi olmayan ülkeler	95	9	9.9	46.1	0.9	53.0
Eski S.S.C.B	921	30	3.3	65.5	0.2	34.3
Orta Doğu	380	3	0.8	41.3	22.7	35.9
OECD	5317	329	6.2	34.4	10.8	54.8
Dünya	9958	1372	13.8	16.5	3.7	79.8

Yenilenebilir enerji için yapılan tahminler 2020 yılı için şu sonuçları ortaya koymaktadır:

Çizelge 2.4 2020 yılı için dünya yenilenebilir enerji kaynakları tahmini

	2020 Yılında Minimum		2020 Yılında Maksimum	
	MTEP	Toplamın % si	MTEP	Toplamın % si
<b>Modern Biyokütle</b>	243	45	561	42
<b>Güneş</b>	109	20	355	26
<b>Rüzgar</b>	85	15	215	16
<b>Jeotermal</b>	40	7	91	7
<b>Küçük Hidrolik</b>	48	9	69	5
<b>Deniz Enerjileri</b>	14	4	54	4
<b>TOPLAM</b>	539	100	1345	100
<b>Genel Enerji Talebinin % si</b>		3 – 4		8 – 12

Görüldüğü gibi yenilenebilir kaynaklar, büyük hidroelektrikler hariç, enerji miktarındaki artışla paralel artmaktayken, ortalama bir tahminle 2020 yılında yüzde 8-10'luk bir paya sahip olması beklenmektedir.

## 2.6 Güç Sektöründe Yenilenebilir Enerji

Elektrik, gelişen dünyada insanoğlunun temel gereksinimlerinden birisi haline gelmiştir. Eksikliğinde insanların hayatını değiştirebilecek kadar etkin olabileceğini yakın zamanda Kuzey-Batı Amerika ve Kanada'da yaşanan ve tüm dünyanın dikkatlerini üzerine çeken kesinti açık bir şekilde ortaya koymuştur. Öte yandan halen dünyadaki 2 milyar civarındaki insanın elektriğe erişiminin olmaması ve temel ihtiyaçlarını karşılamak için biyokütle kullanıyor olması da ilgi çekici bir noktadır. Elektriğin bu insanlara ulaştırılabilmesinin, lokal yenilenebilir kaynakların değerlendirilmesiyle daha kolay mümkün olabileceği ortadadır.

Elektrik, kolay ulaşılabilirliği ve güvenilirliği ile cazip bir enerjidir. İlk adımları 19. yüzyıl sonlarında atılan, yenilenebilir enerjiden elektrik enerjisine dönüşüm teknolojisi ile birlikte, elektrik enerjisinin avantajları yenilenebilir enerjinin avantajlarıyla birleşmiştir.

Dünyada 2000 yılı rakamlarına göre yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi kurulu güç miktarı, 1.500 GW'lık kısmı gelişmekte olan ülkelerde olmak üzere 3.400 GW civarındadır.

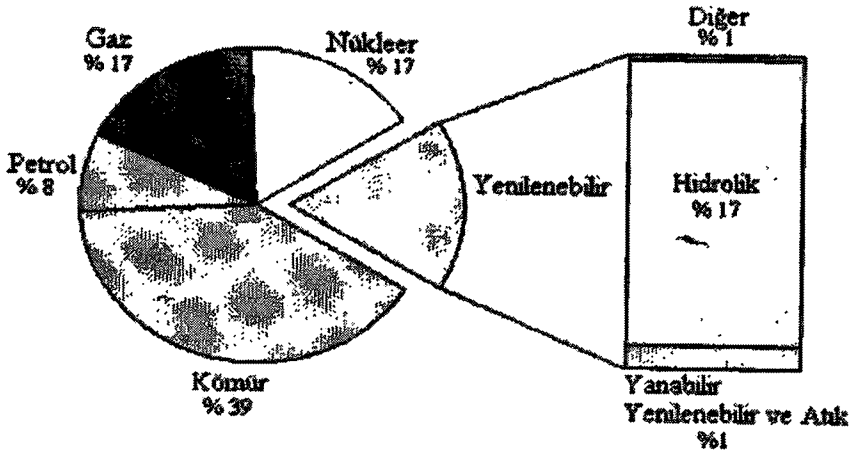
Çizelge 2.5 2000 yılı itibariyle şebeke bazlı elektrik üretim kapasitesi (MW)

Teknoloji	Tüm ülkeler 2000	Gelişmekte olan ülkeler 2000
Küçük-orta Hidro	43.000	25.000
Biyokütle	32.000	17.000
Rüzgar	18.000	1.700
Jeotermal	8.500	3.900
Isıl Güneş	350	0
PV Güneş (şebeke)	250	0
<b>Toplam yenilenebilir Güç kapasitesi</b>	102.000	48.000
Büyük Hidro	680.000	260.000
<b>Toplam kapasite</b>	3.400.000	1.500.000

Kaynak: Martinot 2002

**Not:** Küçük-orta hidroelektrik güç bazı ülkelerde 10, bazılarında 30 MW'a kadar olmak üzere tanımlanmaktadır.

Rakamlar 2000 yılında yenilenebilir enerjinin elektrik sektöründe çok fazla pay sahibi olmadığını gösterse de gelişmiş ülkelerin gelecekle ilgili kalkınma planları konuya daha fazla önem verildiğini ortaya koymaktadır. 2000 yılı itibariyle dünyada yenilenebilir enerjinin elektrik sektöründeki payı büyük hidrolikler hariç yüzde 3, toplamda ise yüzde 20'ler civarındadır.



Şekil 2.4 2000 yılı itibariyle dünya elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı

Avrupa Birliği ise 2010 yılında, toplam elektrik üretiminin yüzde 22.1'inin toplam enerji tüketimininse yüzde 12'sinin yenilenebilir kaynaklardan karşılanmasını hedeflemektedir. Ükelere göre 2010 yılı hedefleri şu şekildedir:

Çizelge 2.6 Avrupa ülkeleri 2010 yılı için yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretim hedefleri

Ülke	2010 yılı üretim payı
Avusturya	% 78.1
İsveç	% 60
Portekiz	%39
Finlandiya	%31.5
İspanya	%29.4
Danimarka	%29
İtalya	%25
Fransa	%21
Yunanistan	%20.1
İrlanda	%13.2
İtalya	%25
Almanya	%12.5
İngiltere	%10
Hollanda	%9
Belçika	%6
Lüksemburg	%5.7

*Kaynak: Enerji, çevre ve sürdürülebilirlik, Cihan Dünder-Yumus Arıkan*

## **BÖLÜM 3**

### **YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE UYGULAMALAR**

#### **3.1 Giriş**

“Neden yenilenebilir enerji” sorusunun cevabını bir önceki bölümde ortaya koymuş ve ülkelerin belirtilen nedenlerden dolayı, alternatif enerji kaynaklarının ortaya çıkartılması ve değerlendirilmesi için araştırma ve yatırımlara yöneldiğini belirtmiştik. Bu alternatif kaynakların yenilenebilir, yani sürekli tekrarlanabilir oluşu ise hem yatırımların verimliliği hem de çözümün uzun vadeli ve kalıcı oluşu nedeniyle tercih edilmektedir. Yenilenebilir enerjiler çok çeşitli olmasına rağmen, daha çok teknolojik aşama kaydedenleri ve daha çok uygulama alanı olanları hidroelektrik, rüzgar, güneş, jeotermal, biyokütle, deniz kökenli olanlar ve hidrojenidir.

Bu bölümde genel kabul görmüş ve potansiyeli yüksek yenilenebilir enerji kaynakları yakından tanıtılacak, bunların güç sektöründeki uygulamaları ele alınacaktır.

#### **3.2 Hidrolik Enerji**

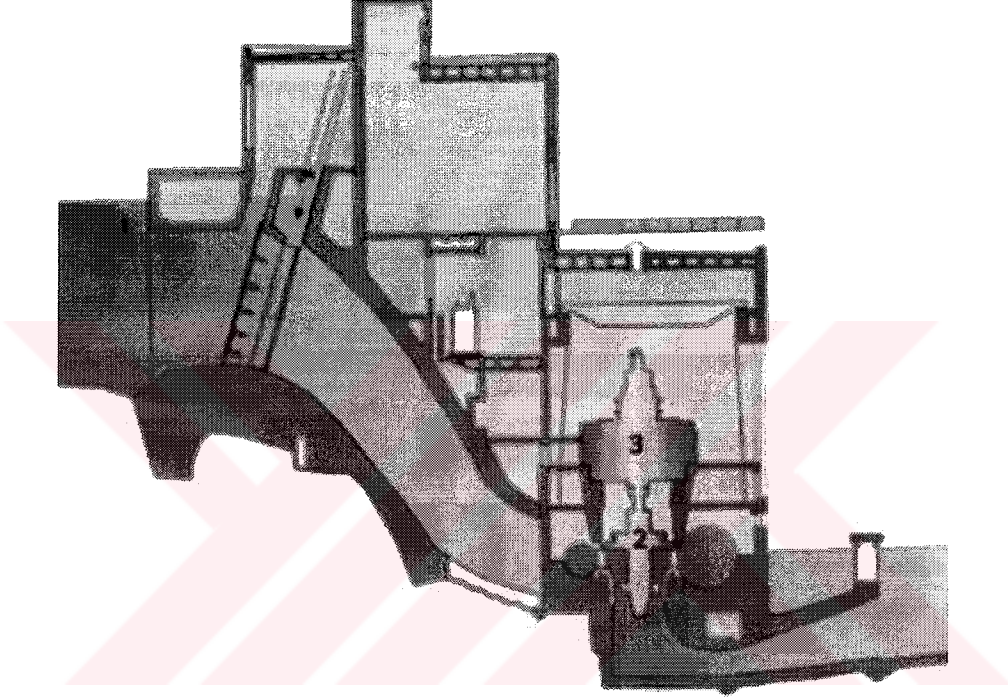
Günümüzde en çok kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları suyun potansiyel enerjisine dayalı olanlardır. İnsanoğlu suyun enerjisinden çok uzun süredir yararlanmaktadır. Yıllardır değirmenlerde kullanılan suyun mekanik enerjisinden, günümüzde elektrik enerjisi elde etmek amacıyla yararlanılmaktadır.

Hidrolik enerji, güneş enerjisinin deniz, göl veya nehirlerdeki suları buharlaştırmasıyla başlayıp, rüzgarın sürüklediği su buharının soğuk hava cephesiyle karşılaşarak yüksek dağ ve tepelere yağış olarak inmesi ve akarsu oluşturmasıyla devam eden hidrolik çevrimin sonucudur.

Hidroelektrik enerji başlığı altında, her ne kadar alternatif bir enerji kaynağı olmasa da, büyük hidroelektrik santrallerden elde edilen enerji de yenilenebilir enerjilerle birlikte ele alınacaktır. Enerji literatürlerinde, büyük hidroelektrik enerji klasik yenilenebilir kaynak grubunda ele alınırken, 101 kW – 10 MW arasında olan küçük ve mikro hidroelektrik enerji yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları grubuna sokulmaktadır. EPDK lisans yönetmeliğinde 20 MW

ve altında olan rezervuarlı hidroelektrik üretim tesisleri yenilenebilir olarak tanımlanmıştır. Mikro hidro diye nitelendirilen gruptakiler, genellikle bir şebekeye bağlı olarak çalışmazlar.

Hidroelektrik enerjinin amacı, su kaynaklarının geliştirilmesi ve kullanımı olarak tanımlanabilir. Hareket eden suyun kinetik enerjisinin öncelikle türbin rotorlarına çarparak mekanik enerjiye daha sonra da türbin jeneratörüyle elektrik enerjisine dönüştürülmesi prensibine dayalı bir enerjidir.



Şekil 3.1 Bir hidroelektrik santralin yapısı (1-Baraj ağızı-kanal girişi 2- Türbin 3- Jeneratör)

Hidroelektrik santrallerde elde edilen güç miktarı temel iki değişkene bağlıdır. Bunlardan birincisi tribünlere birim zamanda verilen su miktarını tanımlayan debi ( $m^3/s$ ), diğeryse alt ve üst kodlar arasındaki düşey mesafe olan düşüdüdür. Debisi ve düşüsü bilinen bir santralin gücü şu şekilde hesaplanabilir:

$$Q = V * A \quad (3.1)$$

A : Akarsuyun ortalama kesit alanı ( $m^2$ )

V : Akarsuyun ortalama hızı ( $m/s$ )

Q : Ortalama debi ( $m^3/s$ ) olmak üzere, santral gücü  $P_e$ :

$$P_e = \rho * g * Q * H_0 * \eta_{türbin} \quad (3.2)$$

$P_e$  : Türbinden alınacak güç (W)

$\rho$  : Suyun yoğunluğu (1.000 kg/m<sup>3</sup>)

$g$  : Yerçekimi ivmesi (9.81 m/s<sup>2</sup>)

$H_0$  : Net düşü, giriş ağız ile kuyruk suyu arasındaki kod farkından toplam düşü kayıpları çıkartılarak hesaplanır (m) (0.5 <  $H_0$  < 0.9)

$\eta_{\text{türbin}}$  : Türbin verimi (<1)

Bu tip santrallerde jeneratör-türbin bağlantısı kavrama, zincir veya kayış kasnakla yapılabilir. Eğer türbin hızı jeneratör hızına eşitse bağlantı kavramayla yapılır ve en verimli ve tavsiye edilen yöntem budur.

Hidroelektrik santraller, teknik özellikleri bakımından şu şekilde gruplandırılabilir :

***a- Düşülerine Göre:***

Alçak düşümlü santraller : Düşü 15 metreden az

Orta düşümlü santraller : Düşü 15-50 metre arasında

Yüksek düşümlü santraller : Düşü 50 metreden büyük

***b- Ürettikleri Enerjinin Karakter ve Değerine Göre:***

Baz santraller : Devamlı olarak enerji üreten santraller

Pik santraller : Enerjinin en çok ihtiyaç duyulduğu sürede çalışan santraller

***c- Kapasitelerine Göre:***

Küçük kapasiteli :99 kW'a kadar

Düşük kapasiteli :100-999 kW arası

Orta kapasiteli :1000-9999 kW arası

Yüksek kapasiteli :10 000 kW ve daha fazla

***d- Yapılarına Göre:***

Yeraltı santrali

Yarı gömülü ve batık santral

Yerüstü santrali

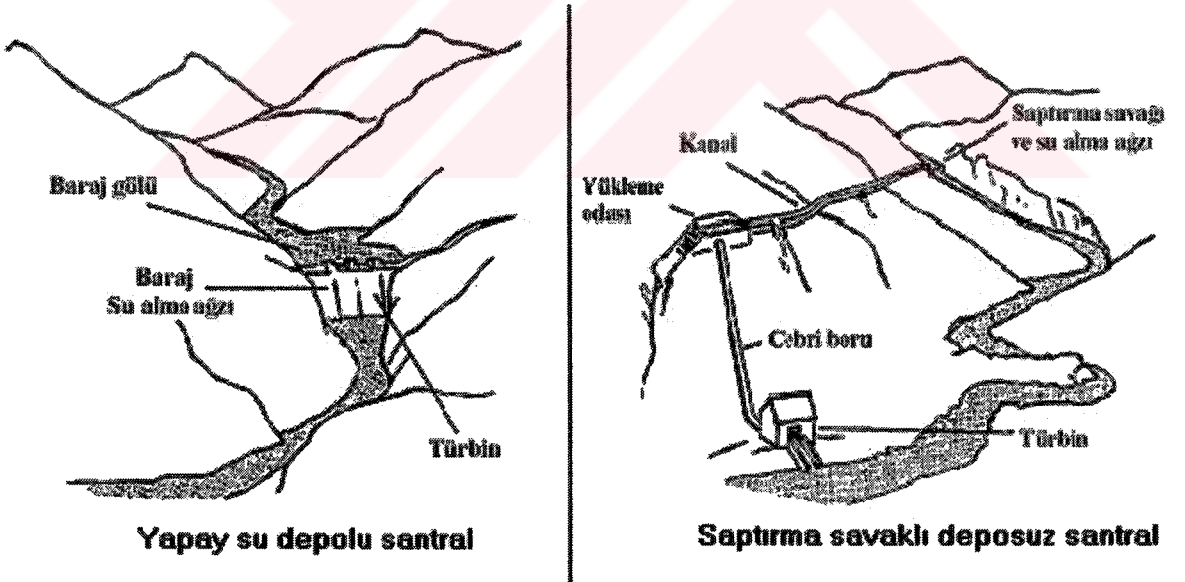
*e- Depolama Özelliklerine Göre:*

1. Deposuz santraller: Bunlar doğrudan doğruya nehir veya kanal üzerinde kurulmuştur. Su depoları (gölleri) olmadığından akan suyun enerjisini elektriğe çevirirler. Su rejiminin düzenli olduğu nehirlerde uygulanmaktadır. Suyun önü kesilmez. Kurak sezonda gerekli debiyi veremezler ancak depolama olmadığı için düşük maliyetlidirler. Akarsu yatağına en az zarar verenleridir.

- a) Nehir santralleri
- b) Kanal santralleri

2. Doğal veya yapay su deposu (gölü) olan santraller: Bu tip santrallerde suyun depolanması esastır. Genellikle su rejimlerinin düzensiz olduğu akarsularda suyun depolanması zorunluluk haline gelmekte ve böylece bütün yıl boyunca düzenli olarak elektrik enerjisi üretilmektedir. Kil ve kumla dolma riski taşırlar.

- a) Baraj santralleri
- b) Pompaj rezervuarlı santraller



Şekil 3.2 Yapay depolu ve deposuz hidroelektrik santrallere örnek

Hidroelektrik santrallerin çoğu şu temel bileşenlerden oluşur:

- *Baraj*: Suyun akışını kontrol eder ve düşüyü yükseltir. Suyun depolanmasını sağlar böylece potansiyel enerji depolanmış olur.

- *Boru veya kanal:* Suyun rezervuardan santral türbinine aktarılmasını sağlar.
- *Türbin:* Boru veya kanalla aktarılan suyun kinetik enerjisini mekanik enerjiye çevirir. Kanatlarına çarpan su türbinin dönmesini sağlar.
- *Jeneratör:* Türbine mekanik olarak bağlıdır. Türbinin mekanik enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür.
- *Transformatör:* Jeneratörden alınan elektrik enerjisini kullanılabilir gerilim seviyelerine dönüştürür.
- *İletim hatları:* Hidroelektrik santralde üretilen elektriğin dağıtım sistemine aktarılmasını sağlar.

Küçük ölçekli santrallerde akarsu kullanılarak elektrik üretilir. Bu tip santraller düzenli su akışına ihtiyaç duyarlar fakat ucuz ve temiz elektrik üretimi için idealdirler. Şebekeye bağlantının zor olduğu noktalardaki kaynakların değerlendirilmesi konusunda avantajlıdır. Böylece iletim şebeke kayıplarının da önüne geçilmiş olur.

Pompaj rezervuarlı santraller enerjiye ihtiyaç azaldığı saatlerde şebekeden aldıkları enerji ile pompa olarak çalışarak su basarlar. Bu durumda santral enerji tüketicisidir. Günün enerjiye en çok ihtiyaç olduğu pik saatlerde birikmiş suyu türbinden geçirerek enerji üretirler. Böylece yoğun kullanımın olduğu ve/veya enerjinin yüksek fiyatlarla alıcı bulabildiği saatlerde üretim yapılabilmektedir. Yükseklikleri en az 100 metredir.

Hidroelektrik santrallerin belli başlı avantajları, çevre için kirlilik yaratmaması, pik enerji ihtiyacında çabuk devreye girmesi ve gerektiğinde hızla devreden çıkabilmesi, dışa bağımlı bir enerji olmayışı ve yapay göllü santrallerin sosyal ve sulama, sel kontrolü, balıkçılık gibi ekonomik yaşantıya katkılarının bulunması ile ifade edilebilir. Ayrıca bu tip santrallerin işletme ve bakım maliyetleri düşüktür. Yakıt maliyetleri yoktur. Ekonomik ömürleri uzundur. Büyük santrallerde her 35-50 yılda bir elektro-mekanik aksam yenilenmek üzere en az 200 yıl ömür biçilmektedir. Baraj ömrü ise daha uzundur. Verimi diğer enerji kaynaklarına göre yüksektir. Eski santrallerde yüzde 65'lerde olan bu değer günümüzde yüzde 90'lar seviyelerine ulaşabilmektedir.

En önemli dezavantajı ilk yapım maliyetinin yapay göllü santraller için yüksek oluşudur. Fakat bu maliyet günümüz teknolojisi sayesinde oldukça düşürülmüştür. 1200-1300 \$/kW ' a kadar düşebilen kurulum maliyetiyle doğalgaz santralleriyle mukayese edilemese de, linyit ve

kömür kullanan bazı santrallerin kurulum maliyetleriyle başa baş gitmektedir. Bir diğer dezavantaj ise yine bu tipte santraller için yapım süresinin uzunluğudur. İlk yapım sırasında zaman zaman insanların topraklarını boşaltması gerekebilmektedir. Ayrıca tesisler kurulurken gereken özen gösterildiği takdirde, akarsuda ve baraj çevresinde yaşayan canlıların yaşam düzenleri için risk oluşabilir.

### 3.3 Rüzgar Enerjisi

İnsanoğlunun rüzgar enerjisinden faydalanmaya başlaması, yel değirmenlerine dayanmaktadır. Önceleri su çekme ve tahıl öğütme amaçlı kullanılan yel değirmenlerinin örnekleri Hollanda'da karşımıza çıkmaktadır. Rüzgardan ilk elektrik üretimi 1882 yılında Amerika'nın New York şehrinde gerçekleştirilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri ve Danimarka bu konuda öncü ülkelerdir. Günümüzde modern rüzgar tribünleri elektrik üretiminde kullanılmaktadır.

Rüzgar enerjisi çevrime uğramış güneş enerjisidir yani indirekt enerji olarak tanımlanabilir. Güneş enerjisinin karaları, denizleri ve atmosferi her yerde eşit olarak ısıtmamasından oluşan sıcaklık ve buna bağlı basınç farkları nedeniyle rüzgarlar oluşur. Rüzgar, yüksek basınç alanından alçak basınç alanına yer değiştiren havanın, dünya yüzeyine göre bağlı hareketidir. Yer değiştiren hava kütesine yerin dönmesinden de kaynaklanan Coriolis kuvveti de etki eder. Ayrıca rüzgarlar, bir merkez çevresinde dolandıklarından santrifüj kuvvet etkisinde kaldıkları gibi, yeryüzü ile akışkan hava arasındaki sürtünme kuvvetinden etkilenirler. Kutuplar ve ekvator arasındaki hava akımlarına bağlı belli rüzgarlar olmakla birlikte, enerji üretimi açısından denizler ve karalar ya da dağlar ve vadiler arasındaki hava akımlarına dayalı yerel rüzgarlar önemlidir.

Rüzgar türbinleri bir kafanın üzerine oturtulmuş iki veya üç kanat sayesinde rüzgar enerjisini yakalarlar. Kanatlar bir uçak kanadı gibi işlev görürler, alçak basınçlı hava kanatları yukarı doğru iter, bu güç karşıdan gelen rüzgarın yarattığı güçten çok daha fazla olduğu için bu iki gücün bileşkesi sayesinde kanatlar bir pervane gibi dönmeye başlarlar, oluşan kinetik enerji rotor miliyle jeneratöre aktarılır ve elektrik enerjisine çevrilir. Yaklaşık 20-30 metre ve daha yüksek kule uzunlukları ile daha hızlı ve daha az türbülanslı olan rüzgar profillerini yakalamak mümkün olmaktadır.

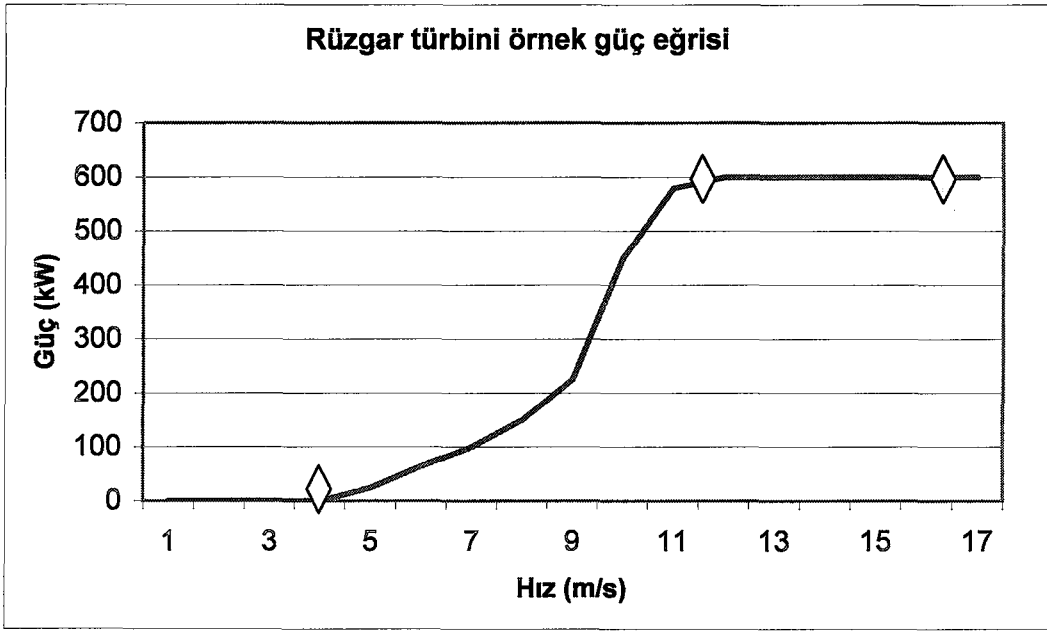
Rüzgar türbinleri elektrik hattından bağımsız olarak istenilen yerde elektrik üretebilirler. Bu tip uygulamalar daha çok telekomünikasyon sistemleri, su çekme ve dağ/çiftlik evlerinin elektrik ihtiyacını karşılamak içindir. Daha büyük ölçekli rüzgar türbinleri ise direkt olarak şebekeye bağlanabilme özelliğine sahiptirler. Birçok rüzgar türbininin oluşturduğu rüzgar çiftlikleri bir elektrik santrali olarak hizmet verirler. Teknolojideki hızlı gelişmeler ile rüzgar sistemlerinin bakım ve servis ihtiyaçları minimum seviyelere düşmüş buna paralel olarak verimlilikleri de hızla artmıştır. Günümüzde rüzgar türbinlerinin ömrü 15-25 yıl arasındadır.

Ortalama rüzgar hızı yıldan yıla değişebilir. Mevsimlerdeki değişimler yüzünden, rüzgar enerjisi potansiyelinden elde edilecek enerji, yıllık ortalama hız değerinden hesaplanan enerjiden daha fazla olmaktadır. Bu yüzden belli bir bölgede rüzgar türbinleri ile üretilebilecek elektrik miktarının hesabında, yıllık ortalama rüzgar hızından çok “weibull dağılımı” ile hesap edilmiş rüzgar hızı frekans dağılımı kullanılmaktadır.

Türbin kurulacak bölgede rüzgar ölçümünün dikkatli yapılmış olması gerekir. Özgül rüzgar gücü, hava debisine dik birim yüzeye düşen güçtür. Topografik koşullara göre yerden 50 m yükseklikte özgül güç, hız 3.5 m/s'den küçükken  $50 \text{ W/m}^2$  den az olabileceği gibi, hız 11.5 m/s'den büyükken  $1800 \text{ W/m}^2$  den çok olabilir. Türbin kurulacak yerde en az bir yıllık rüzgar ölçümünün 0.1-0.2 m/s doğrulukla yapılması gerekir. (Varlı, 2004)

Telekomünikasyon ve konut sistemlerinde 400W ile 3000W arasındaki saatlik üretim kapasitesine sahip rüzgar türbinleri 12/24/48V DC veya isteğe bağlı olarak 220V AC elektrik üretmektedirler. Bir rüzgar türbininin üretimi kanat çapının karesi ve rüzgar hızının küpü ile doğru orantılıdır. Elde edilecek enerji, rüzgarın hızına ve esme saat sayısına (frekansına) bağlıdır. Rüzgarın hızı yerden yükseldikçe logaritmik artış göstermektedir. Rüzgar türbini alt kanadının en yakın engelden yaklaşık 3m yüksekte ve tercihen 40-50m uzaklıkta olması gerekir. Aksi takdirde meydana gelen türbülans ile rüzgar türbinin ömrü ve elde edilen verim azalacaktır.

Türbinin rüzgara göre yönlendirilmesi, rotor eksenini ile rüzgar doğrultusu arasındaki yav açısını kontrol eden mekanizmayla sağlanır. Elektrik üretimini sağlayan makineye rüzgar jeneratörü adı verilir. Rüzgar jeneratörleri AC ya da DC-AC çeviriciye bağlanabilen DC jeneratörler olabilmektedir. Günümüzde rüzgar enerjisi dönüştürme sistemleri 50 W ile 2-3 MW arasında elektrik gücü sağlayabilirler.



Şekil 3.3 600 kW rüzgar türbini örnek rüzgar hızı-türbin gücü grafiği.

Grafikte görüldüğü gibi türbinin çalışma eğrisinde 3 kritik nokta vardır. Birinci nokta türbinin üretime başladığı eşik noktasını (minimum rüzgar hızı), ikincisi türbinin tam kapasite çalışmakta olduğu maksimum güç noktasını ve en sonuncusu da türbinin aşırı hız nedeniyle kapatılması gereken noktayı göstermektedir. Şayet bu noktada türbin durdurulmazsa sistemde aşırı kuvvetten kaynaklanan hasarlar oluşabilir.

Bir rüzgar türbininden elde edilen güç türbinin yerden yüksekliği, hava yoğunluğu, kanat çapı, sayısı, kanat hız oranı gibi verilere bağlı olmakla birlikte, rüzgarın dik estiği varsayılan bir türbin için güç kabaca şu şekilde verilebilir:

$$P = (A * \rho * V_0^3) / 2 \quad (3.3)$$

P : Türbinden alınacak güç (W)

A : Kanat Alanı (m<sup>2</sup>)

$\rho$  : Havanın yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)

V<sub>0</sub> : Rüzgar hızı (m/s)

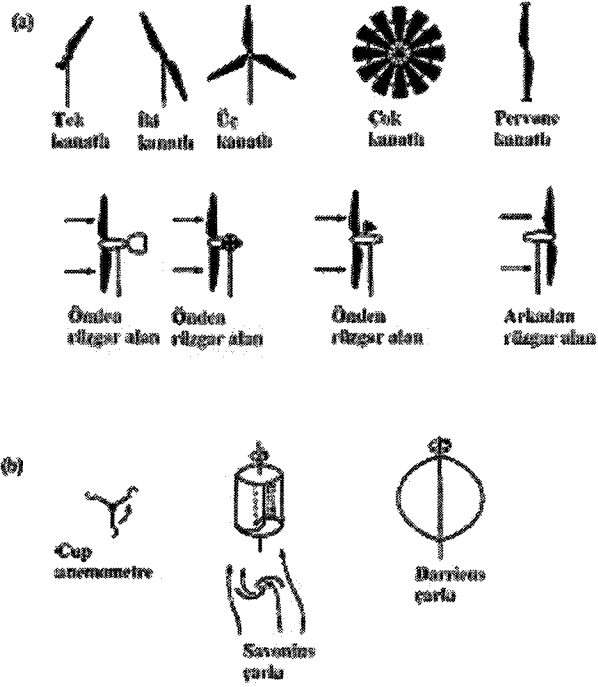
Ancak Cp ile ifade edilen ve verimi gösteren Betz limiti gereği türbin elektrik jeneratörüne en fazla % 59.3 ile gücü iletebilir. Görüldüğü gibi rüzgar türbininde verim üst limiti en fazla % 59.3'tür. Betz limitini dikkate alarak hesaplanan faydalı güç:

$$P_T = (C_p * A * \rho * V_0^3) / 2 \quad (3.4)$$

Rüzgar santralının kurulacağı bölgede öncelikle meteorolojik ve bölgesel analizlerin iyi yapılması gereklidir. Bu konuda bilimsel olarak hazırlanmış rüzgar atlasları yardımıyla coğrafi bölgenin rüzgar potansiyeli hakkında fikir edinilebilir. Öte yandan yerden belirli bir yükseklikte yerleştirilen bir anemometre vasıtasıyla uzun süre yapılacak ölçümler kurulacak bir santralin verimi için son derece önemlidir. Geniş ve engebeli arazilerde farklı yüksekliklere kurulacak çok sayıda anemometre gereklidir. Rüzgardan elektrik elde edilmesi için öngörülen hız yıllık ortalama minimum 5 m/s civarındadır. Bu tip analizlerde, Danimarka'da RISO laboratuvarlarında geliştirilen "WASP- Rüzgar Atlası Analiz ve Uygulama Programı" yaygın olarak kullanılmaktadır. Rüzgar türbinlerinin birbirlerine çok yakın konumlandırılması, birbirlerinin rüzgarlarını etkileyebilecekleri için verimi düşürür. Ayrıca rüzgar santrali alanının şebekeye yakın olması gereklidir.

Rüzgar santrallerinin türbinlerini incelersek en çok kullanılanları şunlardır:

- Yatay eksenli türbinler: Dönme eksenini ve rüzgar akım çizgileri paralel, bunlar kanat sayısı çoksa düşük az ise yüksek devirlerde çalıştırılır. Elektrik üretiminde genellikle 1-3 kanatlı olanları kullanılır.
- Dikey eksenli türbinler: Dönme eksenini ve rüzgar akım çizgileri birbirine dik türbinlerdir. Bu sistemlerde rüzgara doğru yönelmeyi sağlayacak yav kontrolüne gerek yoktur.



Şekil 3.4 Çeşitli rüzgar türbin dizaynları

Rüzgar enerjisinin avantajı, doğru planlama ile sürekli ve güvenilir bir kaynak oluşudur. Dışa bağımlı bir kaynak değildir. Dünyada uzun yıllardır yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Teknolojinin gelişmesi ile birim maliyetler düşmüştür. Geniş alanlara ihtiyaç duyulsa da, tribünün kapladığı alan toplam alanın yüzde 1-5'i civarında olduğu için tarım ve hayvancılıkla beraber üretim yapılabilir. Yakıt masrafı olmaması işletim maliyetlerini düşürür. Kurulumları hızlı ve kolaydır.

Diğer taraftan türbin için 700-1000 m<sup>2</sup>/MW gibi geniş alanlara ihtiyaç vardır. Gürültülüdürler ve kuş ölümlerine neden olabilirler. Bu yüzden bazı Avrupa ülkelerinde milli parklar içi ve yakınlarına kurulmaları yasaklanmıştır. Görsel ve estetik olarak olumsuzdurlar. Radyo ve TV alıcılarında parazitlere neden olmaktadır.

Teknik olarak en büyük zorluk güç çıkışının kontrol edilmesi, yüksek rüzgarda yeterli güvenliğin sağlanması ve sistemin frenlenmesi ile aşırı üretimin önlenmesi olarak ortaya konabilir. Rotor hızının kontrolü için kullanılan güç elektroniği elemanları bakım ve kurulum maliyetlerini yükseltebilmektedirler.

Denizler karalardan daha iyi rüzgar potansiyeline sahiptirler. Kıyıdan uzak noktalara rüzgar santralleri kurulabilmek enerji açısından verim sağlasa da iletim maliyetleri artmaktadır.

### 3.4 Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde hidrojen gazının helyuma dönüşmesi yani füzyon sürecinin sonucudur ve ortaya çıkan enerji ışınım şeklinde uzaya yayılır. Dünya atmosferi dışına ulaşan güneş enerjisi şiddeti aşağı yukarı sabit ve  $1370 \text{ W/m}^2$  değerindedir ve bu değer güneş sabiti olarak adlandırılır. Ancak yeryüzünde bu değer  $0-1100 \text{ W/m}^2$  değerleri arasında değişim gösterir. Bu kaybın sebebi atmosferdeki gazların ışınımı emici etkileridir. Enerjinin dünyaya gelen kısmı dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir.

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

- Elektrik ve ısı gibi enerji ihtiyacının karşılanması,
- Kırsal bölgelerde enerji ihtiyacının karşılanması,
- Alıcı-verici sistemleri, sinyalizasyon, otomasyon gibi uygulamalarda enerji ihtiyacının karşılanması,
- Gündüz ve gece aydınlatmasında güneş enerjisinin kullanılması,
- Güneş santralleri ile elektrik üretilmesi,
- Bazı taşıma ve ulaştırma araçlarında çalıştırıcı enerji olarak kullanılması,
- Askeri ve uzay uygulamaları gibi özel amaçlarla güneş enerjisinin kullanılması.

Güneş enerjisinin kullanılabilmesi için öncelikle toplanması gereklidir. Güneş enerjisi teknolojileri yöntem, malzeme ve teknolojik düzey açısından çok çeşitlilik göstermekle birlikte toplama işlemi iki temel yol kullanılarak yapılmaktadır:

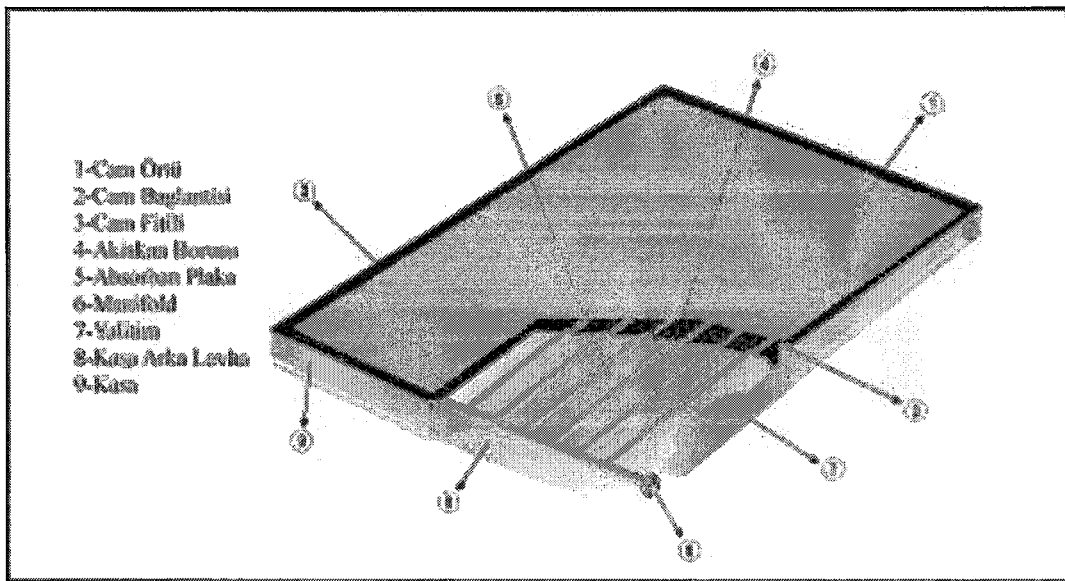
- a) *Isıl Güneş Teknolojileri* : Bu sistemlerde öncelikle güneş enerjisinden ısı elde edilir. Bu enerji ısıtma-soğutma için kullanılabilir. Ayrıca doğrudan kullanılabilmesi gibi elektrik üretiminde de kullanılabilir. Basit ve ucuz sistemlerdir. Üç çeşittir:

- Düz yüzeyle ve yoğunlaştırmasız güneş kolektörleri
- Odaklı ve yoğunlaştırmalı güneş kolektörleri
- Güneş havuzları

Kollektörlerde güneş enerjisinin düştüğü net alana "açıklık alanı" ve güneş enerjisinin yutularak ısı enerjisine dönüştürüldüğü yüzeye "alıcı yüzey" denir. Düzlemsel güneş kolektörlerinde açıklık alanı ile alıcı yüzey alanı birbirine eşittir. Yoğunlaştırıcı kolektörlerde ise güneş enerjisi, alıcı yüzeye gelmeden önce optik olarak yoğunlaştırıldığı için alıcı yüzey, açıklık alanından daha küçük olmaktadır.

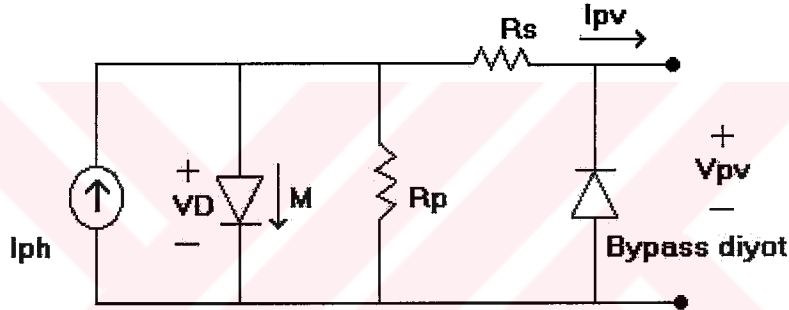
b) *Güneş Pilleri* : Fotovoltaikler diye de adlandırılırlar. Güneş ışığını doğrudan elektriğe çeviren yarı iletkenlerdir. Genellikle alanları 100 cm<sup>2</sup> kadardır ve kalınlıkları 0.2-0.4 mm arasındadır.

Isıl güneş kolektörleri, düz yüzeyle ve yoğunlaştırmasız, odaklı ve yoğunlaştırmalı, güneş kolektörleri ve havuzları olmak üzere üç değişik tipe ayrılmaktadır. Düz yüzeyle kolektörler 100 °C' yi aşmayan uygulamalarda kullanılırken, odaklı kolektörlerle 3000 °C düzeyinde uygulamalar yapılabilmektedir. Güneş havuzları ise düşük sıcaklıklarda büyük miktarda ısı toplamaya yarar. En yaygın kullanım alanı bulan düz yüzeyle yoğunlaştırmasız kolektörlerdir. Toplanan ısı enerjisi bir akışkana aktarılarak, kullanım alanına ya da fiziksel depolama ortamına taşınır. (TÜSİAD Enerji Raporu, 1998)



Şekil 3.5 Düzlemsel Güneş Kolektörü (Kaynak: EİE)

Elektriksel güneş kolektörleri ise güneş pilleri olup, yarı iletken diyod yapısındaki bu piller güneş ışığını, fotonlarından yararlanarak fotoelektrik (PV) olay gereğince direkt elektrik enerjisine çevirirler. Üretilen enerji düşen ışık miktarı arttıkça artar. Güneş pilleri doğru akım üretirler ancak DC-AC çeviricilerle alternatif akım olarak da kullanılabilirler. Gündüz depolanan enerjiden gecede faydalanılabilmesi için akümülatörlerle birlikte kullanılarak PV sistemleri kurulabilir. Değişik yarı iletken malzemeler güneş pili yapımında kullanılmaktadır. Ancak, günümüzde silisyum kullanılan en yaygın malzeme durumundadır. Galyum arsenit, amorf silisyum, kadmiyum tellur başlıca malzemelerdir. Güneş pili üretimi yüksek elektronik teknoloji gerektirmektedir. Güneş pillerinin çalışma prensipleri ile ilgili ayrıntılı bilgi Ekler'de verilmiştir.



Şekil 3.6 Güneş hücresi elektrik eşdeğeri

$I_{ph}$  : Güneş ışığı tarafından üretilen elektrik akımı

$I_{pv}$  : Yük akımı

$V_{pv}$ : Güneş hücresi gerilimi

$R_p$  : Paralel direnç

$R_s$  : Seri direnç

Güneş elektrik sistemlerini ele alacak olursak, elektrik üretimi direkt ve indirekt iki yöntemle yapılabilmektedir. Direkt yöntemde fotovoltajik, termoelektrik ve termoyonik çeviriciler yer alır. Büyük çapta elektrik üretimi için bunlardan yalnızca fotovoltajik sistemler kullanılabilir. Ancak, PV sistemi için büyük olan güç, günümüz elektrik santrallerinin gücü yanında küçük kalmaktadır. İndirekt yöntem ise güneş termik elektrik üretimidir. Bugün elektrik santralleri ile kıyaslanınca orta ve büyük güçlü güneş termik elektrik santrallerinin kurulabileceği görülmüştür. Bu sistemler senkron jeneratör yardımıyla AC elektrik üretirler. Güneşten PV sistemlerle elektrik üretimi 1954 yılında Amerikan Bell Telefon

Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiş olmasına karşın, ilk güneş termik elektrik santralleri 1970'lerin sonunda kurulmuştur. (TÜSİAD Enerji Raporu, 1998)

Güneş fotovoltaik sistemler şebekeden bağımsız ve şebeke bağlantılı olmak üzere ikiye ayrılır. Şebeke bağlantılı sistemler dağınk PV güç sistemleri olabileceği gibi, PV santralleri biçiminde de olmaktadır.

Şebekeden bağımsız olanlar, belli bir birimin elektrik gereksinimini sağlayan güneş pili veya PV modüllerine dayanır. Güneş pili bataryası da denilen bu modüllerden üretilen DC elektrik akımı ile yük beslenir. Sistemde akü ünitesi bulunur. Beslenen özel bir makina-tesis olabileceği gibi, bir yapı da olabilmektedir. Yapıların çatılarına modüllerin yerleştirilmesi, kiremitlere entegre yapılabilmektedir. Şebekeden bağımsız bu sistemlerin güçleri birkaç W'dan 25 kW'a kadar uzanmaktadır. Ticari güneş pili ve modüllerin verimi yapısındaki maddeye bağlı olarak % 5-20 arasındadır ve indirekt yöntemlere göre verim yüksektir. Ortalama koşullarında 1 m<sup>2</sup> alandan üretilecek elektrik gücü öğle saatlerinde 125 W olup, 1 kW fotovoltaik güç için gerekli alan 8 m<sup>2</sup> dir.

Fotovoltaik sistemde sürekliliğin sağlanması ve enerji arz-talep dengesinin oluşturulabilmesi için bir depolama ünitesi (akü grubu) yerine gerektiğinde devreye girecek yedek kaynak daha iyi olmaktadır. Yedek kaynak mevcut elektrik şebekesi olduğunda yatırım gideri en alt düzeye inmektedir. Güneş pilleri ile oluşturulan şebekeye bağlı dağınk PV güç sistemleri, yapılar için oluşturulmuş sistemlere dayanır.

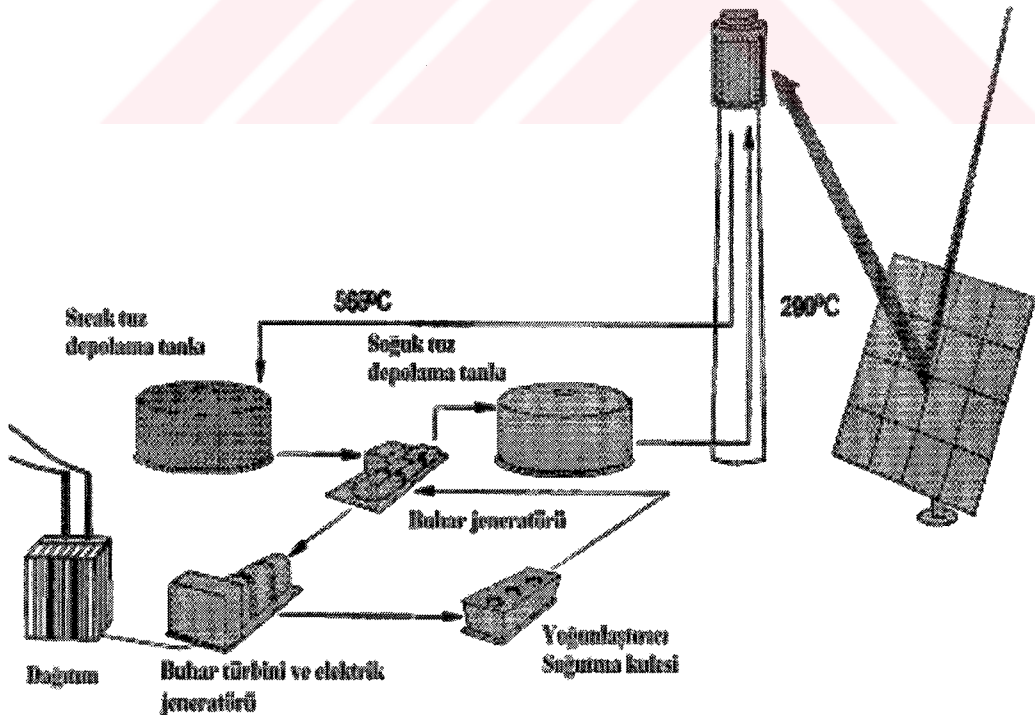
Bu sistemler akım ve gerilim isteklerine bağlı olarak düzenlenmiş PV modüller, DC/AC dönüşümü sağlayan invertör ile değişik yük ve ışınım koşullarına uyum sağlamak için elektronik kontrol alt sisteminden oluşur. Şebekeden çekilen ve şebekeye verilen elektrik enerjisi iki sayaç ile ayrı ayrı belirlenir. PV sistemde doğabilecek arızaların şebekenin öteki abonelerini etkilememesi için, gerilim/frekans değerlerinin bozulması durumunda sistemi izole eden emniyet ve kontrol cihazları gerekmektedir. Bu tür sistemler 1-50 kW arasında güce sahiptirler.

Şebeke bağlantılı PV sistemlerin en gelişmiş PV elektrik santralleridir. 100 kW -10 MW arasında çeşitli PV santralleri kurulmuştur. Ancak, bu santrallerin kuruluş ve birim enerji

maliyetleri yüksek olduğu için denemeler dışında fazla gelişmedikleri görülmüştür. PV sistemlerin uygulama bulunduğu alan, daha çok şebekenin ulaşamadığı yerlerle sınırlanmaktadır.

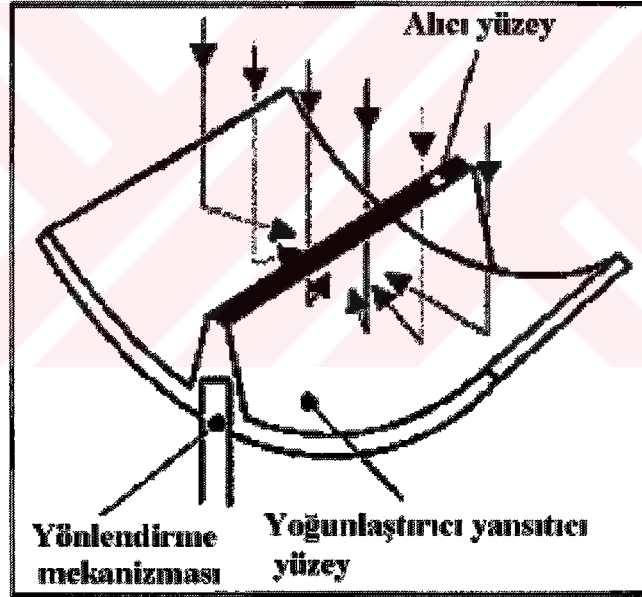
Güneş termik elektrik santrallerinde, güneş enerjisi ile elde edilen buhar gücünden, klasik termik santrallerde olduğu gibi türbin-jeneratör ünitesi ile elektrik üretilmektedir. Bu santraller kollektörlerine göre gruplandırılır. Güneş termik elektrik santralleri heliostat tarlalı ve merkezi güç kuleli, parabolik oluk tipi odaklı kollektör tarlalı ve dağıtık parabolik çanak tipi kollektör tarlalı olabilmektedir. Özellikle ilk iki tipin büyük çapta elektrik üretimine uygun olduğu görülmüştür. Ünite güçleri 0.5-200 MW arasında olan veya büyük çapta elektrik üretimi amaçlanan koşullarda, parabolik oluk sistemler ile merkezi güç kuleli sistemler üzerinde durulmaktadır.

Merkezi güç kuleli santrallerde, geniş alana yayılmış yüzlerce ayna merkezi bir kule üzerindeki toplayıcıya ışık odaklarlar. Toplayıcı içerisindeki tuzlu eriyik enerjiyi depolar, bu eriyiğin avantajı ısıyı verimli tutmasıdır. 700 °C'ye kadar ısınan eriyiğin ısısı, buhar elde edilerek türbine göndermek için kullanılır. Elde edilen mekanik enerji jeneratör yardımıyla elektrik enerjisine çevrilir ve şebekeye verilir. Soğuyan tuz ise aynı döngüye tekrar girer.



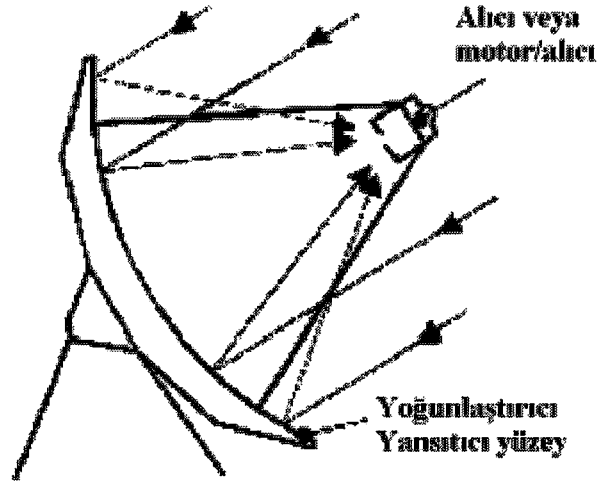
Şekil 3.7 Heliostat tarlalı ve merkezi güç kuleli elektrik santrali

Günümüzün gelişmiş sistemi olan parabolik oluk sistemde, silindirik odaklı kollektörler, bir diğer deyişle güneş radyasyonunu yoğunlaştırıcı (konsantratör) üniteler kullanılmaktadır. Konsantratörler, radyasyonu odak boyunca uzanan alıcı boru üzerinde toplamaktadır ve içerisindeki sıvı yoğunlaşmış enerjiyle ısıtılır. Yoğunlaştırma oranları 1/10 ile 1/100 arasında ve çalışma sıcaklıkları da 400 °C düzeyindedir. Isı transfer akışkanı olarak daha çok yağ kullanılmaktadır. Isıtılan akışkan merkez üniteye boru hattından gönderilmekte ve ısının buhara transferinden sonra turbo-jeneratör ile elektrik üretilmektedir. Bu tip kollektörlerden oluşan tarlalarda kuzey-güney eksenini boyunca paralel dizilmiş bir çok kollektör yüksek miktarlarda enerji üretilmektedir. Bu tip sistemler, güneş ışığı alamadığı saatlerde de enerji üretebilmesi için termal enerji depolayıcı sistemlerle birlikte kurulumlar. Zaman zaman fosil yakıt türleriyle birlikte enerji üretimi için kullanılabilirler. Parabolik oluk sistemin ilk olarak Fransızların 0.5 MW'lik VIGNOLA santralinde kullanıldığı görülmüştür.



Şekil 3.8 Parabolik oluk tipi odaklı kollektör örneği

Dağınık parabolik çanak tipi kollektörler, yansıtıcı, toplayıcı ve bir motordan oluşur. Elde edilen enerji termal enerjiye dönüştürülebilir veya soğuk bir akışkanın ısıtılarak genişmesi sağlanabilir. Genleşen sıvının hareketiyle oluşan mekanik enerji türbin veya pistonla iletilir. Tek bir çanak sistemi 25 kW güç üretebilmektedir.



Şekil 3.9 Dağınık parabolik çanak tipi kollektör

Güneş enerjisi dünyada en bol bulunan ve en kolay erişilebilen enerji yenilenebilir enerji kaynağıdır. Doğal ısıtma ve soğutma sistemlerinde kullanılarak binaların gereksiz ve aşırı enerji tüketimini önlenir. Küçük ve modüler oldukları için kolay taşınır monte edilebilirler. Enerjiyi kullanabilmek için kurulan sistemlerde hareketli parça olmaması bakım maliyetlerini yok denebilecek kadar azaltır. Şebekeden uzak olan yerlerde enerji üretimini yapılabilmesine olanak sağlar.

Güneş termik santrallerine ait odaklı kollektör tarlalarında veya heliostat tarlalarında aşırı radyasyon yoğunlaşması ve ışık kirliliği yaratabilmektedirler. Sistemlerin verimleri düşüktür. Büyük enerji santralleri kurulum için geniş alanlara ihtiyaç duyarlar.

Gelecek için yeryüzü güneş santrallerinden başka, uzaya yerleştirilecek kollektör uydusu ve dünya bağlantılı jeosenkronize güneş santrallerinin kurulması amaçlanmaktadır. Dünyadan 36000 km uzaklıkta ve 10000 MW güçlü bir uzay santralinden üretilecek elektrik enerjisi, santralin 1 km çaplı anteninden mikrodalgalarla dünyaya iletilecek, dünyadaki 7 km çaplı bir anten bu enerjiyi yüzde 55-75 tesirlilikte alıp, doğru akım verebilecektir. Bu proje Amerika Apollo Uzay programında yer almıştır (Varlı, 2004).

### 3.5 Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde yoğunlaşarak birikmiş ısının etkisiyle sıcaklıkları atmosferik sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü

sularına göre daha fazla erimiş mineraller ve çeşitli tuzlar içerebilen sıcak su, buhar ve gazlar olarak tanımlanabilir. Ayrıca herhangi bir akışkan içermemesine rağmen bazı teknik yöntemlerle ısısından yararlanan, yerin derinliklerindeki “Sıcak Kuru Kayalar” da jeotermal enerji kaynağı olarak nitelendirilmektedir. Jeotermal enerji daha önceki yenilenebilir kaynaklar gibi güneş enerjisinin değil, dünyanın iç enerjisinin bir sonucudur. Günümüzde jeotermal enerji, elektrik üretiminde, alan ısıtması ve soğutması, ısı pompaları, endüstriyel işlemler, sera evleri ısıtması, sağlık, kimyasal madde eldesi gibi direkt uygulama alanlarında kullanılmaktadır.

Dünyanın en üst katmanı litosfer adıyla anılır ve 95 km kalınlığında kayalardan oluşmaktadır. Bu katmanın alt tabakalarında sıcaklığın 1400 °C'ye ulaşmaktadır. 19. yüzyıl sonlarından beri bilim adamları bu enerjiden faydalanmanın yollarını aramaktadırlar. Bu enerjiyi değerlendirme konusunda yeraltından gelen su ve buhardan faydalanılmıştır. Eğer yerkabuğunda doğal su dolaşımı sağlayacak yeterli kırık yoksa ve ısı birikimi tespit edilmişse, oluşturulacak yapay kırıklardan dolaştırılacak akışkanlarla da enerji elde etmek mümkündür. Genellikle depremlerin ve volkanik faaliyetlerin sık gerçekleştiği tektonik levha diye bilinen bölgelerde jeotermal faaliyet fazladır.

Jeolojik kaynakların tespiti için jeolojik, jeofizik, hidrolojik, jeokimya gibi etütler gerçekleştirilir. Kaynağın gerçek kapasitesi kuyunun açılmasıyla ortaya çıkar ve genel olarak kuyudan çıkan kaynak buhar-su oranına göre 3 grupta nitelendirilir:

- Kuru buhar,
- Buhar çoğunluklu karışım,
- Su çoğunluklu karışım

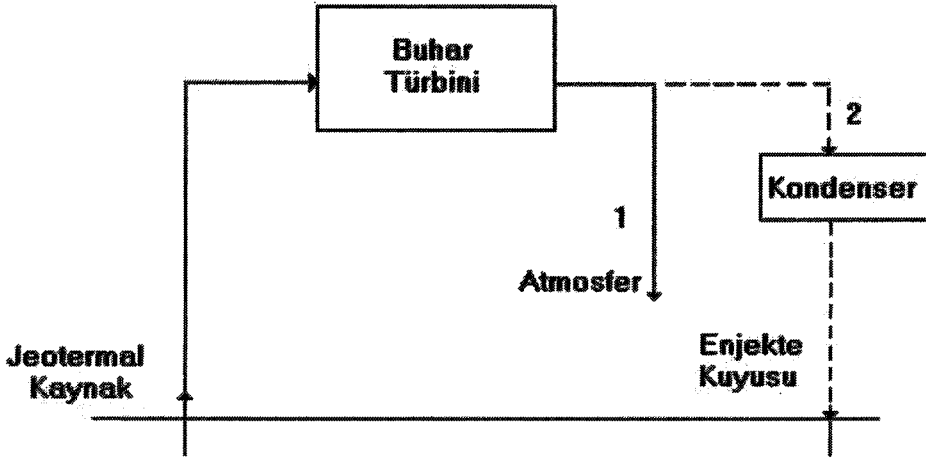
Jeotermal kaynaklar akışkanların sıcaklıklarına ve taşıdıkları ısı enerjisine bağlı olarak düşük entalpili (akışkan sıcaklığı MTA'ya göre 20-70 °C, yeni literatürlere göre < 160 °C), orta entalpili (akışkan sıcaklığı MTA'ya göre 70-180 °C, yeni literatürlere göre 160-190 °C) ve yüksek entalpili (akışkan sıcaklığı >180 veya 190 °C) olarak da ayrılmaktadırlar. Düşük ve orta entalpili kaynaklar özellikle ısı amaçlı kullanılır. Orta entalpili jeotermal akışkanın elektrik üretiminde kullanılması yeni teknolojilerle olanaklıdır. Düşük entalpili akışkanların kaplıca-termalizm uygulamaları önemlidir. Yüksek entalpili akışkanlar ise elektrik üretimi ve buna entegre diğer işlemlerde kullanılırken, orta ve düşük sıcaklıkta olanlar direkt uygulamalarda tercih edilmektedir. (TÜSİAD Enerji Raporu, 1998)

Isıdan yararlanmak için kapalı-döngü ve açık-döngü olmak üzere iki yöntem kullanılır. Açık döngü sistemlerde yeraltından gelen su santralde kullanılır. Gelen suyun ısısından enerji elde edildikten sonra soğuyan su tekrar ısınması için yeraltına gönderilebilir veya atmosfere atılır. Bu sistemler kapalı olanlara göre daha düşük maliyetlidir. Kapalı döngü sistemlerin, yer altından çıkan suyun yaratabileceği kirliliğin önlenmesi konusunda avantajları vardır. Yeraltından gelen suyun kayalarda biriken arsenik, civa, klor, sülfür, metan, karbondioksit gibi gaz, metal veya mineralleri de beraberinde yüzeye çıkarması çevre için risk oluşturabilmektedir. Kapalı sistemlerde bu maddeler çevresel etki oluşturmadan geldikleri noktalara geri bırakılırlar.

İlk jeotermal elektrik santrali İtalya-Larderello'da 1904 yılında işletmeye alınmıştır. Jeotermal sistemlerin elektrik santrallerinde kullanımı dünyada son yıllarda hızla artmıştır. Jeotermal enerjiden elektrik enerjisi üretiminde değişik santral tipleri kullanılmaktadır.

Suyu ısıtmak ve buharlaştırmak için fosil yakıt kullanılarak çevreyi kirletecek herhangi bir işlem yapılmadığından, jeotermal enerji çevre dostu bir enerji türüdür. Ancak jeotermal akışkanın korozyona ve kireçlenmeye sebep olabileceği, içerdiği bor yüzünden tarımsal sulamaya uygun olmadığı, yapısındaki karbondioksit ve hidrojen sülfür gibi gazların açığa çıktığı bilindiğinden, jeotermal enerji uygulamalarında bazı teknolojik önlemlerin alınması gereklidir. Hem rezervuar parametrelerinin korunması hem de jeotermal suyun ve gazların çevreye zarar vermesinin önlenmesi için, tüm dünyada yasalarla zorunlu hale getirilmiş olan reenjeksiyon (akışkanı yer altına geri verme) uygulanmalıdır. Bu durumda jeotermal enerji olumsuz çevresel etki oluşturmadan enerji sağlar.

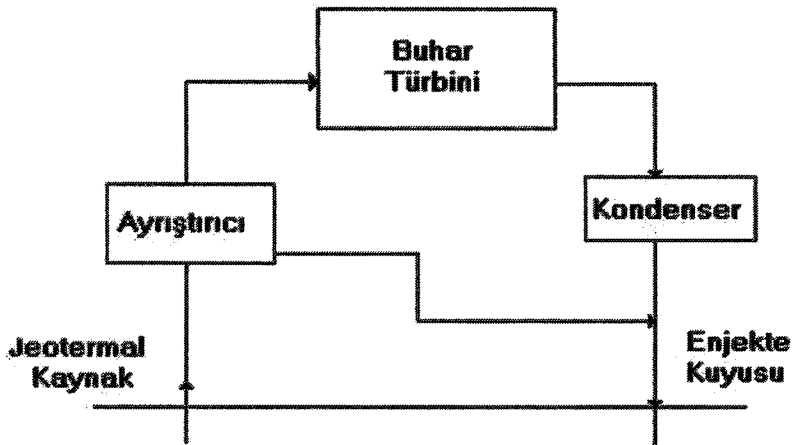
*Kuru buharlı jeotermal santraller:* Tüm jeotermal santral içerisinde yapı olarak en basit olanlarıdır. Bu santrallerde kuyudan çıkarılan doymuş-kızgın buhar doğrudan türbinden geçirilerek enerji elde edilir. Dünyada bu tipte kaynaklar sınırlı sayıdadır. Türbinden çıkan gaz kondenserden geçirilmeden atmosfer basıncında dışarıya verilebildiği gibi, bir kondenser aracılığıyla atmosfer basıncının altında türbini terk ederek toprak altına veya suya verilmesi sağlanabilir. Kondenser, sisteme ekstra maliyet getirmekle birlikte buharın sistemi daha düşük enerjide terk etmesi sağlandığı için ısı enerjisinin daha büyük bir oranı güce çevrilmiş olur. Bu yüzden kondenserli kuru buhar çevrimi kondensersizlere göre daha çok elektrik enerjisi elde edilmesini sağlar.



Şekil 3.10 Kuru buharlı jeotermal santral

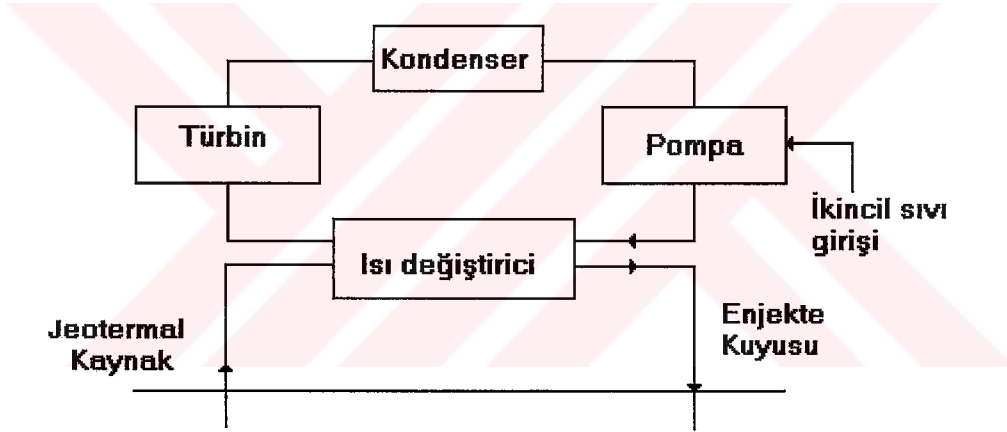
1-Kondensersiz çevrim 2-Kondenserli çevrim

*Buhar Ayırmalı Santraller:* Yeryüzüne ulaşan jeotermal sıvılar çoğunlukla sıvı-gaz karışımından oluşmaktadırlar. Jeotermal kaynakta fazla olan sıvı miktarı yüzeye yaklaştıkça düşen basınç nedeniyle gaz haline dönüşmeye başlar. Kaynaktan gelen sıvı-gaz karışımı türbinden önce ayırıcıya yönlendirilir. Burada ayrıştırılan gaz buhar türbinine yönlendirilirken, sıvı fazdaki akışkan re-enjeksiyonla kuyuya basılır. Şayet sıvı fazdaki akışkanın enerjisi yüksekse ikinci bir ayırıcıya yönlendirilebilir ve düşük basınçla çalışabilen ikinci bir türbin harekete geçirmek için ayrıştırılan gaz tekrar püskürtülür. Bu sistemle verim artırılır ancak santralin kurulum maliyeti ilave sistemlerin eklenmesi nedeniyle artmış olur.



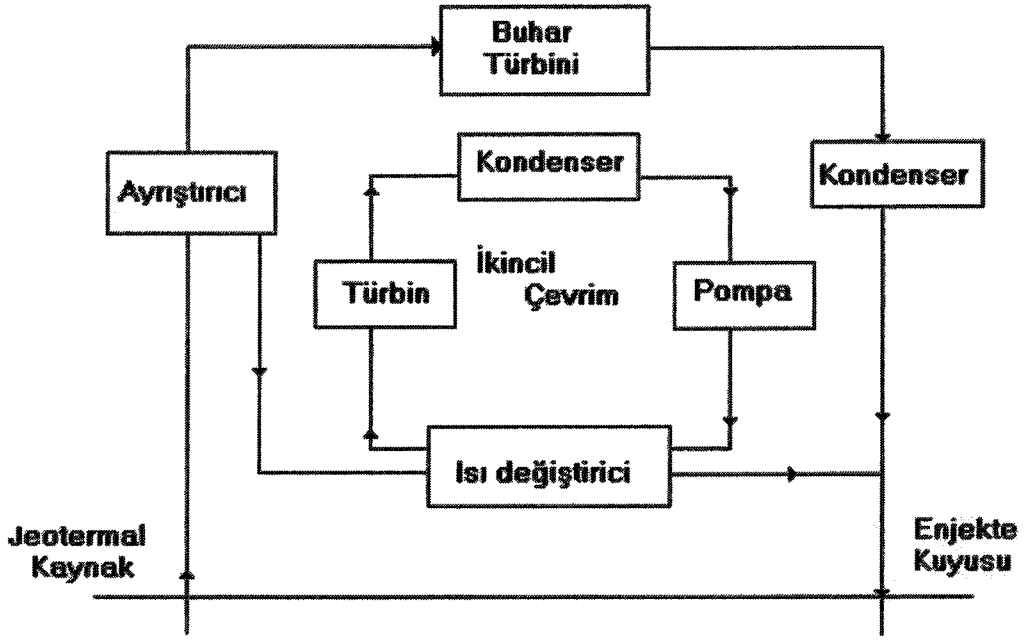
Şekil 3.11 Tek püskürtmeli jeotermal santral

*İkincil (Binari) çevrim santraller:* 170°C ve altındaki sıvı ağırlıklı kaynaklardan elektrik üretilmesi için kullanılan bir yöntemle çalışır. Burada türbinden geçen buhar jeotermal sıvıdan kaynaklanan buhar değil, kaynama noktası suyunkinden daha düşük olan farklı bir akışkanın buharıdır. Bu tip santrallerde akışkan kuyudan yüksek basınç altında sıvı olarak çıkartılır ve pompalarla ısı değiştiricisine gönderilir. Burada ısını ikinci akışkana aktarır ve ikinci akışkan buhar olarak türbine yönlendirilir. Türbinin mekanik enerjisi bir shaft vasıtasıyla jeneratöre aktarılarak elektrik üretilir. Türbinden çıkan ikinci akışkan yoğunlaştırılır ve yeniden ısı değiştiricisine gönderilir. İkincil akışkanın tamamladığı bu çevrim, termodinamikte ORC (Organik Rankin Çevrimi) olarak adlandırılır. Bu tip santrallerde ikincil akışkan olarak freonlar veya hidrokarbonlar kullanılır ve santral verimleri yüksektir. Dezavantajları ikincil akışkan ve ısı değiştiricisinin maliyetinin yüksek oluşudur. Ayrıca ikincil akışkan hidrokarbonlar'ın yanıcı oluşu, kullanıldıkları takdirde risk oluşturmaktadır.



Şekil 3.12 İkincil (binari) çevrim santraller

*Kombine püskürtmeli-ikincil çevrim santraller:* Gerek ikincil çevrim santrallerin gerekse püskürtme sisteminin avantajlarından yararlanmak için dizayn edilmiştir. Santral için yüksek sıcaklıkta kaynak gereklidir. Jeotermal sıvı ayrıştırıcıdan geçirilerek buhar kısmı türbine püskürtülür. Türbinden ayrılarak kondensere geçen sıvı ısı değiştiricisine gönderilir ve ikincil sıvıya enerji aktarımı sağlanır. İkincil sıvı ayrı bir türbine püskürtülerek elektrik üretilir. İki ayrı türbinde iki kademeli yapılan elektrik üretimi jeotermal kaynaktan en üst seviyede yararlanılmasını sağlar.



Şekil 3.13 Kombine püskürtmeli-ikincil (binari) çevrim santraller

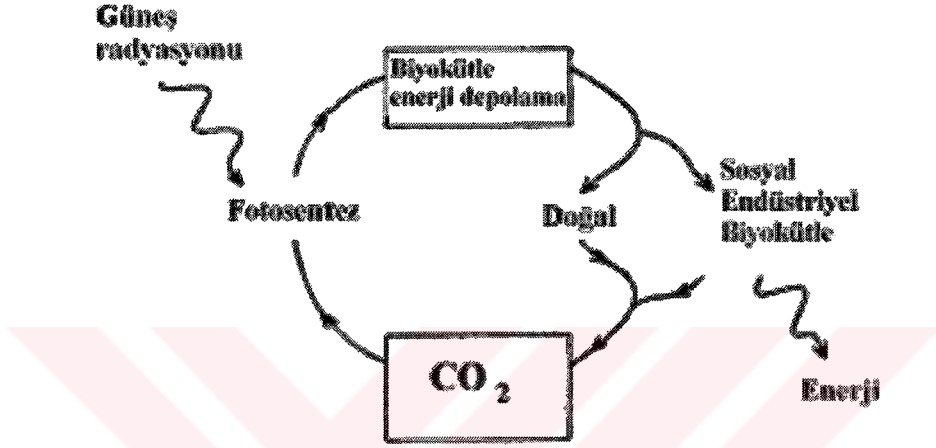
Yukarıdaki santrallerde kullanılan kondenser sistemleri genellikle devir daim yapan soğuk suyla beslenir. Bu tip uygulamalarda soğutma kuleleri inşa edilmektedir. Su soğutmalı santrallerin su kaynaklarına yakın olması gerekmektedir. Ayrıca yıl boyunca hava sıcaklığı değerleri dikkate alınarak uygun yerlerde soğutma hava ile yapılabilmektedir.

Jeotermal enerji, yeraltından sıvıyla birlikte gelen zararlı maddeler için gerekli tedbirler alındığı takdirde çevreye zararı olmayan temiz bir teknolojidir. Rüzgar, yağmur, güneş gibi meteorolojik koşullara bağlı olmadığı için daha güvenilir bir enerji kaynağıdır. Ancak reenjeksiyon uygulanmazsa ömürleri kısalmır. Güneş, rüzgar, hidrolik santrallere göre daha az alan işgal ederler. Jeotermal elektrik santralleri kolay ve hızlı inşa edilebilirler. Verimlilikleri başlangıçta gerekli yatırımların yapılması halinde yüzde 95'lere kadar çıkabilir.

Öte yandan bakımlarının düzenli ve dikkatli yapılmaması korozyona bağlı verim kaybına ve hasara yol açabilir. Bu da yüksek bakım maliyetleri sonucunu doğurabilir. Ayrıca ikincil sıvı kullanılan santrallerde kullanılan akışkanın toksin özelliğinin olmaması, yanıcı-patlayıcı özellikli maddeler için gerekli tedbirlerin alınması ve ozon tabakasını etkileyen gazlar kullanılmaması çevresel açıdan önemlidir.

### 3.6 Biyokütle (Biyomas) Enerjisi

Biyokütle, yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yoluyla kimyasal enerjiye dönüştürerek depolaması yoluyla meydana gelen biyolojik kütle ve buna bağlı organik madde kaynakları olarak tanımlanabilir. Biyokütle enerjisi yetiştiriciliğe dayalı olduğu için yenilenebilir, çevre dostu, yerel bir kaynak olarak önem kazanmaktadır.



Şekil 3.14 Biyokütle çevrimi

Biyokütle enerjisi kullanımı klasik ve modern olmak üzere iki grupta ele alınır:

**Klasik biyokütle:** Enerjisi konvansiyonel ormanlardan elde olunan yakacak odun, yine yakacak olarak kullanılan bitki ve hayvan atıklarından (özellikle tezekten) oluşmaktadır. Klasik biyokütle enerjisi kullanımının temel karakteri biyokütle materyalden enerjinin direkt yanma tekniği ile elde olunmasıdır. Sanayileşmemiş kırsal toplumlarda kullanımı yaygındır.

**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. Söz konusu biyokütle materyaller alçak ve yüksek biyokütle yakıt teknikleri ile işlenerek katı, sıvı ve gaz yakıtlara çevrilir. Biyokütle yakıtlar odun biriketi ve alkolden sentetik ham petrole kadar uzanmaktadır.

Biyokütle yakıt üretmek için piroliz, havasız çürütme, fermentasyon, gazlaştırma, biyofotoliz gibi yöntemlerle elde edilebilir. Biyokütle yakıtlar ısı ve elektrik üretimi için kullanılabilir. Biyokütle yakıtların fosil yakıtlarla karıştırılmış biçimde kullanılmaları

da olanaklıdır. Biyokütle kaynakları bitkisel, hayvansal atıklar veya endüstri atıkları olabilmektedir.

### 3.6.1 Biyokütle Yetiştiricilik

Biyokütle yetiştiricilik enerji ormanlarına ve enerji bitkilerine bağlı olarak yapılmaktadır. Bu yetiştiriciliğin amacı, modern biyokütle yakıt hammaddesini elde etmektir. Ormancılık ve tarıma dayalı bu yetiştiriciliğin temelinde enerji çevrimi olarak fotosentez yatmakta, hızlı fotosentezle çabuk büyüyen bitkiler üzerinde durulmaktadır. Klasik doğal ormanlardaki ağaç türlerine dayalı verimli baltalıklardan yılda en çok 7 t/ha odun üretmek olanaklı olup, buna göre odun plantasyonunun gücü 2.8 kW/ha kadardır. Ancak, kullanım verimine bağlı olarak özgül güç değeri düştüğünden, buhar üreten odun boylerli tesislerde 1 kW kurulu güç için gereken plantasyon alanı 1.43 ha düzeyine yükselmektedir. Enerji ormanlarında ise doğal orman veriminden yüksek verim aranmaktadır. Enerji ormanlarının verimi 15-35 t/ha arasında olup, yetiştiricilik dönemi 4-8 yıl kadardır. (Tübitak)

Enerji ormanları için uygun ağaç türleri, özellikle onların öze yakın yıllık halkalarını içeren hızla büyüyen genç odunları dikkate alınarak seçilir. Bu seçimde, yerli türlere öncelik vermek koşulu ile bölgeye en iyi uyabilecek türlerin seçiminde iyi sürgün vermesine, ayrıca çeşitli zararlı etkilere karşı dayanıklı olmalarına dikkat edilmesi gerekir. Yapraklı ağaçların genç odun büyümeleri daha hızlıdır. Dünyada enerji ormancılığında, karakavak, balzam kavakları, titrek kavaklar, söğüt, okaliptus gibi ağaçlar kullanılmaktadır.

Odun yongalanmış biçimde veya brikete dönüştürülerek modern biyokütle yakıt olarak değerlendirilmekte, kömür termik santrallerinde yongası kömüre karıştırılarak kullanılmaktadır. Ayrıca, odundan modern biyokütle yakıtlar olarak metil alkol, etil alkol, jeneratör gazı ve piroliz katranı elde edilebilmektedir.

Enerji tarımı ise tek yıllık veya çok yıllık C4 bitkileri ile yapılmaktadır. C4 tipi bitkiler grubuna tatlı sorghum, miskantus, şeker kamışı ve mısır gibi çok çeşitli bitkiler girmekte olup, ürünlerinden etanol, sentetik petrol, gaz yakıt ve katı yakıt elde edilerek, ısı ve elektrik üretiminde kullanılabilirler. Buğday, arpa, çavdar, şeker pancarı gibi C3 bitkilerinde yıllık üretim 10-30 t/ha.yıl ve birim yaprak yüzeyi başına günlük kuru madde üretimi 50-200 gr/m<sup>2</sup>yaprak.gün iken, C4 bitkilerinin verimi 60-80 t/ha.yıl ve kuru madde üretimleri 400-500

gr/m<sup>2</sup>yaprak.gün düzeyindedir. Biyokütleden yakma yolu ile enerji elde edilmesinde yanma verimi orta kalitede bir kömürünkiyle eşdeğerdir. Bunun yanında kömürden daha az kükürt ve kül oluşturur.

Ayrıca, yine bir yıllık endüstri bitkilerinden yağ üretiminde kullanılan bitkiler de enerji tarımı türleri arasındadır. Enerji bitkileri yetiştirme sürecinde ikinci ürün olmalıdır. C4 tipi bitkiler diğer bitkilere göre CO<sub>2</sub> ve suyu daha iyi kullanmakta, kuraklığa dayanıklı olmakta, fotosentetik verimleri de yüksek bulunmaktadır. Alkol üretiminde en yüksek verim 3500 lt/ha.yıl ile şeker kamışından sağlanmakta, bunu 3200 lt/ha.yıl ile odun, 3000 lt/ha.yıl ile sorghum izlemektedir. Mısır bitkisinde bu değer 2000 lt/ha.yıl düzeyindedir. Alkol, gelişmekte olan ülkelerde petrol ürünleri yerine kullanılmaktadır. Özellikle etil alkol, alkollü içkilerde, kimya sanayiinde, fuel oil yanında kazan veya benzin yakıtı olarak kullanılabilir. Şeker kamışından fermentasyon ve damıtma sonucunda yüzde 94-96 oranında etanol elde edilir. Araçlarda yakıt olarak kullanılan biyomotorin üretiminde bitkisel yağ olarak kolza, ayçiçek, soya ve kullanılmış kızartma yağları, alkol olarak metanol, katalizör olarak alkali katalizörler tercih edilmektedir.

### **3.6.2 Biyokütle Atıklar**

Biyokütle artıklar bitkilerden sağlanırken, tarım kesiminde biyokütle atıklar daha çok hayvansal yetiştiricilikten elde olunmaktadır. Hayvansal gübrenin samanla karıştırılıp kurutulmasıyla elde edilen tezek yakıt olarak kullanılmaktadır. Belediye çöpleri de biyokütle atıklardan sayılır. Biyokütle atıkların değerlendirilmesi için biyogaz tesisleri ile çöp termik santralleri gerekmektedir. Biyogaz tesislerinin daha çok kırsal kesim için uygun olmasına karşın, çöp termik santralleri şebeke ile bağlantılı elektrik üretim üniteleridir.

#### **3.6.2.1 Biyogaz**

Biyokütle materyalin yakma dışında en basit değerlendirmesi anaerobik fermantasyonla biyogaz üretimidir. Biyogaz, insan faaliyetleri sonucu üretilen organik içerikli çöpler, tarım faaliyetleri sonucu açığa çıkan hayvan dışkıları, pamuk, mısır, buğday gibi bitkilerin sap ve saman artıkları, şeker ve gıda faaliyetleri sonucu üretilen melas, meyve posaları gibi biyokütle materyalin anaerobik koşullarda bakterilerle organik aside dönüşme ve metan jenerasyonu işlevlerinden oluşan fermantasyon sonucunda elde olunmaktadır. 1 kg kuru organik maddeden

elde olunabilecek biyogaz miktarı 0.15-0.20 m<sup>3</sup> kadardır. Biyokütlenin geride kül ve curüftan başka birşey bırakmayacak şekilde hava ile belirli bir basınç altında ısıtılması sonucunda da yanar nitelikte gaz üretilebilir.

Biyogazı oluşturan bileşenler metan, karbondioksit, su buharı, hidrojen sülfür, amonyak, azot ve hidrojen dir. Bileşiminde kabaca % 55-70 CH<sub>4</sub> ve % 35-45 CO<sub>2</sub> ve az miktarda diğer gazlar bulunur. Biyogazın ısı değeri karışımdaki CH<sub>4</sub> yüzdesine bağlı olarak 19-27.5 MJ/m<sup>3</sup> arasındadır. Biyogaz üretimi sonucu kalan katı ve sıvı organik artık ise bitki besin değeri yüksek gübredir.

### 3.6.2.2 Çöp Termik Santralleri

Kentsel katı atıkların kontrollü olarak yakılması ve üretilen ısının önce buhar haline, buharın daha sonra türbin-jeneratörlerde elektrik enerjisine dönüştürüldüğü üretme teknolojisidir. Çöp termik santralleri enerji üretiminin yanısıra, çöp yok etme işlevi de görmektedir. Buradaki dezavantaj farklı ısı değerlerine sahip bir çok maddenin enerji üretiminde kullanılıyor olmasıdır. Bu santrallerden yalnızca elektrik üretilebileceği gibi, ısı ve elektriğin birlikte üretildiği kombine çevrim de yapılabilmektedir. İçinde % 35'den daha fazla su ihtiva eden biyokütle termokimyasal dönüşüm sonucu elektrik üretimi için uygun değildir.

Çöp yakıtların ısı değerleri değişik olmaktadır. Isıl değer konutsal atıklarda 6.2-8.4 MJ/kg, büyük yığın atıklarda 8-16.7 MJ/kg, ticarethane, sanayi ve belediye atıklarında 7.5-12.5 MJ/kg, kağıtsal atıklarda 14.2-15 MJ/kg, mutfak atıklarında 5.8-6.7 MJ/kg, plastik atıklarda 18-27.2 M/kg, tekstil atıklarında 17.1-20.5 MkJ/kg, kanalizasyon atıklarında (kuru organik fraksiyon olarak) 14.6-20.9 MJ/kg'dır. Bu değerlerin ortalaması bazı linyit santrallerinde kullanılan kömürün ısı değeriyle aynıdır. (TÜSİAD, 1998)

Bir çöp termik santralına gelen katı atıklar özel ızgaralı (bazen akışkan yataklı) ocakta yakılırken, sıvı atıklar aynı ocağa püskürtülmektedir. Baca gazları filtrasyondan geçirildiği için çevrede herhangi bir hava kirliliğine neden olmamaktadır. Çöp yanmadan önce çeşitli selektörlerden geçirilerek içerisindeki metalik malzeme ve cam gibi parçalar ayrılmaktadır. Dolayısıyla santralden enerjinin yanı sıra, hurda metal ve inşaat materyalleri alınmakta olup, kül de inşaat materyali olarak değerlendirilmektedir.

Biyokütle enerjisinin doğayla barışık bir enerji kaynağı oluşu, yüksek bir enerji potansiyeline sahip olması ve düşük CO<sub>2</sub> ve sera gazı üretimleriyle cazip enerji kaynaklarıdır. Üretilen CO<sub>2</sub> ise yeni biyokütle yetiştirilme sürecinde büyüme döngüsüne dahil olur. Yetiştirilmesi ve elde edilmesi kolay bir kaynaktır. Dağıtık üretim yapılabilmesi ve yeni iş alanları yaratması avantajlarıdır.

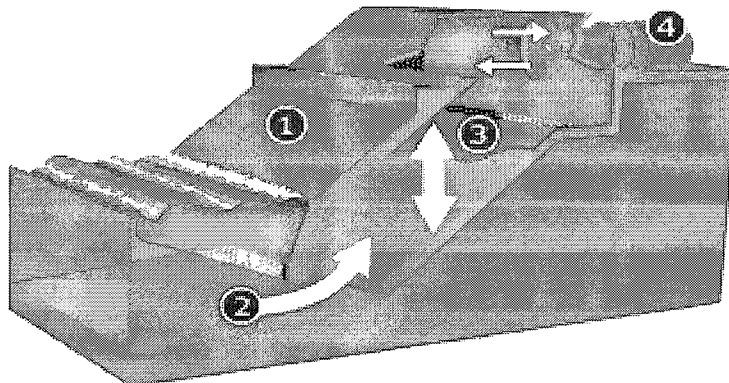
### 3.7 Deniz kökenli yenilenebilir enerjiler

Dünyanın en büyük enerji potansiyellerinden bir tanesi  $\frac{3}{4}$ 'ünden fazlasını kaplayan okyanuslarda biriken enerjidir. Okyanuslar dünyadaki en büyük güneş kolektörleri olarak düşünülebilirler. Okyanus enerjisi çevreyi kirletmeyen ve sürekli yenilenebilir bir enerji kaynağıdır.

Deniz kökenli yenilenebilir enerjiler şunlardır:

- Deniz dalga enerjisi,
- Deniz termal enerjisi,
- Deniz akıntıları enerjisi (boğazlarda),
- Gel-git (Medcezir) enerjisidir,
- Tuzluluk oranı,
- Metan gazı.

Dalga enerjisi rüzgar, denizdeki hareketli taşıtlar, deniz altında oluşan depremler gibi dış etkenler sonucunda dengesi bozulan deniz yüzeyinin tekrar eski haline gelirken oluşturduğu dalgaların enerji potansiyelidir. Dalga enerjisini kullanan sistemler, enerjiyi okyanus yüzeyindeki dalgalardan ya da suyun altındaki dalgalanmalardan elde eder. Her bir dalga geldiğinde çalışır ve bu dalgalar hidrolik motorlarla jeneratöre iletilerek enerji üretimi sağlanır. Yeni bir teknolojidir.

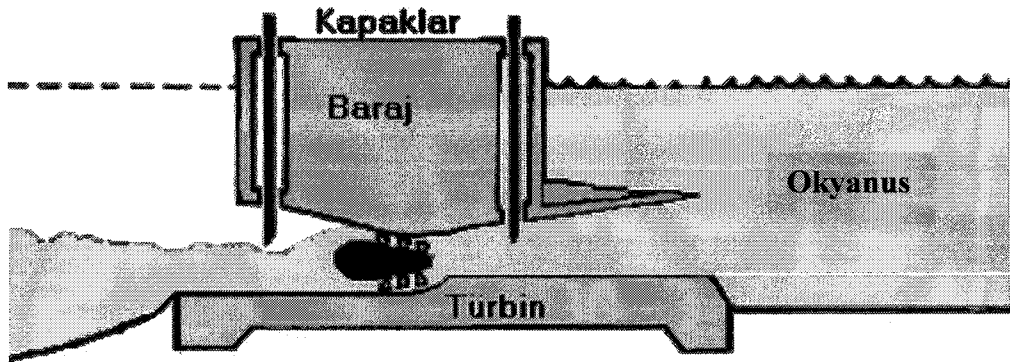


Şekil 3.15 Dalgadan elektrik enerjisi üretimi

- 1- Dalga toplama duvarı
- 2- Su içeriye basılır
- 3- Hava sırayla sıkışır ve genleşir.
- 4- Sıkışan hava türbini çevirir, enerji üretir.

Okyanus termal enerjisi sıcaklık akışına dayalı bir enerjidir. Güneş ışığı okyanus yüzeyine vurdukça, yüzey suyu derin sulardan daha sıcak hale gelir. Sıcaktan soğuğa doğru olan ısı akışı, deniz yüzeyinden aşağılara doğru güç oluşmasına neden olur. Yaklaşık 20 °C sıcaklık farkı bir güç türbinini hareket ettirmek için yeterlidir. Bunun dışında ısı değiştiricisi sistemlerinde amonyak kaynatılarak türbine gönderilmektedir. Bu tip santraller genellikle tropikal bölgelerdeki derin denizlere konumlandırılırlar. Böyle santrallerde ise üretilen elektrik enerjisinin kıyıya iletilmesi sorunu gündeme gelmektedir. Bu sebeple okyanus termal enerjisinin hidrojen, metanol gibi çeşitli yakıtların elde edilmesi amacıyla kullanılması daha caziptir. Bu tip sistemlerin deniz derinliklerindeki minerallerden faydalanılması ve temiz su elde edilmesi içinde faydalı olacağı düşünülmektedir.

Gelgit hareketlerinden elektrik üretmek için gelgit arasındaki farkın 5 metreden az olmaması gereklidir. En ideal bölgeler körfezlerdir. Gelgitlerden enerji elde etmek için körfeze boydan boya barikat kurularak gelgit suları sıkıştırılır, geri çekilen suyla birlikte seviye farkıyla yüksekte kalan su türbinlere gönderilir. Türbinler elektrik jeneratörleri vasıtasıyla elektrik üretir. İkinci bir teknoloji su altına yerleştirilen gelgit türbinleridir.

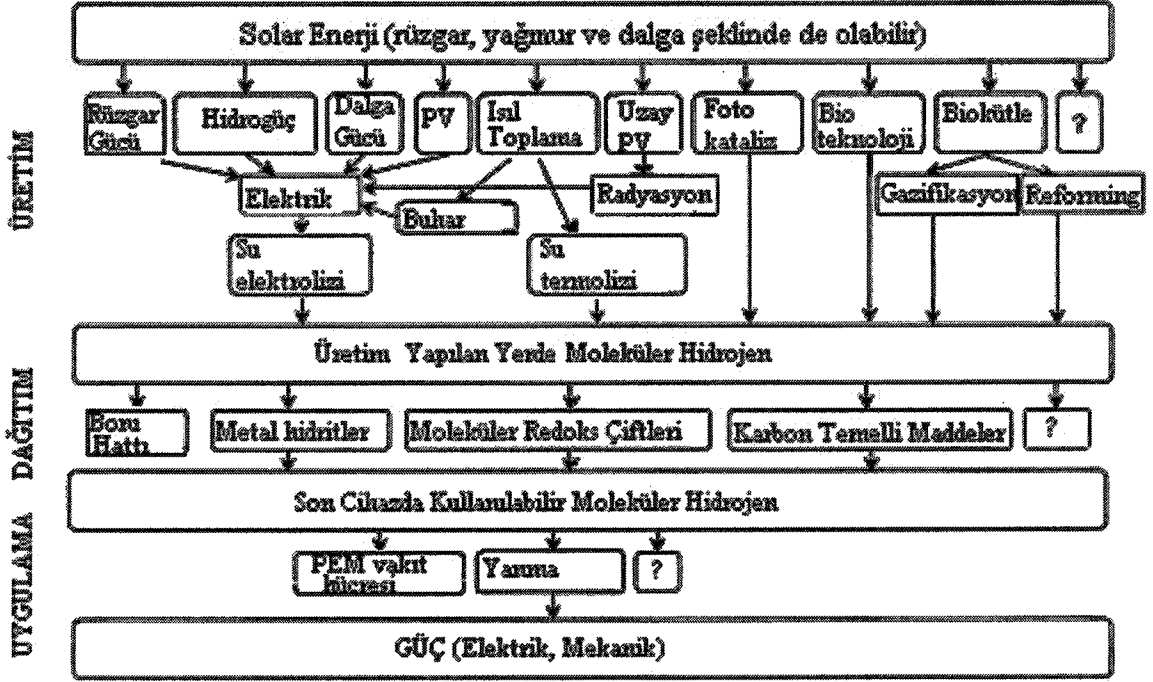


Şekil 3.16 Gelgit hareketlerinden elektrik enerjisi üretimi

### 3.8 Hidrojen Enerjisi

Yukarıda bahsi geçen yenilenebilir kaynaklar ısı veya elektrik elde edilmesi için kullanılan kaynaklardır. Dünyada son kullanıcı tarafından kullanılmakta olan birincil enerjinin yaklaşık dörtte biri elektrik enerjisi, dörtte üçü yakıt olarak kullanılmaktadır. Bu sebeple daha önce bahsedilen yenilenebilir enerjilerin, tüketicinin ihtiyacı olan enerji taşıyıcılarına dönüştürülmesi zorunluluktur. Bu noktada fosil yakıt kullanımını düşürecek ve yerini alabilecek, çevreye zararlı etki yapmayacak alternatif bir çözüm ihtiyacı vardır. Son yıllarda yapılan araştırmalar hidrojenin bu konuda çözüm olabilecek bir element olduğunu ortaya koymuştur. Geleceğin alternatif yakıtı olarak görülen hidrojene, enerji taşıyıcısı gözüyle bakılmaktadır. Hidrojen ikincil enerji şeklidir ve birincil enerji kaynaklarının tüketicie ulaştırılması için seçenek olarak ortaya çıkmıştır. Doğada bileşikler halinde bol miktarda bulunan hidrojen serbest olarak bulunmadığından doğal bir enerji kaynağı değildir. Bununla birlikte hidrojen birincil enerji kaynakları ile değişik hammaddelerden üretilmektedir ve üretiminde dönüştürme işlemleri kullanılmaktadır.

2010 yılından itibaren hidrojenin ticari amaçlar için kullanılması düşünülmektedir. Başlangıç maliyetlerinin yüksek olacağı tahmin edilse de, kullanımın artmasıyla birlikte maliyetin çok daha aşağılara ineceği düşünülmektedir. Hidrojen ile karşılaştırıldığında aynı miktarda enerji elde edebilmek için kabaca 3 kat daha fazla petrol ve 7 kat daha fazla kömüre ihtiyaç duyulmaktadır. İşte bu yüksek enerji/ağırlık oranı sebebiyle NASA uzaya gönderilen araçlarda yakıt olarak hidrojen kullanmaktadır. Bunun dışında bir çok alanda hidrojen kullanımı araştırmaları devam etmektedir. İçten yanmalı motorlar, gaz türbinleri, jet motorları, roket motorları, ısınma bunlardan bazılarıdır.



Şekil 3.17 Hidrojen üretim süreci

Hidrojenin enerji olarak üretimi, fosil yakıtlarda, su buharı ve metanın yüksek basınç ve sıcaklıkta kimyasal tepkime ile hidrojen ve karbondioksit dönüşmesiyle, petrol rafinerilerindeki hidrojen ve gazların toplanarak saflaştırılmasıyla ve sudan elektrik akımı geçirilerek, su moleküllerinin hidrojen ve oksijene ayrılmasıyla elde edilebilir. Biyolojik(bakteriler), fotokimyasal ve termokimyasal yöntemler de, hidrojen elde etmek amacıyla kullanılmaktadır.

Hidrojen yakıt hücreleri yardımıyla ve elektro-kimyasal çevrimle direkt elektrik üretiminde kullanılabilen bir yakıttır. Hidrojen karbon içermediği için yandığı zaman fosil yakıtlar gibi alevli yanmaz ve çevresel sorunlar yaratmaz. Isınmadan elektrik üretimine kadar çeşitli alanların ihtiyacına cevap verebilecektir. Sanayide, evde ve ulaşımda kullanılacak bir yakıttır. Gaz ve sıvı halde olabildiği için uzun mesafelere taşınabilecek ve iletimde kayıplar olmayacaktır. Diğer enerji şekillerine kolaylıkla dönüştürülebilir ve bu konuda fosil yakıtlara göre yüzde 40 daha verimlidir. Dönüşüm veriminin yüksek oluşu ve kullanım güvenliği sağlaması hidrojen enerjisinin avantajlarıdır. Güvenlik açısından hidrojen, propan ve metan'ın (doğal gaz) arasında yer alır ve her ikisinden daha hafif olduğu için kaçak halinde yer seviyesinde birikmeyerek atmosferde yükselerek dağılır.

## BÖLÜM 4

### TÜRKİYE’İN YENİLENEBİLİR ENERJİ POTANSİYELİ ve GLOBAL POZİSYONU

#### 4.1 Giriş

Hidrolik, rüzgar, güneş, jeotermal, biyokütle gibi enerjilerin yenilenebilir enerji kaynakları olarak nitelendirilmektedir. Bu enerji kaynakları, fosil yakıtlar gibi sınırlı olmayışları nedeniyle dünyada olduğu gibi ülkemizde de artan enerji talebinin karşılanabilmesi için ciddi birer alternatiftirler. Öte yandan yine fosil enerji kaynakları ile yapılan üretimde ortaya çıkan çevre kirliliği dünyada ve ülkemiz gündeminde önemli yer tutmaktadır.

Gelişmiş ülkeler yenilenebilir enerji kaynakları için araştırma-geliştirme ve kurulum yatırımlarını her geçen yıl daha da artırmaktadır. Konuyla ilgili araştırmalara, ülkemizde de 1960-1970 döneminde başlanmış olmasına rağmen bir takım sebeplerden dolayı çok fazla ilerleme kaydedilememiştir. Türkiye başta hidrolik, rüzgar, jeotermal, güneş olmak üzere yenilenebilir kaynak potansiyeli yüksek bir ülkedir. Son yıllarda, teknolojinin ucuzlaması ve yaygınlaşması ile, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılabilmesi için bu potansiyelden daha fazla yararlanılmaya başlanmıştır.

Bu bölümde Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli ve uygulamaları ele alınacaktır. Ülkemizin pozisyonunun daha net ortaya konulabilmesi için yer yer dünyadan örnekler ve benzer veriler değerlendirilecektir.

#### 4.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Türkiye

Türkiye başta biyokütle, hidrolik, rüzgar, jeotermal, güneş olmak üzere dünyada yenilenebilir kaynak potansiyeli açısından zengin ülkelerden birisidir. Türkiye’nin 2002 yılı itibariyle birincil enerji tüketimi 76.4 Milyon TEP olmakla birlikte bunun %13’lük bir kısmını yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmektedir. Yenilenebilir enerji kullanımının yüzde 59.7’si biyokütleden (yüzde 46.8 odun, yüzde 12.9 hayvan ve bitki artıkları), yüzde 29’u hidrolik, yüzde 11’i ise güneş, jeotermal, rüzgar gibi diğer kaynaklardan sağlanmaktadır.

Çizelge 4.1 2002 Yılı için Türkiye Enerji Dağılımı (MTEP) (Altuntaşoğlu, 2003)

YIL	Taşkömürü, linyit, asfaltit	Petrol	Doğal Gaz	Yenilenebilir Kaynaklar	Toplam
2002	19.475	30.777	16.128	10.013	76.393

Yenilenebilir enerji kaynakları, yüzde 13'lük dilimin içerisinde aşağıdaki şekilde bir dağılıma sahiptir.

Çizelge 4.2 2002 Yılı Türkiye Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından yararlanma oranları (MTEP) (Altuntaşoğlu, 2003)

YIL	Hidrolik (Elektrik)	Rüzgar (Elektrik)	Jeotermal Isı	Jeotermal Elektrik	Güneş	Biyokütle (odun, hayvan, bitki, atık)	
2002	2.897	0.004	0.730	0.09	0.318	4.684	1.29
Toplam YEK'e oranı	% 29	% 0.04	% 7.3	% 0.09	%3	% 46.8	%12.9

Elektrik enerjisi perspektifinden bakıldığı zaman Türkiye'nin 2002 yılı elektrik enerjisi kurulu gücü 31665,8 MW'tır. Bu gücün 19406 MW'lık kısmını (% 61.28) termik santraller, 12240,9 MW'lık ( % 38.66) kısmını hidrolik santraller, 19 MW'lık kısmını (% 0.06) jeotermal, 19 MW'lık kısmınıysa (% 0.06) rüzgar santralleri oluşturmaktadır. Elektrik enerjisi üretimi açısından ele alındığıdaysa 2002 yılı içerisinde 129399,5 GWh elektrik enerjisi üretilmiş, bunun yüzde 73,9'unu termik santraller, yüzde 26'sını hidrolik santraller, % 0.1'ini jeotermal ve % 0.04'lük bölümünü de rüzgar santralleri üretmiştir. Ülkemizde hidrolik enerji dışında kalan yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı çok düşük seviyelerdedir. Çizelge 4-3 Türkiye'de kurulu güç, üretici kuruluşlar ve enerji kaynaklarının dağılımı konusunda bilgi vermektedir. (Altuntaşoğlu, 2003)

Cumhuriyetin ilk yıllarında kişi başına elektrik enerjisi tüketimi 7 kWh olan ülkemizde günümüzde kişi başına düşen elektrik enerjisi tüketimi 1817 kWh civarındadır. Bu rakam Avrupa ülkelerinde ortalama 6457 kWh seviyelerindedir. Elektrik enerjisi tüketimi dünya ortalaması ise 2343 kWh olmakla birlikte ülkemizdeki tüketim bu değer altında kalmaktadır. Ancak gelişmekte olan bir ülke olması nedeniyle Türkiye'nin enerji talebi hızla artmaktadır ve bunu karşılayacak kaynaklara ihtiyaç duyulmaktadır. Son yıllarda bu açık, fosil kaynaklı yakıtlar olan petrol ve doğal gaz ithalatını arttırmıştır.

Çizelge 4.3 EÜAŞ verilerine göre Türkiye'nin 2002 yılı kurulu gücü

EÜAŞ VERİLERİNE GÖRE 2002 YILI ELEKTRİK KURULU GÜÇÜ								
Üretim Tipi	2002 Yılı		Üretici Kuruluşlar	2002 Yılı		Enerji Kaynağı	2002 Yılı	
	MW	Oran (%)		MW	Oran (%)		MW	Oran (%)
Termik	19.406.0	61.28	EÜAŞ	21.586.8	68.17	Taşkömürü + Linyit	6.985.4	22.06
Rüzgar	18.9	0.06	Otoprodüktörler	3.649.6	11.53	Akaryakıt	2.295.8	7.25
Hidrolik	12.240.9	38.66	Ayrıcalıklı Şirketler	1.120.3	3.54	Doğalgaz	8.363.0	26.41
<b>Toplam</b>	<b>31.665.8</b>	<b>100.00</b>	Üretim Şirketleri	4.659.0	14.71	Jeotermal	19.0	0.06
			İşletme Hakkı Devri	650.1	2.05	Rüzgar	19.0	0.06
			<b>Toplam</b>	<b>31.665.8</b>	<b>100.00</b>	Su	12.242.0	38.66
						Diğer	1.741.6	5.50
						<b>Toplam</b>	<b>31.665.8</b>	<b>100.00</b>

Yukarıdaki çizelgeye bakıldığında ülkemizde termik ve hidrolik enerjiye dayalı elektrik üretimi yapıldığı açıkça görünmektedir. Ancak Türkiye'de değerlendirilmeye açık yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli incelendiğinde, şu anki kurulu güçten ve yıllık elektrik enerjisi üretiminden çok daha fazla ekonomik potansiyele sahip olduğumuz yönünde sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Burada durumun daha net ortaya konulabilmesi için, konuyla ilgili şu tanımların yapılması gerekmektedir:

**Teknik yapılabilirlik:** Projenin gerçekleşebilmesi için engel teşkil edecek bir mühendislik sorununun olmamasını ifade eder.

**Ekonomik yapılabilirlik:** Projenin toplam yıllık getirisinin, yıl boyunca olan giderinden daha fazla olması anlamına gelmektedir.

Teknik ve ekonomik yapılabilirlik tanımlamalarının yanında kaynak büyüklüğünü ifade edecek aşağıdaki kavramlardan da yararlanılmaktadır.

**Brüt potansiyel:** Mevcut kaynakların üretim potansiyelinin teknik ve ekonomik yapılabilirlik koşulları göz önüne alınmadan hesaplanmasıdır.

*Teknik potansiyel:* Ekonomik yapılabilir olması koşulu göz önünde bulundurulmadan, enerji kaynaklarının “teknik yapılabilir” olanlarının değerlendirilmesi durumunda erişilebilecek enerji miktarıdır.

*Teknik ve ekonomik potansiyel:* Ülkenin brüt enerji kaynaklarının hem teknik hem de ekonomik olarak yapılabilir sıfatını taşıyan bölümüdür.

Aşağıdaki çizelge Türkiye'nin bu tanımlamalara bağlı olarak belirlenmiş yenilenebilir enerji potansiyellerini ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.4 Türkiye'nin yıllık yenilenebilir enerji potansiyeli (Gençoğlu, 2002)

Yenilenebilir Enerji Türü		Kullanım Enerji Türü	Doğal Potansiyel	Teknik Potansiyel	Ekonomik Potansiyel
Güneş Enerjisi		Elek.Enj.(milyar kWh)	977000	6105	305
		Isı (MTEP)	80000	500	25
Hidrolik Enerji		Elek.Enj.(milyar kWh)	430	215	124,5
Rüzgar Enerjisi	Direkt Rüzgar Enj. Karasal	Elek.Enj.(milyar kWh)	400	110	50
	Direkt Rüzgar Enj. Denizsel	Elek.Enj.(milyar kWh)	-	180	-
	Deniz Dalga Enj.	(milyar kWh)	150	18	-
Jeotermal Enerji		Elek.Enj.(milyar kWh)	-	-	1,4
		Isı (MTEP)	31500	7500	2843
Biyomas Enerjisi		Yakıt (klasik MTEP)	30	10	7
		Yakıt (modern MTEP)	90	40	25

Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelinin değerlendirilmesi için Enerji Bakanlığı, DSİ, EÜAŞ, EİEİ, EPDK gibi kamu kurum ve kuruluşları konuyla ilgili araştırma, planlama ve yatırımlar yapmaktadır. Bu kurum ve kuruluşların araştırmaları neticesinde, uzun vadede uygulanacak enerji politikaları belirlenmekte, yatırımlar ve teşvikler bu kararlara göre yönlendirilmektedir.

### 4.3 Türkiye'de Hidrolik Enerji

Hidrolik enerji Türkiye'nin önde gelen ulusal ve yenilenebilir olan enerji kaynağıdır. Türkiye hidroelektrik potansiyel bakımından şanslı bir ülke olmasına rağmen, yağış rejimi zaman ve

yer bakımından oldukça düzensiz ve dengesizdir. Yılda ortalama 643 mm olan yağışlar 501 milyar m<sup>3</sup> suya karşılık gelmektedir. Bunun 186 milyar m<sup>3</sup> lük kısmının çeşitli büyüklükteki akarsularla denizlere ve göllere doğru akışa geçtiği kabul edilmektedir. Tam regülasyon olmayışı güvenilir enerji katkısının yüzde 65 seviyesinde kalmasına yol açmaktadır.

Dünyada 1997 yılı verilerine göre toplam enerji ihtiyacının yüzde 3'ünü karşılayan hidrolik enerjinin elektrik üretimindeki payı yüzde 17'ler civarındadır. Bu orana bakıldığında ülkemizde elektrik üretiminde yüzde 26'luk paya sahip olan hidrolik enerji kullanımının dünya ortalamasının üzerinde olduğu görülmektedir.

Türkiye'de hidroelektrik enerji üretiminin gelişimi 1960'lı yıllardan itibaren gerçekleşmiştir. Bu yıllardan itibaren hidroelektrik enerji Türkiye üretiminde son yıllara kadar ortalama yüzde 30-45 oranında yer almıştır. Doğal gaz santrallerindeki artışa bağlı olarak son yıllarda bu oran aşağılara inmektedir. Aşağıdaki çizelge Cumhuriyetin kuruluşundan sonra hidroelektrik enerji üretiminin aldığı yolu açıkça göstermektedir.

Çizelge 4.5 Yıllara göre Türkiye'de hidroelektrik enerji üretimi (Öziş ve Baran, 2003)

YILLAR	HİDRO ELEKTRİK ÜRETİMİ (GWh/yıl)	BRÜT ELEKTRİK ENERJİSİ TÜKETİMİ (GWh/yıl)	HİDROELEKTRİK ÜRETİMİN PAYI (%)
1930	7	106	7
1935	12	213	6
1940	14	397	4
1945	24	528	5
1950	30	790	4
1955	90	1.580	6
1960	1.001	2.815	35
1965	2.179	4.953	44
1970	3.033	8.623	35
1975	5.904	15.719	37
1980	11.348	24.616	46
1985	12.045	36.351	33
1990	23.147	56.812	41
1995	35.540	85.551	42
2000	42.216	128.276	33

Türkiye’de brüt hidroelektrik enerji potansiyeli yıllık yaklaşık 430 milyar kWs olarak hesaplanmış olup, bunun teknik yönden değerlendirilebilir kısmı yıllık 215 milyar kWs’tır. Hidroelektrik enerji brüt potansiyeli hesaplanırken, bütün doğal akıslarda deniz ya da kapalı havzalarda göl seviyesi baz alınarak yüzde 100 verimle enerji üretileceği varsayılmıştır. Öte yandan hidroelektrik santrallerde net düşünün toplam düşüye oranı ortalama 0,7, türbinden geçen suyun tesisin bulunduğu yerdeki akıma oranı 0,9 ve şalt sahasında elde edilen gücün suyun türbinlerde oluşturduğu mekanik güce oranı 0,8 kabul edilerek hesaplanan etki katsayısı ile teknik potansiyel şu şekilde hesaplanmaktadır (Bayoğlu, 2003):

$$\text{Teknik potansiyel} = \text{Brüt potansiyel} * 0,7 * 0,9 * 0,8 \quad (4.1)$$

Türkiye 430 milyar kWs olan brüt hidroelektrik potansiyeli ile dünya hidroelektrik potansiyelinde yüzde 1 paya sahiptir. Türkiye’nin 2003 yılı başı itibariyle teknik ve ekonomik hidroelektrik potansiyeli ise yıllık 125 milyar kWs civarındadır ve bu rakam Avrupa ekonomik potansiyelinin yüzde 16’sını oluşturmaktadır (Eroğlu, 2003). Bu potansiyelin yüzde 35’i (~ 44000 GWs) kullanılmaktayken, yüzde 9’u (~ 10800 GWs) inşa halinde ve yüzde 56’sı (70876 GWs) ise çeşitli aşamalarda projelerden oluşmaktadır. Bu potansiyel içerisinde kurulu gücü 10MW’tan daha az olan hidroelektrik santrallerinin payı yüzde 2-3 oranındadır. İşletmede olan tesis sayısı 130 civarındayken, potansiyel tesis sayısı 566 olarak öngörülmektedir. Henüz inşaatına başlanmamış 405 adet tesisin kurulu gücünün 20.000 MW olacağı ve 71 GWs üretim yapılacağı tahmin edilmektedir. Hidroelektrik tesislerin yapım sürecinin yavaş işleminin en büyük nedeni kurulum maliyetinin yüksek oluşudur.

Çizelge 4.6 Türkiye hidrolik potansiyelden yararlanma oranının bazı ülkelerle karşılaştırması  
(Eroğlu, 2003)

Ülke	Teknik Potansiyel Milyar kWh/yıl	Geliştirilen Potansiyel Milyar kWh/yıl	%
ABD	376,0	322,1	85,7
JAPONYA	132,4	102,6	77,5
NORVEÇ	171,4	116,0	67,7
KANADA	592,9	332,0	56,0
<b>TÜRKİYE</b>	<b>216,0</b>	<b>44,0</b>	<b>20,4</b>

Çizelge 4-6, hidroelektrik potansiyelden yararlanma konusunda ülkemizde değerlendirilmesi gereken kaynaklar olduğunu ve bunlarla ilgili yatırımların yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Diğer taraftan aşağıdaki çizelge ülkemizdeki hidroelektrik potansiyelin, dünyadaki pozisyonunu göstermektedir.

Çizelge 4.7 Ülkemiz hidroelektrik potansiyelinin dünyadaki konumu

	Teorik Hidroelektrik Potansiyel GWh/Yıl	Teknik Yapılabilir Hidroelektrik Potansiyel GWh/yıl	Ekonomik Yapılabilir Hidroelektrik Potansiyel GWh/Yıl
Afrika	4 000 000	1 665 000	1 000 000
Asya	19 000 000	6 800 000	3 600 000
Avustralya/Okyanusya	600 000	270 000	105 000
Avrupa	3 150 000	1 225 000	800 000
Kuzey ve Orta Amerika	6 000 000	1 500 000	1 100 000
Güney Amerika	7 400 000	2 600 000	2 300 000
<b>DÜNYA TOPLAMI</b>	<b>40 150 000</b>	<b>14 060 000</b>	<b>8 905 000</b>
<b>Türkiye</b>	<b>433 000</b>	<b>216 000</b>	<b>125 328</b>

\* The International Journal on Hydropower&Dams 1997 World Atlas

Türkiye'nin yılda 5 milyar kW'si üstünde hidrolik potansiyele sahip havzaları Fırat (38 milyar kW'si), Dicle (17 milyar kW'si), Doğu Karadeniz (11 milyar kW'si), Çoruh (11 milyar kW'si), Seyhan (8 milyar kW'si), Ceyhan, Kızılırmak, Doğu Akdeniz (her biri 6 milyar kW'si), Yeşilirmak, Antalya (5'er milyar kW'si)'tir. Bu havzalarda elektrik enerjisi üreten Atatürk, Keban, Karakaya, Altinkaya, Oymapınar büyük ölçekli santrallerden birkaçıdır. Türkiye'deki 15 büyük hidroelektrik santralin üretim bilgileri Çizelge 4-8'de verilmiştir. Bunun yanında üretim yapan nehir tipi santrallerde mevcuttur. (Eroğlu, 2003)

Çizelge 4.8 2002 yılı itibariyle Türkiye’de büyük hidroelektrik enerji santralleri. (EÜAŞ)

SANTRAL	BULUNDUĞU İL	KURULU GÜÇ (MW)
ATATÜRK	ŞANLIURFA	2405
KARAKAYA	DIYARBAKIR	1800
KEBAN	ELAZIĞ	1330
ALTINKAYA	SAMSUN	702,5
OYMAPINAR	ANTALYA	540
HASAN UĞURLU	SAMSUN	500
GÖKÇEKAYA	ESKİŞEHİR	278,4
KARKAMIŞ	GAZİANTEP	189
ÖZLÜCE	ELAZIĞ	170
ÇATALAN	ADANA	168,9
SARIYAR	ANKARA	160
GEZENDE	İÇEL	159,4
ASLANTAŞ	OSMANIYE	138
HIRFANLI	KIRŞEHİR	128
MENZELET	K.MARAŞ	124

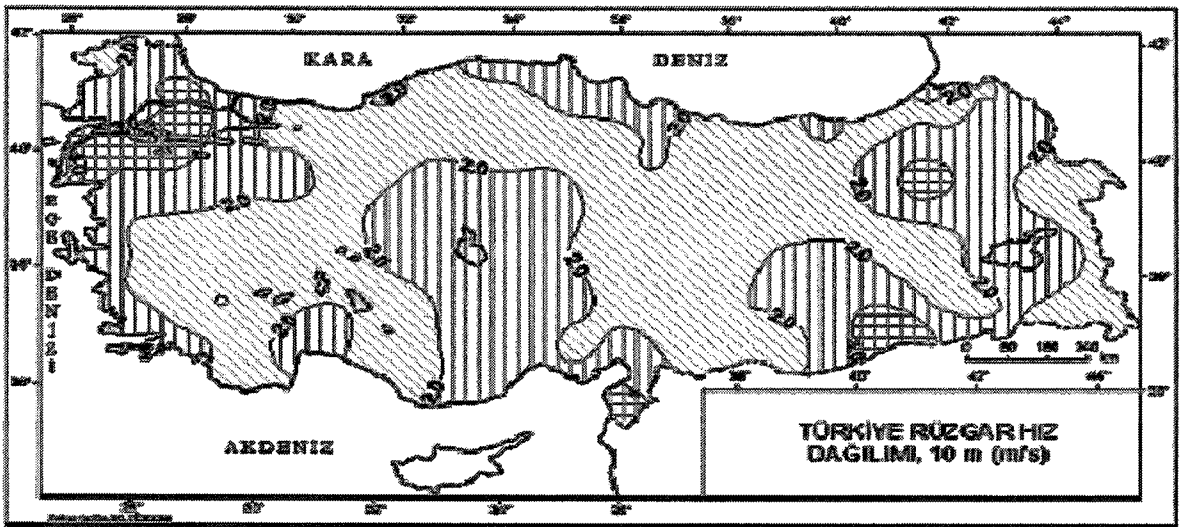
Çizelge 4.9 Türkiye’de nehir tipi enerji santralleri. (EÜAŞ)

NO	PROJE ADI	BİTİŞ YILI	İLİ	KURULU GÜÇ (MW)	YILLIK ORTALAMA ENERJİ (milyon kWts)
1	DEFNE	1953	HATAY	3	15
2	GİRLEVİK	1954	ERZİNCAN	3,04	17
3	DURUCASU	1955	AMASYA	0,8	3
4	HAZAR-I	1957	ELAZIĞ	20,12	128
5	CEYHAN	1958	K.MARAŞ	3,6	12
6	YERKÖPRÜ	1959	KONYA	10,56	65
7	KAYAKÖY	1960	KÜTAHYA	3,84	12
8	KOVADA-I	1960	ISPARTA	8,25	35
9	TORTUM I	1960	ERZURUM	26,18	85
10	KEPEZ-I	1961	ANTALYA	26,4	169
11	İKİZDERE	1961	RİZE	15,12	100
12	SIZIR	1961	SİVAS	6,77	35
13	KERNEK	1964	MALATYA	0,83	3
14	KİTİ	1966	KARS	2,76	6
15	HAZAR-II	1967	ELAZIĞ	10	64
16	ENGİL	1968	VAN	4,6	14
17	ÇAĞÇAĞ	1968	MARDİN	14,4	42
18	DOĞANKENT-I	1971	GİRESUN	32,8	124
19	KOVADA-II	1971	ISPARTA	51,2	222
20	KADINCIK-I	1971	MERSİN	70	345
TOPLAM				314,27	1496

#### 4.4 Türkiye’de Rüzgar Enerjisi

Ülkemizde rüzgar enerjisinden ilk elektrik üretimi, 55kW ile 1986 yılında Çeşme’de gerçekleştirilmiştir. Rüzgar enerjisinden elektrik üretimi yararlanmak için EİE çalışmalarına 1991 yılında başlamıştır. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Başkanlığınca yürütülen çalışmalar sonucunda ülkemizde rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretimi için yararlanılabileceği sonucuna varılmıştır. Türkiye’de bulunan toplam 21 rüzgar gözlem istasyonundan elde edilen veriler Marmara, Ege ve Doğu Akdeniz kıyılarının rüzgar potansiyeli açısından zengin olduğunu ortaya koymuştur. Bu ölçümlere göre 10 metre yükseklikteki yıllık ortalama rüzgar hızları en yüksek Kocadağ’da 7.5 m/s, Gökçeada, Gelibolu, Yalıkavak, Bandırma ve Akhisar’da 5-6 m/s olarak ölçülmüştür. 10 m yükseklikte yıllık ortalama rüzgar hızı 4-5 m/s olan yörelerimizde, türbin kurulması açısından önemli olan güç yoğunluğu 50-60 m yükseklikte 500 W/m<sup>2</sup> düzeyini aşmaktadır. (Çağlar ve Altuntaşoğlu, 2003)

Rüzgar enerjisinden yararlanmak amacıyla sürdürülen çalışmaların ilkinin potansiyel belirleme çalışmaları oluşturmaktadır. Türkiye’de genel amaçlı rüzgar ölçümleri, diğer meteorolojik ölçümlerle birlikte Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ) tarafından yapılmaktadır. Rüzgar Enerjisi Gözlem İstasyonları verileri kullanılarak Rüzgar atlası oluşturma çalışmaları enerjiden yararlanılabilmesi için ilk adımdır. 2002 yılı rüzgar atlası modeline göre Türkiye’de bugünkü koşullarda rüzgar enerjisi teknik potansiyeli 88000 MW, ekonomik potansiyel ise 10000 MW olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.1 Örnek bir rüzgar atlası

Türkiye'nin üç tarafı denizlerle çevrili ve engebeli olan coğrafi konumu özellikle kıyılarda, tepelerde ve denize açılan vadi ağzlarında çok kanatlı türbin ya da aerogeneratörlerin kullanımına olanak sağlamaktadır. 2003 yılı itibariyle Türkiye'de bulunan enterkonnekte sisteme bağlı rüzgar kurulu gücü 19 MW civarındadır ve bu santrallerden elde edilen yıllık elektrik enerjisi 54 milyon kW's'tır.

Rüzgardan elektrik enerjisinin enterkonnekte sisteme bağlanabilmesi için güvenilir, devamlı ve kaliteli bir kaynak olması gerekmektedir. Teknik açıdan ifade edilmesi gerekirse genlik ve frekansını sabit, gerilimin sinüzoidal olması gereklidir. Aksi halde sistem bağlı olduğu şebekeyi de olumsuz etkilemektedir. Bu durumun önüne geçilmesi için, TEİAŞ sisteme rüzgar santrali bağlanırken indirici merkezin kısa devre gücünün yüzde beşi kadar güç bağlanabileceğini karara bağlamıştır.

Dünyaya bakıldığında, tüm dünyadaki rüzgar santrallerinin gücü 2002 yılı itibariyle 31.128 MW'tır. 2002 yılında yeni açılan sistemler 6868 MW'tır. Bu değer bir önceki yıla göre yüzde 28 oranında artmıştır ve sektördeki hızlı büyümeyi ortaya koymaktadır. Yalnız Almanya 12001 MW kurulu güce sahiptir ve dünyadaki kurulu gücün yüzde 38'ini elinde bulundurmaktadır. Çizelge 4-11, dünyada rüzgar enerjisi kullanımındaki hızlı büyümeyi ortaya koymaktadır

Çizelge 4.10 2002 yılı itibariyle Avrupa'da rüzgar enerjisi kurulu gücü. (Özerdem, 2003)

Ülke	2002'deki ilave MW	2002 sonu toplam MW
Almanya	3 247	12 001
İspanya	1 493	4 830
Danimarka	497	2 880
İtalya	103	785
Hollanda	217	688
İngiltere	87	552
İsveç	35	328
Yunanistan	4	276
Portekiz	63	194
Fransa	52	145
Avusturya	45	139
İrlanda	13	137

Çizelge 4.11 Dünyada kurulu elektrik gücü ve rüzgar elektriğinin payı.

Yıl	Tüm Elektrik Kapasitesi GW	Toplam Elektrik Enerjisi TWh	Büyüme %	Rüzgar Elektrik Kapasitesi GW	Rüzgar Enerjisi TWh	Büyüme %
1997	3 221	13 949	2.8	7.64	15.39	25.8
1998	3 298	14 340	2.8	10.15	21.25	38.1
1999	3 377	14 741	2.8	13.93	28.18	32.6
2000	3 458	15 153	2.8	18.43	37.30	32.0
2001	3 540	15 577	2.8	24.93	50.27	34.8
2002	3 625	15 951	2.8	31.14	62.77	28
<b>Ortalama Büyüme</b>			<b>2.8</b>	<b>Ortalama Büyüme</b>		<b>31.8</b>

Türkiye'de başlangıçta daha çok demonstrasyon amaçlı olarak çok küçük kapasitelerde rüzgar projeleri tasarlanmıştır. Türkiye'de otoprodüktör kapsamında kurulan ve 580 kW'lik üç türbinden oluşan 1.74 MW'lik Delta Plastik Çeşme-Germiyan Rüzgar Santrali (Demirer Holding A.Ş.) enterkonnekte şebeke bağlantılı olarak Şubat 1998'de işletmeye açılmıştır. Resmi kayıtlara göre bu santralin gücü 1.5 MW olarak üretim kapasitesi 11.3 GWh/yıl olarak bildirilmektedir. Yap-İşlet-Devret modeli ile ARES A.Ş. (Interwind) firması tarafından Çeşme-Alaçatı'da kurulan 600 kW'lik 12 türbin içeren 7.2 MW güçlü santral mevcuttur. Bu santralin üretim kapasitesi brüt 25.09 GWh/yıl, net 18.98 GWh/yıl olarak rapor edilmiştir. Bozcaada'daki santral ise 10.2 MW gücündedir. Bugüne kadar yapılan çalışmalardan ve etütlerden çıkan sonuçlara göre; Afyon, Akhisar, Alaçatı, Anamur, Antakya, Bandırma, Belen, Bozcaada, Bozkurt, Çanakkale, Çeşme, Çorlu, Datça, Didim, Dikili, Edremit, Erdek, Erzurum, Foça, Gökçeada, Haymana, İnebolu, Karabiga, Karaburun, Karaman, Kocadağ, Kumköy, Malatya, Mardin, Nurdağ, Pozantı, Samsun, Seydişehir, Silifke, Sinop, Söke, Şarköy, Tekir Yaylası, Ulukışla, Urla, Yalıkavak yöreleri rüzgar enerjisi bakımından zengin görülmektedir.

#### 4.5 Türkiye'de Güneş Enerjisi

Türkiye, dünyada güneş enerjisi yönünden zengin sayılabilecek ülkelerden bir tanesidir. Ülkemizde Elektrik İşleri Etüt İdaresi, güneş enerjisi konusunda geliştirilen sistemlerin ülkemiz genelinde uygulanabileceği yerlerin ve elde edilebilecek enerjinin tespiti için başlattığı potansiyel belirleme çalışmalarını sürdürmektedir.

Türkiye genelinde yıllık ortalama güneş enerjisi  $1315 \text{ kWh/m}^2$  'dir. Buna göre Türkiye'nin tüm yüzeyine gelen enerji miktarı  $1025 \cdot 10^{12} \text{ kWh}$  olmaktadır. Bu miktar Türkiye'nin 1996 yılında ürettiği toplam elektrik enerjisinin yaklaşık 11000 katına denk gelmektedir. Uzun yıllara ait meteorolojik gözlemlerin (heliograf ölçümlerin) ortalaması alınarak bulunan Türkiye'nin yıllık güneşlenme süresi 2640 saat olup, maksimum değer 365 saat ile Temmuz ayında ve minimum değer 103 saat ile Aralık ayında gerçekleşmektedir. Güneşlenme süresi yönünden en zengin bölge Güneydoğu Anadolu Bölgesi olup, en düşük değeri Karadeniz Bölgesi göstermektedir.

Çizelge 4.12 Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ		GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/ay)
	(Kcal/cm <sup>2</sup> -ay)	(kWh/m <sup>2</sup> -ay)	
OCAK	4,45	51,75	103,0
ŞUBAT	5,44	63,27	115,0
MART	8,31	96,65	165,0
NİSAN	10,51	122,23	197,0
MAYIS	13,23	153,86	273,0
HAZİRAN	14,51	168,75	325,0
TEMMUZ	15,08	175,38	365,0
AĞUSTOS	13,62	158,40	343,0
EYLÜL	10,60	123,28	280,0
EKİM	7,73	89,90	214,0
KASIM	5,23	60,82	157,0
ARALIK	4,03	46,87	103,0
<b>TOPLAM</b>	<b>112,74</b>	<b>1311</b>	<b>2640</b>
<b>ORTALAMA</b>	<b>308,0 cal/cm<sup>2</sup>-gün</b>	<b>3,6 kWh/m<sup>2</sup>-gün</b>	<b>7,2 saat/gün</b>

Kaynak: EİE Genel Müdürlüğü

Yine meteorolojik gözlemlere (aktinograf ölçümlerine) göre, Türkiye'de aylara göre günlük ortalama güneş radyasyon intensitesinin maksimum değeri  $21.1 \text{ MJ/m}^2\text{gün}$  ile Temmuz ayında minimum değeri  $5.5 \text{ MJ/m}^2\text{gün}$  ile Aralık ayında görülmektedir. Türkiye'de güneş radyasyonunun yıllık ortalaması  $13.2 \text{ MJ/m}^2\text{gün}$  'dür.

Çizelge 4.13 Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere göre dağılımı

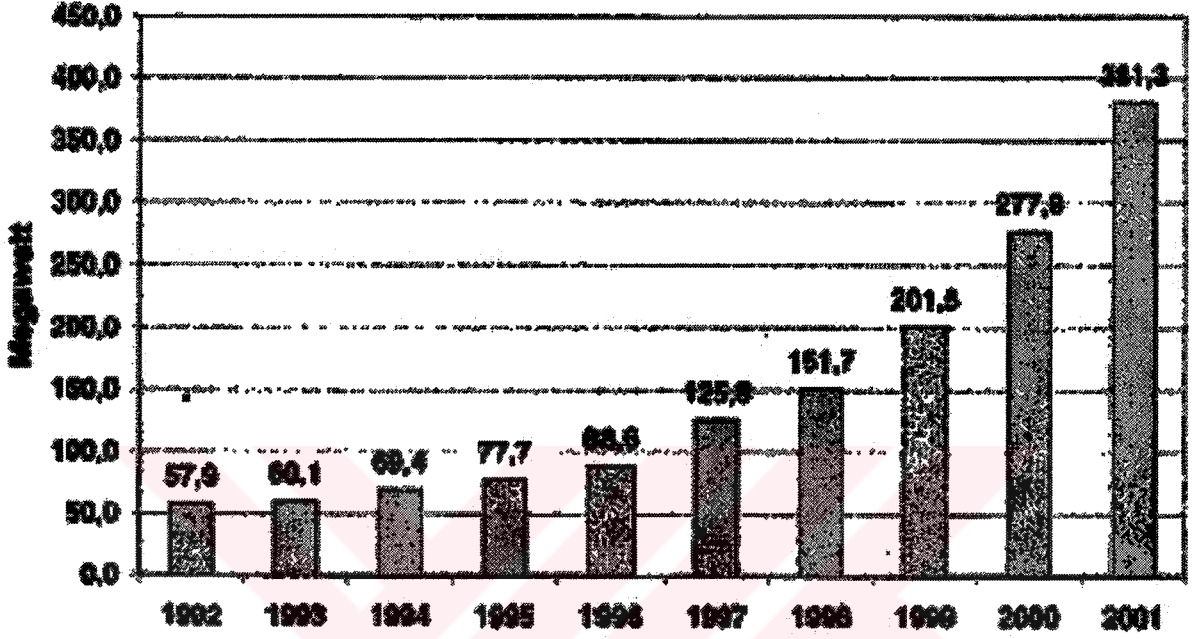
<b>BÖLGE</b>	<b>TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kWh/m<sup>2</sup>-yıl)</b>	<b>GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/yıl)</b>
<b>G.DOĞU ANADOLU</b>	1460	2993
<b>AKDENİZ</b>	1390	2956
<b>DOĞU ANADOLU</b>	1365	2664
<b>İÇ ANADOLU</b>	1314	2628
<b>EGE</b>	1304	2738
<b>MARMARA</b>	1168	2409
<b>KARADENİZ</b>	1120	1971

**Kaynak: EİE Genel Müdürlüğü**

Ülkemizde en çok yararlanılan güneş enerjisi teknolojisi düzlemsel güneş kolektörleridir. Bu alanda ABD ve Japonya ile birlikte en fazla güneş kolektörüne sahip olan ülke konumundadır. Güneş kolektörlerinin dünyada toplam kurulu alanı 40 milyon m<sup>2</sup>'ye yakındır. Türkiye'de bu rakam 9.1 milyon m<sup>2</sup>'dir ve her yıl yaklaşık 1 milyon m<sup>2</sup> güneş kolektörü bu rakama ilave olmaktadır.

Güneş pili teknolojisinde ise çok fazla yol kat edilememiştir. Orman Genel Müdürlüğü yangın gözetleme istasyonları, deniz fenerleri ve otoyol aydınlatmasında kullanılan güneş pili kurulu gücü 300kW civarındadır. Didim güneş ve rüzgar araştırma merkezinde 4.8 kW'lık, Ankara'da ise 1.2 kW'lık enterkonnekte şebeke bağlantılı sistemler mevcuttur. Didim'deki santral 18-19 kW/gün enerji üretmektedir. Dünyada ise PV araştırmalarında başlıca ülkeler ABD, Fransa, İngiltere, Almanya ve Japonya'dır. Toplam enerji pazarının 2001 yılı itibariyle büyüklüğü 380 MWp civarında hesaplanmıştır. Uluslararası Enerji Ajansı, PV pazarının yüzde 50'sinden fazlasının şebekeye bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. PV Modül pazarının gelişimiyle ilgili verileri Şekil 4-2 göstermektedir.

Kullanımlarının artmasıyla güneş enerjisi üretim maliyetlerinin düşmesi Türkiye'nin uzun vadede güneş enerjisinden daha geniş yararlanabileceğini göstermektedir. EİE ve DMİ yaptıkları çalışmalarla elde ettikleri güneş enerjisi verilerini yayınlamakta ve bu alanda yapılacak çalışmalar için öncü rol üstlenmektedirler.



Şekil 4.2 1992-2001 yılları arasında PV modül pazarı gelişimi [MW/yıl] (Ün, 2003)

#### 4.6 Türkiye'de Jeotermal Enerji

Türkiye jeotermal zenginlikler açısından dünyanın yedinci ülkesidir. Jeotermal elektrik dışı uygulamalarda ise dünya beşincisidir. Alanların çoğu Batı, Kuzeybatı ve Orta Anadolu'da toplanmıştır. Ülkemizde yüzey sıcaklığı 40 derecenin üzerinde olan 140 adet jeotermal saha vardır ve bu sahaların 136 tanesi merkezi ısıtmaya, sera ısıtmasına, endüstriyel proses ısı kullanımına ve kaplıca kullanımına uygundur. Diğer dört jeotermal sahanın ise teknik ve ekonomik olarak elektrik üretimine uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu sahalarda elektrik üretimine entegre olarak merkezi ısıtma vb jeotermal uygulamalar da gerçekleştirilebilir. Elektrik dışında kullanılan jeotermal enerji 992 MW'tır. Muhtemel teorik jeotermal potansiyelin bütünüyle değerlendirilmesinin petrol eşdeğeri 10-15 milyar \$ /yıl'dır.

Maden Tetkik Arama (MTA) tarafından yapılan çalışmalara göre Türkiye'nin teorik ısı potansiyeli 31500 MWt olarak belirlenmiştir. Bunun teknik ısı potansiyeli kısmı 7500 MWt, kullanılabilir potansiyel olan kısmı ise 2843 MWt'dir. Türkiye'de jeotermal ısıtma ilk olarak 1964 yılında Gönen'de denenmiştir. İlk Sera ısıtma uygulaması ise 1985'te Denizli Kızıldere'de 4500 m<sup>2</sup> alanda uygulanmıştır.

Türkiye dünyada kurulu jeotermal elektrik santralleri içinde 20.4 MWe kapasite ile 14. sırada yer almaktadır. Ancak bu santral 12 MWe kapasite ile çalıştırılmaktadır. Bunun dışında Türkiye'de 61 bin konut eşdeğeri jeotermal ısıtma, 200 bin metrekare sera ısıtması, 195 adet kaplıcada ise termal turizm gerçekleştirilmektedir.

Çizelge 4.14 Türkiye'de jeotermal uygulamalar (Mertoğlu, 2003)

Jeotermal Uygulamalar (Kurulu güç)		2000	2003	Artış (%)
Isıtma (Konut + Termal Tesisler)		392 MWt	534 MWt	36
Sera ısıtma		101 MWt	131 MWt	30
Kaplıca Kullanımı		327 MWt	327 MWt	-
Toplam elektrik dışı kullanım		820 MWt	992 MWt	21
Mineral eldesi (Sıvı CO <sub>2</sub> ve kurubuz)		120.000 t/yıl	120.000 t/yıl	-
Elektrik Üretimi	Kurulu Kapasite	20,4 MWe	20,4 MWe	-
	Üretim	90 GWh	108 GWh	20
Mevcut kaynak ve kuyular		2600 MWt	3235,23	24

Türkiye'de jeotermal elektrik kapasitesi 4500 MWe, teknik potansiyelse 500 MWe olarak belirlenmiştir. Elektrik santrali kurulabilecek yerler, ısıtmada kullanılacak alanlara göre azdır. Denizli Sarayköy'de kurulu bulunan Türkiye'nin ilk ve şimdilik tek jeotermal santrali 20.4 MWe gücündedir. Bu santral 2000 yılı içerisinde 75.5 milyon kW's enerji üretmiştir ve toplam enerjinin % 0.1'i civarındadır. Rezervuar sıcaklığı 200-212 °C arasında değişen 9 kuyudan beslenmektedir. Kuyubaşında 187 °C 'de elde edilen 15 bar basınçlı jeotermal akışkandan yaklaşık yüzde 12 ağırlık oranında kuru buhar elde edilmektedir. Kuyubaşı seperatörlerinde sudan ayrılan kuru buhar 120 ton/saat debiyle türbin jeneratörü beslemektedir. Sarayköy santralinde buhardan ayrıştırılan karbondioksit gazı atmosfere atılmayıp, santrale entegre olan fabrikada yılda 40 bin ton sıvı karbondioksit ve kuru buz haline dönüştürülmekte, Türkiye'nin karbondioksit ihtiyacını yüzde 50 oranında karşılamaktadır.

Aydın-Germencik'teki jeotermal akışkanın rezervuar sıcaklığının 200-230 °C olduğu ve jeotermal alanın 100 MWe gücünde bir santrali besleyebilecek kapasitede olduğu bildirilmektedir. Aydın-Salavatlı ve Çanakkale-Tuzla'da elektrik santralında kullanılmaya uygun, sırasıyla 171 °C ve 173 °C sıcaklıkta rezervuarlar mevcuttur. (Köse, Tuğcu, Arslan, 2003)

Çizelge 4.15 Türkiye'de jeotermal sahalar ve kullanım alanları (Eniş, 2003)

Jeotermal Alan Adı ve Yeri	Sıcaklık (°C)	Kapasite	Kullanım Alanı	Açıklamalar
		(MW <sub>t</sub> )_(MWe)		
Germencik- AYDIN	232	0,1	Sera	Elektrik Üretimine uygun
Kızılderne- DENİZLİ	212	22,8	Elektrik üretimi, Sera	1984'te 20.4Mwe, şu an nel 15 MWe üretimi var
Tuzla- ÇANAKKALE	174	9	Sera	Elektrik Üretimine uygun
Salavatlı- AYDIN	171	-	-	Elektrik Üretimine uygun
Simav- KÜTAHYA	163	61,6	Isıtma,Balncoloji, Sera	3200 konut ısıtması
Seferhisar- İZMİR	153	1,06	Sera	80.000m2 sera ısıtılması
Dikili- İZMİR	130	2	Sera	
Balçova- İZMİR	124	143,3	Isıtma,Balncoloji, Sera	10.000 konut ısıtılması
Ilıcabaşı- AYDIN	103	-	-	
Hisaralan- BALIKESİR	100	0,49	Sera	
Tekkehamamı- DENİZLİ	100	1,8	Sera	
Ömer Gecek- AFYON	98	2,6	Isıtma,Balncoloji,	35 apart otel binası ve 5000 m2 sera ısıtılması
Salihli- MANİSA	98	0,37	Isıtma,Balncoloji,	1989'dan beri otel binasının jeotermal ısıtılması
Çitgöl- KÜTAHYA	97	-	-	
Kozaklı- NEVŞEHİR	93	14,9	Isıtma, Sera	1.000 konut ısıtılması
Çamköy (Alangüllü)- AYDIN	90	0,7	Isıtma,Balncoloji,	
Zilan (Erciş)- VAN	90	-	-	

Jeotermal enerjiden elde edilen elektrik açısından Türkiye dünyada 14. sıradadır. En çok üretim Amerika, Filipinler ve Endonezya'dadır. Dünyada jeotermal enerjiden elektrik üretimi ile ilgili veriler 1999 yılına göre şu şekildedir.

Çizelge 4.16 Dünya'da 1999 yılı itibariyle jeotermal elektrik üretimi

Ülkeler	MW
ABD	2850
Filipinler	1848
İtalya	768,5
Meksika	743
Endonezya	589,5
Japonya	530
Yeni Zelanda	345
İzlanda	140
Kosta Rika	120
El Salvador	105
Nikaragua	70
Kenya	45
Çin	32
Türkiye	21
Rusya	11
Portekiz(Azor Adaları)	11
Guatamala	5
Fransa (Guadeloupe)	4
Tayvan	3
Tayland	0,3
Zambia	0,2
TOPLAM	8231,5

**Kaynak: Geothermal Education Office**

Türkiye şu anda elindeki jeotermal potansiyelin yalnız yüzde 2'lik bir kısmından yararlanmaktadır. Türkiye'de jeotermal enerji kullanımı Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı planlamasına göre 2020 yılında 4860 Btep olması beklenmektedir.

#### 4.7 Türkiye'de Biyokütle (Biyomas) Enerjisi

Türkiye'de odun, bitki ve hayvan artıklarına dayalı biyokütle çoğunlukla ısı kaynağı olarak kullanılmaktadır. Konuyla ilgili ilk araştırmalar 1970'de toprak su araştırma enstitüsü tarafından başlatılmıştır. Daha sonra Tübitak ve üniversiteler konuyla ilgili araştırma yapmışlardır. Ülkemizde hayvansal dışkı kaynaklı atıkların 3-4 milyar metreküp biyogaz potansiyeli olduğu tahmin edilmektedir. Bu rakam ülke enerji ihtiyacının yüzde 5'ine tekabül

etmektedir. Türkiye’de enerji ormancılığı ve tarımı ileri düzeyde yapılmamaktadır. Enerji ormancılığı için uygun alanın yaklaşık % 15 kadarı bu amaçla değerlendirilmiş durumdadır, ama % 85’i beklemektedir. 2002 yılı verilerine göre Türkiye’nin enerji üretiminde 15614 milyon ton (4684 MTEP) odun ve 5609 milyon ton (1290 MTEP) hayvan-bitki artıkları kullanılmıştır.

Küçük boyutlarda çöp santralleri yapılmış olmasına rağmen, ülkemizde biyomas enerji kullanımı ile ilgili çok fazla yatırım yapılmış değildir. Yedinci 5 yıllık kalkınma planına göre Ankara 'da 40 MW, İstanbul 'da 125 MW ve İzmir 'de 30 MW 'lık çöp santrallerinin kurulması talep edilmiştir. Ayrıca 45 MW güçte ve net enerji üretimi 302 milyon kW/s/yıl olan Adana çöp santralının sözleşmesi imzalanmıştır. Ankara Mamak, Mersin, Bursa ve Tarsus'ta çöp santralleri ile ilgili çalışmalar devam etmektedir.

Çizelge 4.17 Türkiye’de biyokütle ve katı atık yakıtlı kojenerasyon tesisleri (Eniş, 2003)

Kurum Adı	Bölgesi	Yeri	Kapasite (MW)	Yakıt Tipi
AKSA Enerji	Bursa	Bursa	1.2	Çöp
Belka	Ankara	Ankara	3.2	Biogaz
İstaç	İstanbul	Kemir-Burgaz	6	Çöp
İzaydaş	İzmit	Köşeköy	5.2	Çöp

Dünya üzerinde biyokütleden elde edilen enerjinin toplam enerji üretimindeki oranı yüzde 12 civarındadır. Gelişmekte olan bazı ülkelerde biyokütle kullanım oranı yüzde 40'lara kadar çıkabilmektedir. Dünyada biyokütleden elde edilebilecek yıllık enerjinin 1120 GW'ı saman, 500 GW'ı hayvan atıkları, 1360 GW'ı orman atıklar, 2400 GW'ı çöpler ve 17700 GW'ı şeker kamışı-odunsu bitkiler olmak üzere 23100 GWs olarak tahmin edilmektedir. İsveç'te % 16, Avusturya'da yüzde 13, Danimarka ve Finlandiya'da tüketilen toplam enerjinin yüzde 10'u biyokütleden sağlanmaktadır. Amerika'da biyokütle kaynaklı elektrik üretimi 9000 MW'ı geçmiştir. AB 2020 yılında motorin ve benzin tüketiminin yüzde 20'sini biyoyakıtlardan karşılamayı hedeflemektedir.

Biyomotorin ve biyogaz eldesi ve kullanımı, bundan elektrik elde edilmesi, uzun vadede ülkemizde de uygulamaya alınabilecek bir yöntemdir. Ancak Türkiye’de modern biyokütle uygulamaları günümüzde yok denecek kadar azdır. ETKB’ye göre biyomas kullanım tahminleri şu şekildedir:

Çizelge 4.18 ETKB’ye göre Türkiye’de biyomas kullanım tahminleri.

Yıllar	Klasik	Modern	Toplam	ETKB'na göre
	Biomass	Biomass		odun+hay.bit.art.
	(Btep)	(Btep)	(Btep)	(Btep)
2000	6 963	17	6 980	6 963
2005	6 491	765	7 256	7 057
2010	5 734	1 652	7 386	7 158
2015	4 789	2 500	7 289	7 268
2020	3 980	3 515	7 495	7 381
2023	3 560	4 049	7 609	7 437
2025	3 307	4 406	7 713	7 479
2000-2025				
Kümülatif				
Toplamı	136 347	55 574	191 921	187 608

#### 4.8 Türkiye’de Deniz Kökenli Enerjiler

Ülkemizde deniz kökenli enerjilerden faydalanılmaya en uygun olanı deniz dalga enerjisidir. Üç tarafı denizlerle çevrili Türkiye’de deniz dalga konvertörleri ile bu enerjiden yararlanılması düşünülmektedir. Ayrıca denizlerde biyokütle yetiştiriciliği de olanaklıdır.

Türkiye’nin Marmara Denizi dışında açık deniz kıyıları 8210 km’yi bulmaktadır. Türkiye’de dalga rasatları ve bunlara ilişkin ölçüm verileri bulunmamaktadır. Ancak, küçük dalga sistemleri için, birim dalga cephesi başına güç 10-20 kW/m olurken, geliştirilmiş sistemlerde 40 kW/m düzeyinin üstüne çıkmaktadır. Tüm kıyılarda bu tür tesislerin kurulması deniz trafiği, turizm, balıkçılık, kıyı tesisleri gibi nedenlerle mümkün değildir. Türkiye kıyılarının beşte birinden yararlanılarak sağlanabilecek dalga enerjisi teknik potansiyeli 18.5 TWsaat / yıl düzeyindedir. Ancak, planlamalara göre Türkiye’de 2025 yılına kadar bu tip kaynaklardan yapılacak üretimin birkaç yüz bin TEP’i geçmeyeceği kestirilmektedir.

Yine boğaz akıntılarında elektrik enerjisi elde etme fikri tartışılmasına rağmen projenin boğazlarımız açısından fizibil olmadığı sonucuna varılmıştır.

Ülkemizde henüz tecrübe edilmeyen deniz kökenli enerji çalışmalarında Avrupa Birliği'nin hedefi 2010 yılında okyanus kaynaklı enerjilerden 1 milyon evin enerji ihtiyacını karşılamaktır. Fransa'da ki gelgit enerjisi ile çalışan Le Rance santrali 240 MW güç üretmektedir. Hesaplar yeryüzündeki okyanuslardan gelgit enerjisi ile 3 bin milyar kW's enerji üretilebileceğini ve yüzde 2'lik bir dönüşümle 60 milyar kW's'lik elektrik enerjisi elde edilebileceğini ortaya koymuştur.

#### **4.9 Türkiye'de Hidrojen Enerjisi**

Türkiye'de Hidrojen yakıtı üretimi konusunda çok fazla çalışma yapılmamıştır. Hidrojen elde edilmesinde kullanılabilecek olası kaynaklar; hidrolik enerji, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, deniz-dalga enerjisi, jeotermal enerjidir.

Dünya da önde gelen otomobil şirketleri ve devletler hidrojen yakıt pili üretimi arge çalışmalarına büyük paralar harcamaktadır. Türkiye'de aynı konuda çalışmalar bazı üniversitelerimizde ve Tübitak bünyesinde başlamıştır.

Türkiye gibi gelişme sürecinde ve teknolojik geçiş aşamasındaki ülkeler açısından, uzun dönemde fotovoltaik güneş-hidrojen sistemi uygun görünmektedir. Fotovoltaik panellerden elde edilecek olan elektrik enerjisi ile hidrojen üreten bu yöntemde 1 m<sup>3</sup> sudan 108.7 kg hidrojen elde edilebilir ki, bu 422 litre benzine eşdeğerdir. Türkiye'nin hidrojen üretimi açısından bir diğer alternatifi, uzun bir kıyı şeridi olan Karadeniz'in tabanında kimyasal biçimde depolanmış hidrojen bulunmasıdır. H<sub>2</sub>S'ten hidrojen üretimi konusunda yapılan çalışmalar için Karadeniz bir alternatif olarak durmaktadır. Ayrıca, suni gübre, bitkisel margarin, petrol arıtımı, petrokimya, hayvansal yağ üretimi gibi sektörlerde hidrojen üretilerek kullanılmakta veya havaya atılmaktadır.

Geleceğin enerjisi olarak adlandırılan hidrojen ile ilgili dünyanın en büyük araştırma merkezi olan Uluslararası Hidrojen Enerjisi Teknolojileri Merkezi'nin (ICHET) İstanbul'da kurulacağını belirten anlaşma 21 Ekim 2003 tarihinde Viyana'da imzalanmıştır.

Dünyada da hidrojen enerjisinin avantajları AB, ABD ve Japonya tarafından keşfedilmiş ve bu konu aralarında rekabete yol açmıştır. AB 5 senelik 5 milyar Euro, ABD hidrojen otomobilleri için 1.7 milyar dolar ve Japonya 4 milyar dolarlık bir yatırımı hidrojen enerjisi ar-ge faaliyetleri için tahsis etmiştir. İzlanda 2030 yılına kadar tamamen hidrojen enerjisi kullanımına geçebilmek için Milletlerarası Konsorsiyum kurmuştur.

Özellikle 20-30 yıllık bir dönemde dünyada geniş olarak kullanılacağı tahmin edilen ve avantajları nedeniyle fosil yakıtlarının yerini alacağı düşünülen hidrojen enerjisinin üretimi, taşınması ve depolanması konusunda yapılması gereken çalışmalar vardır. Bu konuda yeni teknolojiler geliştirilmesine yönelik çalışmalar, bilimsel araştırma konusu olarak önümüzde durmaktadır.



## BÖLÜM 5

### YENİLENEBİLİR ENERJİLERE EKONOMİK BAKIŞ

#### 5.1 Giriş

Her sektörde olduğu gibi yenilenebilir enerji sektöründe de hızlı büyümenin sağlanabilmesi, bu teknolojilerle elde edilecek enerjinin birim maliyetlerindeki ucuzlamaya bağlıdır. Yeni teknolojilerin geliştirilmesi ve konuya olan ilginin artması yenilenebilir enerji kurulum ve üretim maliyetlerindeki düşüşü beraberinde getirmektedir. Bu düşüşe bağlı olarak kullanımın yaygınlaşması ise maliyetlerdeki düşüşü hızlandıracaktır.

Bu bölümde yenilenebilir enerjilerden yararlanma maliyetlerinin bugün bulunduğu noktayla ilgili bilgiler verilerek fosil yakıtlarıyla karşılaştırması yapılacaktır. Bu bölüm yenilenebilir enerjilerin günlük hayatımızda ne kadar rol oynayabileceği ile ilgili fikir de verecektir.

#### 5.2 Yenilenebilir Enerjiler ve Ekonomik Maliyetleri

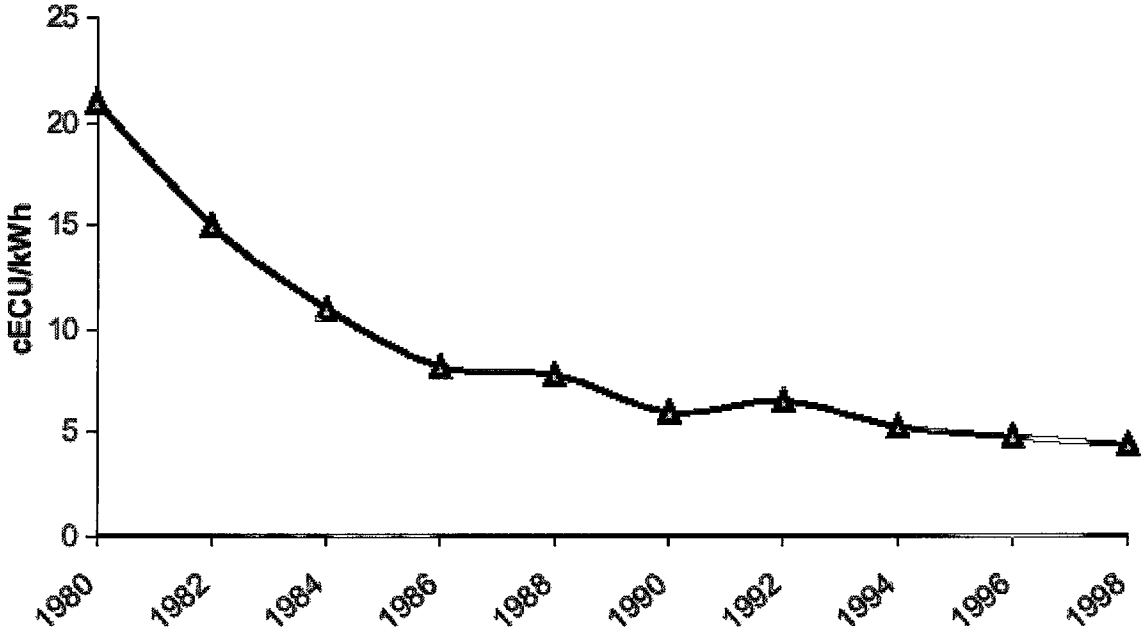
Sıradan bir tüketici enerjinin nerede ve nasıl üretildiği, hangi yollardan iletiildiği ile çok fazla ilgilenmez. Ancak enerjiden yararlanma maliyeti konusunda aynı şeyi söylemek mümkün değildir. Yenilenebilir enerjiler çoğunlukla lokal enerji kaynaklarından oluştukları ve herhangi bir yakıt maliyeti taşımadıkları için diğer enerji kaynaklarına göre işletim maliyetleri açısından bir adım öndedir. Öte yandan çok fazla yaygınlaşmamış olmaları ve günlük hayatta kullanılabilmeleri için gerekli olan yeni teknolojiler istisnai durumlar olsa da henüz fiyat açısından istenilen seviyelerde değillerdir. Kurulum maliyetlerinin yüksek, işletim ve yakıt maliyetlerinin düşük oluşu, bugünkü şartlarda yenilenebilir enerji sektöründe kurulacak tesislerin uzun bir ekonomik ömüre sahip olmaları zorunluluğunu doğurmaktadır. Bu durum konuya ilgi duyan yatırımcı sayısını olumsuz etkileyen bir faktördür. Öte yandan son yıllarda yenilenebilir enerji tesislerinin kurulum maliyetlerindeki düşüşler dikkate alınacak olursa, önümüzdeki yıllar içerisinde sektörün büyüme hızının artacağı ve yenilenebilir yakıtlardan elde edilen enerjilerin global enerji ihtiyacının karşılanmasında önemli bir paya sahip olacağı tahmin edilebilir.

Diğer taraftan günümüzde fosil yakıtlarının fiyatları, yenilenebilir yakıtlardan çok daha ucuz bir noktada olsa bile aslında maliyetler hesaplanırken dikkatten kaçan farklı noktalar olduğu

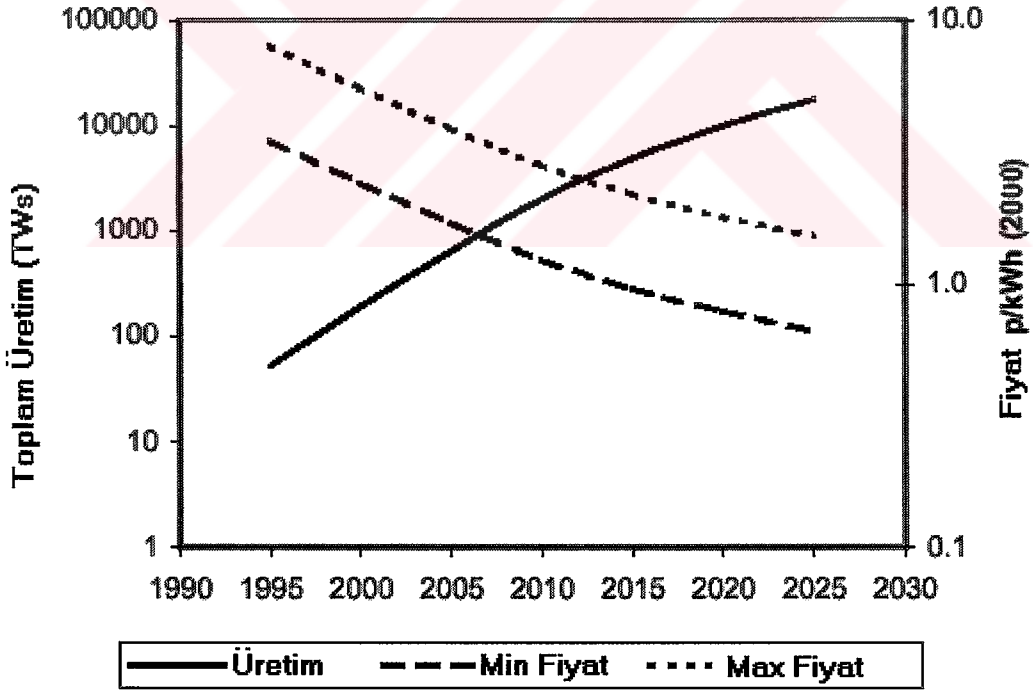
çeşitli bilimsel yazılarda belirtilmiştir. Üzerinde çok fazla durulmayan bu maliyetler insan sağlığı ve çevre için olanlardır. Bu maliyetler ise sağlık giderleri, çevresel tedbirlerin alınması ve çevresel sorunların giderilmesi için yapılan harcamalar olarak önümüze çıkmaktadır. Bu durumla ilgili bir örnekte 2001 yılında Science dergisinde yer almıştır. Amerika'da bir kömür santralinin 3,5-4 cent/kWs olan enerji üretim maliyetinin, çevresel etkiler, kömür tozundan hastalananların sağlık giderleri ve bu hastalığa yönelik düzenlenen programlar dikkate alındığında 5,5-8,3 cent/kWs seviyelerine yükseldiğini ortaya koymuştur.

Yenilenebilir enerjiler ayrı ayrı değerlendirilecek olunursa, hidroelektrik maliyetlerinin bu enerji kaynağının yıllardır kullanılmasının bir sonucu olarak makul seviyelerde seyrettiği görülmektedir. Hatta fosil yakıtlarının en ucuzu olarak varsayılan doğalgaz santralleriyle mukayese edildiğinde dahi tercih edilebileceği görülmektedir. İlk yatırım maliyetlerinin doğalgazdan yüksek oluşu ekonomik ömürlerinin uzunluğu, bakım ve işletim maliyetlerinin düşük oluşu gibi avantajlarıyla giderilmektedir. Ömürlerinin uzun oluşu, yılların hidroelektrik santraller lehine işlemesine neden olmaktadır. Yüksek verimlilikleri ise yine hidroelektrik santraller için artı değerdir. Çevresel maliyetleri ise düşüktür. Hidroelektrik elektrik üretiminde kapasitesi düşük olan yerlerin yüksek olanlara göre, küçük ölçekli enerji üretiminin büyük ölçekli olanlara göre üretim maliyetleri daha yüksektir. Küçük ölçekli hidroelektrik santrallerin devreye alınması enterkonnekte şebekeden uzak olan bölgelerde iletim maliyetlerini düşürecektir.

Rüzgar enerjisi teknoloji ve buna bağlı maliyetlerdeki düşüş açısından son yıllarda oldukça ilerlemiştir. Kurulum maliyetleri 800\$-1200\$ arasında seyretmektedir. Bu seviyeler rüzgar enerjisinin fosil yakıtlarıyla rekabet edebileceği seviyelerdir. Denizlerde olanların kurulum maliyetleri karadakilere oranla daha fazladır, çünkü ada, kablolama, bakım masrafları daha yüksektir. Üretimin fazla olduğu geniş çiftliklerde maliyet daha düşük gerçekleşmektedir. Maliyetler üretimin yapıldığı bölgeye, şebekeye yakınlığıyla ilintili olarak değişmektedir. 500 kW'lık bir türbinin maliyeti 5 adet 100 kW'lık bir türbinden daha düşük olacağı için rüzgar potansiyeli maliyetleri etkilemektedir. Rüzgar enerjisi üretim maliyetleri 3 ila 6 sent arasında değişmektedir. Kullanımın çokluğu maliyetleri düşürmektedir. Danimarka'da rüzgar enerjisi maliyetlerindeki değişim şekil 5.1'de gösterilmiştir. Üretim artışına bağlı fiyat değişimleri ise şekil 5.2'de gösterilmiştir.

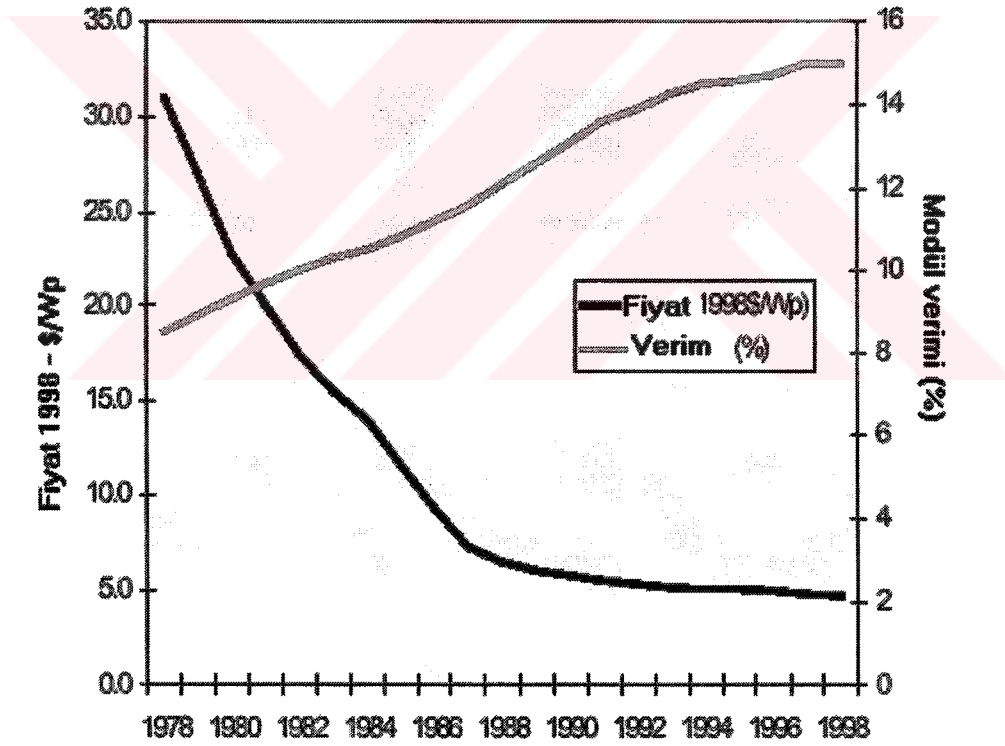


Şekil 5.1 Danimarka'da rüzgar enerjisi maliyetinin yıllara göre değişimi



Şekil 5.2 Teknoloji gelişimi devam edeceği varsayımına dayalı yıllar itibariyle üretime bağlı rüzgar enerjisi fiyat tahminleri.

Güneş sistemlerinin en büyük maliyet engelinin düşük verimlilikleri olduğu söylenebilir. Ancak diğer yenilenebilir enerjilerde kullanılan türbin-jeneratör sistemi gibi hareketli bileşenler mevcut olmadığı için çok az bakım ihtiyacı gerektirir ve bu durum maliyetlere olumlu yansır. Ayrıca kullanılan sistemler yağmur, kar, nem gibi doğa olaylarına diğer sistemlere nazaran daha dayanıklıdır. Modüler bir sistem oluşları ve şebekeden uzak noktalarda kullanılabilmesi verimliliği artırarak maliyetleri düşürmektedir. Yatay büyümeye müsait oluşları enerji gereksinimindeki artışlarda daha küçük ilave yatırımlarla ihtiyacın karşılanmasına olanak sağlamaktadır. Fotovoltaik ve ısıl güneş enerji sistemlerinin fiyatları son yıllarda artan yaygın kullanımına bağlı olarak azalmaktadır. 1970'li yıllarda 30 US\$/Wp olan fotovoltaik sistem maliyeti 5-10 cent/Wp aralığına kadar gerilemiştir. Aşağıdaki grafik fotovoltaik modüllerin fiyatındaki düşüş ve verimindeki artışı ortaya koymaktadır.



Şekil 5.3 Fotovoltaik modüllerin 1977-1998 dönemi fiyat ve verim değişimi(Ün, 2003)

Güneş pili sistemlerinin maliyeti, temel olarak iki kısımda incelenebilir. İlki güneş pili modüllerinin maliyeti, ikincisi invertörler, elektronik denetim aygıtları, depolama, kablolama, arazi, altyapı hazırlama gibi yan maliyetlerdir. Fotovoltaik sistemlerin ekonomik olmaları kurulum maliyetleri, güneş enerjisinden faydalanma oranları, düşük bakım maliyetleri ve

yaklaşık 20-30 yıl varsayılan ekonomik ömürlere bağlıdır. PV sistemler şayet şebeke bağlantılı ise enerji depolama sistemi ihtiyacı olmayacağı için maliyetleri düşük olacaktır. Sistem fiyatları modül fiyatlarının 1.5-2 katı civarındadır. Akü üretim sistemine dahil edilirse fiyatlar 3-5 kata kadar çıkabilmektedir. Türkiye 9. Enerji kongresinde, güneş enerji sistemlerindeki büyüme her yıl yüzde 10 olursa ve 2010 yılında 250MWp'lik üretim için sistem fiyatının 3US\$/Wp, elektrik üretim maliyetininse 0,12 US\$/kWs olacağı tahmini ortaya konmuştur.

Jeotermal enerjilerde maliyetler kaynağa bağlı olmakla birlikte hidrolik gibi uzun süredir kullanılan bir enerji oluşu kullanılan teknolojinin daha ucuz olmasını sağlamıştır. Kaynak ısısının yüksekliği yani kaynaktan elde edilebilecek güç miktarının yüksek olması, üretim maliyetlerine düşürücü tesir etmektedir. Jeotermal kaynaktan ısı enerjisi elde etmek için yapılan yatırım maliyetleri, elektrik üretilmesi için gerekli sistem maliyetleri dahil olmadığı için genellikle daha düşüktür. Çıkan kaynak zararlı gaz ve mineraller içeriyorsa bu durum bakım maliyetlerine ve çevresel önlemlere yapılacak yatırımların artmasına neden olur. Tekrar püskürtmeli sistemlerin kullanımı kurulum maliyetlerini arttırsa da yükselen verime bağlı olarak üretim maliyetini düşürmektedir. Dizayn aşamasında belirlenecek santral modeli ve dönüştürme sayısı maliyetleri etkileyecek önemli bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır.

Biyokütle tanımının çok geniş olması bu kapsamda maliyetlendirilen enerjilerinde çok çeşitli olmasına neden olmaktadır. Biyokütleleri yakıldığı santrallerde tarım ve orman artıklarından yararlanılarak yapılan üretimlerde maliyet 5-6 c/kWs seviyelerinde seyretmektedir. Kullanılan bitkilerin verimi maliyetlere de olumlu yansımaktadır.

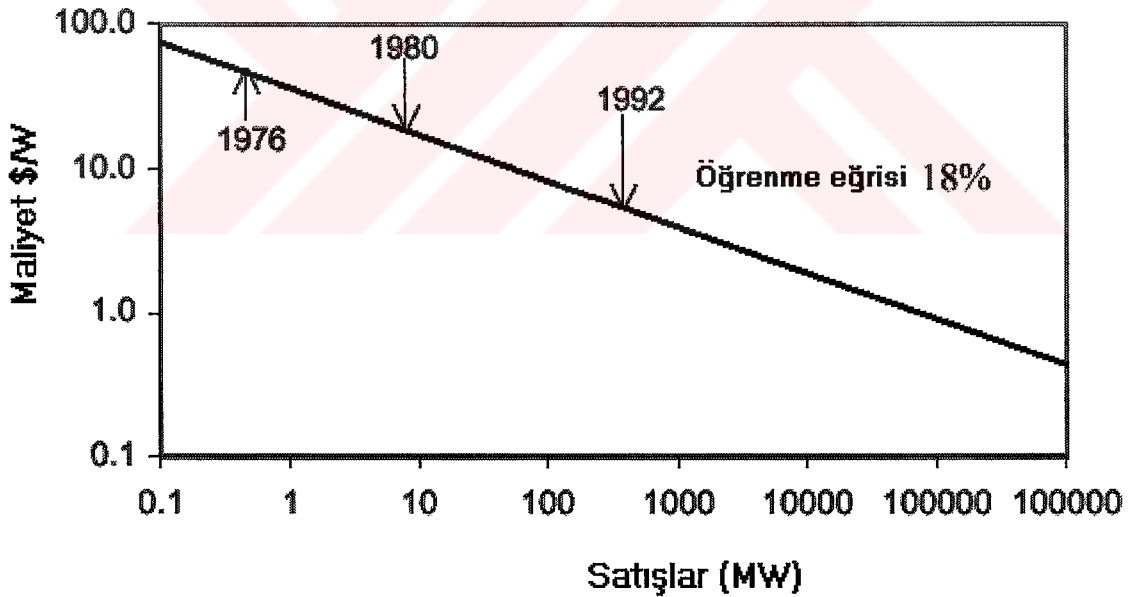
Okyanus ve deniz kökenli enerji teknolojileri, rüzgar ve güneşe göre henüz yeni oluşum aşamasında olan teknolojilerdir. Dalga, akıntı ve gelgit gibi teknolojilerin her biri birbirinden farklı teknolojiler farklı maliyetlere sahiptirler. Kıyıya yakın üretim teknolojilerinde 4.5-6 p/kWs olan fiyatlarla üretim yapılabilmektedir. Ancak 2008-2010 yılları için 4-5 p/kWs'lik fiyat tahminleri yapılmaktadır.

Enerji sistemlerinde kurulum maliyeti, bakım maliyeti, yakıt maliyeti ve dış maliyetler (iletim, çevresel maliyetler gibi) sistemlerin dizaynı aşamasında ele alınması gereken konulardır. Bütün yenilenebilir enerjiler de analiz ve dizayn aşamaları önemli bir adım olarak

yer almaktadır. Eldeki kaynağa en uygun sistemlerin baştan doğru tercih ve inşa edilmesi, santralin öncelikle kendini amorti etmesi daha sonrada karlılığı açısından önemlidir.

Yenilenebilir teknolojilerde gelişme süreci ve kullanım oranları maliyetlerin çok hızlı değişmesine neden olmaktadır. Şu anda bu alandaki teknolojiler gelişim sürecinde olsalar bile maliyetlerin fosil yakıtlara göre makul seviyelerde oluşu önemli bir noktadır. Konuya artan ilgi, devletlerin konuyla ilgili teşviklerini arttırmakta ve bunun neticesinde de yenilenebilir teknolojilerin kullanımı ivme kazanmaktadır.

Gelecekte yeni teknolojilerin gelebileceği noktalar tahmin edilirken geçmişteki datalar değerlendirilerek teknolojiye bağlı gelişim eğrileri olan öğrenme eğrileri (learning curves) elde edilir. Bu eğrilerden gelecekte teknolojinin bulunacağı noktayla ilgili sağlıklı tahmin yapılabilmesi amacıyla yararlanılmaktadır. Daha çok log-log ekseninde çizilen bu eğrilerin bir örneği aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.4 Tipik bir öğrenme eğrisi

Yenilenebilir enerji maliyetleri hesaplanırken ortaya konulan rakamlar çoğunlukla çevresel maliyetler, sağlık maliyetleri gibi dış maliyetler hesaba katılmadan belirlenen üretim maliyetleridir. Bu durumda ve günümüzde henüz yaygın kullanılmamalarına rağmen yenilenebilir enerji maliyetlerinin fosil yakıtlarıyla karşılaştırılabilecek seviyelerde oluşu

önemlidir. Ayrıca bu sistemlerin dağıtık yapılanmaya müsait oluşları halen dünyada elektrik enerjisinde faydalanmayan ve bazılarının şebekenin ulaştırılmasının zor olduğu bölgelerde konumlandığı 2 milyar civarındaki insana bu teknolojinin ulaştırılabilmesi için gereklidir.

Son olarak aşağıdaki çizelgede yenilenebilir enerjilerin fiyatları bir çok kaynakta değişkenlik göstermesine rağmen yaklaşık olarak ortaya konulan kurulum ve üretim maliyetleri verilmiştir.

Çizelge 5.1 Yenilenebilir enerji maliyetleri

Teknoloji	Enerji Üretimi (1998)	Son Beş yılda kapasitedeki artış (%)	Bugünkü Maliyet (2002)
<b>Modern Biyokütle Enerjisi</b>			
Elektrik	160 TWh(e)	~ 3	5-15 ¢ /kWh
Isı <sup>a</sup>	> 700 TWh (th)	~ 3	1-5 ¢ /kWh
Etanol	420 PJ	~ 3	8-25 \$/GJ
<b>Diğer Yenilenebilirler</b>			
Rüzgar	18 TWh(e)	~30 (32 <sup>b</sup> )	5- 13 ¢ /kWh
Güneş-PV	0.5 TWh (e)	~30	25-125 ¢ /kWh
Güneş Termal Elektrik Sistemler	1 TWh(e)	~5	12- 18 ¢ /kWh
Düşük Sıcaklıklı Güneş Isıtma	14 TWh(e)	~8	3- 20 ¢ /kWh
Jeotermal Enerji Elektrik	46 TWh(e)	~4	2- 10 ¢ /kWh
Isı	40 TWh(e)	~6	0.5-5 ¢ /kWh
<b>Hidroelektrik</b>			
Büyük	2600 TWh(e)	~ 2	2-8 ¢ /kWh
Küçük <sup>b</sup>	90 TWh(e)	~ 3	4-10 ¢ /kWh

a) Isı kombine ısı ve güç santrallerinde üretilen buhardır.

b) Ülkeden ülkeye değişmesine rağmen küçük (düşük ve orta) hidroelektrik 10 MW ve altı kabul edilmektedir. Zaman zaman 30 MW'ye kadar bu sınıfa dahil edilmektedir.

Kaynak: United Nations Development Programme, United Nations Department of Social Affairs, World Energy Council 2000.

## BÖLÜM 6

### ENERJİ VERİMLİĞİ

#### 6.1 Giriş

Kalkınmanın sürekliliğinin sağlanabilmesi enerjinin ekonomik ve çevreye zarar vermeden sürdürülebilir şekilde sağlanması ile mümkündür. Enerji alanında sürdürülebilirlik, Tübitak Bilim Teknoloji ve Sanayi politikası çalışma grubu raporunda da ortaya konulduğu gibi şu üç ana ilkeye dayanmaktadır:

- Yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının artırılması ve bu alandaki teknoloji yeteneğinin yükseltilmesi,
- Yeni enerji teknolojilerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması,
- Özellikle son kullanıcıların yer aldığı binalar, elektrikli cihazlar, araçlar ve üretim prosesleri olmak üzere enerjinin etkin kullanımı ve enerji tasarrufu.

Önceki bölümlerde yenilenebilir enerji kaynakları yakından tanıtılarak, bu kaynakların fosil yakıtlarına dayalı günümüz kaynakları yerine kullanılmasının gerekliliği gerekçeleriyle ortaya konulmuştur. Bununla beraber, sürdürülebilir enerjinin sağlanması için dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise enerjinin etkin kullanımı ve enerji tasarrufudur. Günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları kadar popüler bir konu olmuştur enerji üretim ve kullanımında verimlilik.

Bu bölümde enerji verimliliği, hem üretim hem tüketim için öncelikle bir bütün olarak ele alınacaktır. Ardından yenilenebilir enerjiler ve dönüşüm süreçleri verimlilik açısından değerlendirilecektir.

#### 6.2 Enerji Verimliliği Nedir?

Enerji verimliliği; enerji ve enerji kaynaklarının üretiminden tüketimine kadar tüm safhalarında en yüksek etkinlikte kullanılmasını ifade eder. Enerji tasarrufu ise; enerji ve enerji kaynaklarının verimli olarak değerlendirilmesi amacıyla kullanıcılar tarafından alınan

tedbirler sonucunda belirli miktardaki üretimi ve hizmeti gerçekleştirmek için her aşamada harcanan enerji miktarında sağlanan azalmayı ifade etmektedir.

Enerjinin verimli kullanımı denildiğinde, toplumda ilk akla gelen enerjinin daha az kullanılması, gereksiz enerji kullanımının önüne geçilmesi, ihtiyaç olmayan enerjinin boşa harcanmaması, enerjiden tasarruf edilmesidir. Gerçek anlamda tasarruf ise eldeki kaynakların verimli bir şekilde değerlendirilmesi, atıklardan enerji elde edilmesi, enerji kayıplarının önüne geçilmesi olarak tarif edilebilir. Enerji verimliliğinde amaç insanların aynı seviyede sağlıklı, güvenli, kaliteli ve refah içerisinde yaşamasını daha az enerji tüketimiyle sağlamaktır.

Enerji verimliliğinin üzerine önemle eğilinmesinin temelinde ise, verimliliği arttırmanın yeni enerjiler elde etmekten daha az maliyetli oluşu gerçeği yatmaktadır. Enerjinin verimli kullanımı ve tasarrufu ile daha çabuk ve daha ucuz enerji elde edilebilmektedir. Bunun yanında doğal kaynakların tükenmesi ve çevre kirliliğinin artması enerjinin daha verimli kullanılması için önemli gerekçelerdir.

Enerji yoğunluğu ise gayri safi yurt içi hasıla başına tüketilen birincil enerji miktarını göstermektedir. Dünyada enerji yoğunluğu, enerji verimliliğinin değerlendirilmesi ve karşılaştırılmasında sıkça kullanılmaktadır. Enerji yoğunluğundaki artış, enerji kullanımındaki artışı bir diğer ifadeyle ülkelerin gelişimini göstermekle birlikte, enerjinin daha verimli ve daha az yoğun kullanılabileceğini de göstermektedir.

Çizelge 6.1 Ülkelere göre kişi başına düşen enerji yoğunluğu (Kaynak: IEA)

Ülkeler	Enerji Yoğunluğu* 2001**
Japonya	0.09
Almanya	0.13
İngiltere	0.18
Fransa	0.15
Kanada	0.35
Türkiye	0.38
ABD	0.25
OECD <sup>(ortalama)</sup>	0.19

\* Toplam Birincil Enerji Tüketimi/Gayri Safi Yurtiçi Hasıla [Milyon TEP/1000 \$]

\*\* Tahmin

Enerji, günümüzde ülkelerin iç ve dış politikalarına yön verebilecek kadar önemli bir ihtiyaç haline gelmiştir. Bu nedenledir ki, enerjinin verimli kullanımı evrensel önem taşıyan bir konu olarak önümüzde durmaktadır. Her ülkenin elindeki kaynaklar, bunlardan yararlanma oranları ve yöntemleri farklılık gösterse de tüm ülkeler hemen hemen benzer nedenlerden dolayı enerjinin verimli kullanılması konusuna önem vermektedirler. Gerekçeler şu şekilde ortaya konulabilir:

- Ülkelerin eldeki kaynakların tükeneceğinin bilincinde olmaları, bu kaynakların dengeli kullanılması ve kaynaklardan daha uzun süre istifade edilmesinin sağlanması,
- Enerjide dış bağımlılığın azaltılması veya enerji ihtiyacı nedeniyle yapılan dış harcamaların azaltılması,
- Enerji maliyetlerinin düşürülmesi ve temel girdi olması nedeniyle üretim sektöründe uluslararası piyasalarda rekabet avantajı sağlanması,
- Enerji üretimi için gerektiği kadar tesis yatırımı yaparak tasarruf edilmesi,
- Çevresel zararların düşürülmesi, hem yerel hem de global çevre kirliliğinin önüne geçilmesi.

Dikkat edilirse yukarıda belirtilen maddelerin bir çoğu yenilenebilir enerjinin yararları ve neden kullanılması gerektiği ile ilgili daha önce belirtilen sebeplerle benzerdir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi ve enerjiden yararlanma sürecinin her aşamasında verimin sağlanması konuları, bu yüzden ki bir çok bilimsel araştırma ve kaynakta beraber ele alınmaktadır.

### **6.3 Üretimden Tüketime Verim**

Gün geçtikçe ilerleyen teknoloji her alanda olduğu gibi enerji verimliliği alanında da önemli ilerlemeler sağlamaktadır. Enerji, üretimden tüketime kadar izlediği yol boyunca, çeşitli sistemler vasıtasıyla değişik aşamalardan geçmektedir. Enerji verimliliğini sağlayacak teknolojilerden üç farklı aşamada yararlanılabilir. Bu aşamalar:

- Enerjinin üretimi aşaması,
- Enerjinin iletimi ve dağıtımı aşaması,
- Enerjinin son kullanıcılar tarafından tüketimi aşaması,

olarak ortaya konulabilir. Her adımda verimin yüksek olması, genel verimin artırılabilmesi, kaynak kullanımının azaltılması ve tasarruf sağlanabilmesi için önemlidir.

### 6.3.1 Üretim Aşamasında Verim

Üretim aşamasında verimlilik yakıt çeşitlerine göre farklı teknolojilerle sağlanabilmektedir. Doğrudan yakıt olarak kullanılabilen petrol ve gaz gibi kaynakların üretim ve saklanması kapasite artırıcı teknolojiler kullanılması önemliken, elektrik üretiminde santralin verimliliğinin yüksek olması için çalışmalar yapılmaktadır. Santrallerin elektrik üretebilmesi için gerekli olan kaynaklara (yakıt, soğutma vs) yakın olması, şebekeye bağlantının kolaylığı gibi imkanların yanı sıra yakıttan elektrik üretimine kadar geçen aşamalarda kullanılan teknolojik unsurlarında verimliliği büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda santrallerde kullanılan elektrik ve ısı enerjisinin birlikte üretildiği kojenerasyon teknolojisi verimde büyük kazançlar sağlamıştır. Santrallerin tasarımı ve inşası aşamasında sistemlerinin performansının yüksek seviyelerde tutulması, sistemler arasında güç transferlerinin en yüksek seviyede yapılabilmesi, santral iç tüketiminin azaltılması, kaynaktan, üretimin çeşitli aşamalarında mümkün olduğunca fazla dönüşüm sağlanabilmesi, üretim sonu atıkların mümkünse başka alanlarda değerlendirilebilmesi ya da kolaylıkla uzaklaştırılabilmesi gibi hususlara yüksek verim alınabilmesi için dikkat edilmelidir.

### 6.3.2 İletim ve Dağıtım Aşamasında Verim

İletim ve dağıtım aşamasında kayıp oranları, tüketilmeye hazır enerjinin son kullanıcıya ulaştırılabilmesi için düşük olmalıdır. Uzun mesafeler boyunca, büyük şebekelerle iletilen elektrik enerjisinin iletim ve dağıtım hatlarında kayıplarının minimum tutulması gereklidir. Ayrıca santralden şebekeye maksimum güç transferinin sağlanması, gerilimin yükseltip düşürülmesi noktalarında enerji kaybının düşük olması yalnız verimlilik açısından değil aynı zamanda güvenlik açısından da önemlidir. Ülkemizde enerji iletiminde kayıp oranı % 3 seviyelerinde olup bu kadar geniş bir alan için, gelişmiş ülkelerdeki seviyelerle benzerdir. Batı Avrupa ülkelerinde % 7-8 oranlarında ortaya çıkan dağıtım kayıpları ise 2001 yılında ülkemizde neredeyse % 20'ler seviyesine ulaşmıştır. Ülkemizdeki dağıtım kayıplarını yansıtmakta olan bu değerlerin içerisinde, kaçak elektrik kullanımı da büyük rol oynamaktadır.

Reaktif gücün kompanse edilmesi, iletimin yüksek güç taşınan yerlerde yüksek gerilimle yapılması, kaliteli elektrik malzemelerinin kullanılması, trafonun uygun yükte çalıştırılması, çok sayıda küçük trafo yerine az sayıda büyük trafo kullanılması elektrik iletimde verimi arttıracak tedbirlerdir. Elektrik sistemlerinde güç faktörünün düşük olması, tesis ve yatırım maliyetlerinin artmasına, gerilim düşümlerine, daha büyük transformatör ve iletken gereksinimine, daha pahalı elektrik tüketimine yol açar. Verimlilik için güç faktörü önemli bir kriterdir.

### **6.3.3 Tüketim Aşamasında Verim**

Bina ve hizmet, sanayi, ulaştırma gibi sektörleri kapsayan bu alan, verim artışı konusunda en yaygın teknolojilerin kullanıldığı alandır. Daha çok ısınma ve aydınlanma amaçlı tüketimin yoğun olduğu bina ve hizmet sektöründe, verim artırıcı çözümlerin düşen fiyatları ve artan çeşitliliği son kullanıcılarında tercihlerini etkilemektedir. Az yakıt tüketen aydınlanma elemanları, düşük enerji ile çalışan elektrikli ev cihazları, kayıpları azaltan bina otomasyon sistemleri, yalıtım teknolojileri, son kullanıcıya yönelik yenilenebilir enerji teknolojileri gibi çözümler gün geçtikçe daha fazla kullanılmaktadır. Tasarım ve inşaa esnasında, binalarda enerjinin etkin kullanımı dikkate alınması gereken bir kriterdir.

Sanayi sektöründe verimliliğin artırılabilmesi için süreçler belirlenirken enerji tasarrufunun göz önünde bulundurulması, randımanlı sistemlerin kullanımı, bakımlarının düzenli yapılması, yeniden kullanılacak atıklarının girdi olarak değerlendirilmesi çözümlerden birkaçıdır. Sanayi sektöründe rekabet daha çok ön plana çıktığı için verimliliği arttıracak çözümler bir kat daha önem kazanmaktadır.

Ulaştırma sektöründe ise düşük sürtünmeli araçların geliştirilmesi, motor teknolojisindeki ilerlemeler, alternatif yakıtlı motorların kullanılması verimi arttıracak çözümlerden bir kaçıdır. Toplu taşımacılık ve trafik düzenleyici ve kontrol edici sistemler ise özellikle şehir içi ulaşımında enerji tasarrufu sağlayabilecek çözümlerdendir.

## **6.4 Yenilenebilir Enerjiler ve Verimlilik**

Yenilenebilir enerji kullanımı ile enerjinin verimli kullanımının politik, ekonomik, çevresel ortak amaçları olduğu daha önce ortaya konulmuştu. Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji tüketim verimliliğini artırma amaçlı kullanılmasının yanında yenilenebilir enerji

kaynaklarından enerji üretilirken verimliliğin artırılması gibi farklı aşamalarda ele alınabilecek, ancak temelde son kullanıcıya kaynaktan alınan enerjinin en yüksek oranla yansıtılmasını hedefleyen tedbirler bu bölümde ele alınacaktır.

Yenilenebilir enerjiler doğası nedeniyle verimli olarak nitelendirilebilen kaynaklardır. Uzun vadeli ve kalıcı oluşları yapılan yatırımlar açısından verimi arttırmaktadır. Ayrıca kullanılmayan dünya enerji potansiyelinin değerlendirilmesine ve ülkelerin ellerindeki kaynaklardan yararlanmalarına olanak sağlamaktadır.

Üretim kademelerinde enerji tüketiminin azaltılması ürünlerin maliyetine olumlu yansıtacağı için önemlidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarını elektrik üretim verimi açısından değerlendirecek olursak, farklı üretim teknikleriyle ve teknolojik ilerlemelerle birlikte sistemlerin verimlerinde günden güne artış olmaktadır. Fakat, alınacak verimi en çok belirleyen şey yine enerjinin doğasıdır. Hidroelektrik santrallerinde, kayıplar minimum düzeyde tutularak suyun enerjisinin büyük kısmı elektrik enerjisine çevrilebilirken, rüzgar ve güneş enerjisi için bu oran daha düşük seviyelerde seyretmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üreten sistemlerin verimleri, eski hidroelektrik santrallerde yüzde 65'ler seviyesinde seyrederken günümüzde bu değer yüzde 90 seviyelerine ulaşabilmektedir. Rüzgar enerjisinde ise Betz limiti gereği verim teorik olarak yüzde 59'dan fazla olamamaktadır. Güneş ısı sistemlerinde yüzde 5-10 seviyelerinde olan verim fotovoltaiklerde kullanılan maddenin türüne göre yüzde 25'ler seviyelerine ulaşabilmektedir. Jeotermal santrallerin verimi de uygun teknolojilerle hidroelektrik santraller seviyelerine yükseltilebilmektedir.

Çizelge 6.2 PV modül verimlilikleri (Göksal, 2003)

<b>Malzeme</b>	<b>Teorik verimleri</b>	<b>Laboratuvar verimleri</b>	<b>Modül verimleri</b>
Kristal silikon	% 29	% 23	% 15
GaAS	% 31	% 25	-
Amorf Si	% 27	% 12	% 8
CIS	% 27	% 17	% 11

Santrallerin verimliliklerindeki bir diğer etkense ekonomik ömürleridir. Santrallerin ömürleri yapılan periyodik bakımlarla birebir ilişkili olmakla beraber, ortalama ömürleri ekonomik verim açısından önemlidir. Hidroelektrik santrallerde 35-50 yılı bulan mekanik aksam ömürleri rüzgar santrallerinde 25 yıl civarındadır.

Güneş enerjisi, rüzgar enerjisi gibi enerjiler dağıtık üretim yapmaya müsait oldukları için şebekeden geçmeden üretildikleri yerde tüketilmeye uygundur. Bu sayede şebeke kayıplarının da önüne geçilmiş olunur. Son kullanıcıların yenilenebilir enerjileri benimsemesi konuya yapılan yatırımları arttıracak, maliyetleri ucuzlatacak, kaynaklardan daha fazla verim alınması içinde zemin hazırlayacaktır. ABD, Fransa, İngiltere, Almanya ve Japonya gibi ülkelerde son yıllarda PV sektörüyle ilgili çalışmalar ve yatırımlar bir çok ev kullanıcısının PV kullanımına yöneltmiştir. Evlerde PV iklimlendirme ve su ısıtma amaçlı tercih edilebilir. Kullanıcıları teşvik eden ve evlerin çatılarında güneş sistemleri kullanımını arttırmayı hedefleyen Almanya'da 100.000, Japonya'da 70.000, Amerika'da 2010 yılına kadar 1 milyon çatı programları, hükümetler tarafından son kullanıcıların tercihlerine yön verebilmek için organize edilmektedir (Ün, 2003).

### **6.5 Türkiye'de Enerji Verimliliği Çalışmaları**

Düzenli olarak Devlet Planlama Teşkilatı tarafından her 5 yılda bir planlanan ve Resmi Gazetede yayımlanan Türkiye'nin enerji politikası hedefleri şu şekildedir:

- Sosyal ve ekonomik büyüme için yeterli, güvenilir ve ekonomik enerji kaynaklarının sağlanması,
- Enerji kaynaklarının güvenliğinin sağlanması,
- Artan enerji talebini karşılayacak gerekli yatırımların yapılması..

Türkiye'de ilk enerji planlaması çalışmaları 1981 yılında Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından başlatılmıştır. Öncelikli çalışmalar daha çok sanayi sektöründe verim artışına yönelik olarak yapılmıştır. 1993 yılında Elektrik İşleri Etüt İdaresi bünyesinde, Ulusal Enerji Tasarrufu Merkezi oluşturulmuştur. Bu kurumların çalışmaları tüketim sektörlerinde yüzde 25 oranında enerji tasarruf potansiyeli olduğunu ortaya koymuştur.

Türkiye verimliliğin artırılması üzerine araştırma yapan kurumlar, üç tüketim sektöründe sağlanabilecek tasarruf miktarının yıllık 13.2 Mtep civarında olduğunu ve bunun taşımacılık sektörünün yıllık tüketimine yakın bir değer olduğunu ortaya koymuştur.

Enerji üretiminde çevresel etkilerinde göz önünde bulundurulduğu Ulusal Ajanda da şu tedbirlere yer verilmiştir.

- Binalarda yalıtım ve ısınma sistemlerinin performanslarının iyileştirilmesi,
- Düşük faizli uzun vadeli kredilerle ısı yalıtımının teşvik edilmesi,
- Kojenerasyonun özendirilmesi,
- Yenilenebilir Enerji kullanımının artırılması için araştırma-geliştirme programlarının desteklenmesi.

Yine bir kamu kuruluşu olan Türk Standartlar Enstitüsü çeşitli alanlarda verimliliğin artırılabilmesi için kriterleri belirlemektedir. Örneğin daha önce  $200 \text{ kW/m}^2$  olan ve Avrupa Birliği değerlerinin çok üstünde olan yeni binalarda ısı kayıp standartları, yılda  $120 \text{ kW/m}^2$ 'ye düşürülmüştür.

Türkiye'de iletimde kayıp-kaçak oranının yüksek oluşu bilinen bir gerçektir. Elektrikte yüzde 20'leri aşan kayıp-kaçak oranının aşağılara çekilebilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Teknolojiden yararlanılarak izleme-takip mekanizmalarının geliştirilmesi bu konuda verimliliğin artırılabilmesi için çeşitli konferanslarda ortaya konulan bir çözüm önerisidir. Kayıp ve kaçaklar yüzde 20'ler seviyesinde dağıtımda olurken % 3 civarındaki bir kayıp iletim sistemi kaynaklıdır(Erdi, 2003). Halen ülkemizde sanayi, konut ve ulaşım en büyük nihai enerji tüketim sektörleridir. 60 Milyon TEP civarında olan enerji tüketiminin yüzde 42'si sanayide, yüzde 31'i konutlarda ve yüzde 19'u ulaştırma sektöründe kullanılmaktadır. Bu üç sektör toplam tüketilen enerjinin yüzde 92'sini oluşturmaktadır.

Enerji verimliliğinin artırılmasında, tüketicilerin bilinçlendirilmesi önemli bir rol oynamaktadır. Verimliliği artırıcı yöntemler konusunda çeşitli iletişim kanalları aracılığıyla tüketiciyi bilinçlendirme çalışmaları bu konuda önemli bir adımdır. Ayrıca kullanıcıların verimliliği artırıcı çözümlere yönelmesi için bir çok ülkede teşvik mekanizmaları işletilmektedir. Türkiye'nin tükettiği tüm enerjilerin % 50'ye yakını konutlarda elektrik ve ısı

olarak tüketilmektedir Bu sektörde % 20 oranında tasarruf bile milyarlarca dolar kazanç anlamına gelmektedir.

Enerji verimliliğinin kısa ve orta dönemde ülkelerin enerji sorunlarının çözümüne katkı sağlayacağı ve yeni yatırımlardan daha az maliyetli olacağı gerçeğinden hareketle öngörülen tasarruf miktarının 3 milyar dolar (EİEİ) civarında olacağı öngörülmektedir. Ayrıca uygulanacak tedbirler, uzun sürede tamamlanabilecek yatırımlardan daha kısa sürede netice verebilmektedir.



## SONUÇ

Veriler göz önünde bulundurulduğunda yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyacın, dünya için tercihten ziyade bir zorunluluk halini almış olduğu göze çarpmaktadır. Gerek yenilenebilir enerji yatırım maliyetlerinde gerçekleşen düşüşler, gerekse petrol, kömür, doğalgaz gibi birincil enerji kaynaklarında dünya nüfus artışına da bağlı olarak zamanla oluşacak yetersizlik, stratejik olarak yeni kaynaklara yönelmeyi gerektirmektedir. Yenilenebilir enerjilerin dağıtılmış olarak konumlandırılabilmesi ve şebeke bağımsız elektrik üretimine imkan tanınmaları ise dünya da elektrik enerjisinin yaygınlaşması için uygun bir basamak olarak tercih edilebileceklerini ortaya koymaktadır.

Öte yandan günümüzde tüm dünyanın gündeminde olan ve bilim adamlarının özellikle üzerinde durduğu küresel ısınma ve çevre kirliliğinin önlenmesi amacıyla alınacak tedbirlerden bir tanesi de temiz enerji kaynaklarının kullanımınıdır. Bu da bu alana aktarılacak kaynakların gerekliliğini bir kat daha artırmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılması konusunda her ne kadar devlet ve enerji üreticileri önemli bir rol üstlense de , jeotermal, güneş, rüzgar, biyokütle teknolojilerinin son tüketici ve kullanıcılar açısından kullanımı da bir o kadar önemlidir. Son kullanıcılar için en önemli tercih kriteri olan maliyetler, kullanım oranlarındaki artışa bağlı olarak daha hızlı düşüş eğilimine girecek ve bu durum yenilenebilir enerjilerin günlük kullanım oranlarını arttıracaktır.

Dünyada gelişmiş ülkeler yenilenebilir enerji sektörünün avantajlarından yararlanabilmek için harekete geçmişlerdir. ABD, Avrupa Birliği, Japonya gelecek 10-20 yıllık dönem içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanarak, toplam enerji üretimi içerisindeki payını arttıracak planlar yapmaktadır. Ayrıca yenilenebilir enerji sektörünün dünyada da yaygınlaşacağını öngörerek pazar paylarını arttırmak için rekabete girişmişlerdir.

Ülkemiz yenilenebilir enerji kaynakları açısından şanslı sayılabilecek bir coğrafi bölgede konumlanmıştır. Hidroelektrik, rüzgar, jeotermal ve güneş enerjisi açısından oldukça şanslı olan Türkiye'nin 3 tarafı da denizlerle çevrilidir. Ülkemizde yalnız temiz enerji kaynakları potansiyeli Türkiye'nin bugünkü enerji ihtiyacının çok çok üzerindedir. Son zamanlarda bu kaynakların değerlendirilmesi amacıyla arge ve yatırım faaliyetleri hız kazanmıştır. Konuyla

ilgili kurum ve kuruluşlar çeşitli konferans ve toplantılarda bu konu üzerine daha fazla eğilmektedirler. Türkiye'nin geçmiş yıllarda enerji yetersizliği yaşamış olması ve acil çözüm ihtiyacı nedeniyle dışarıdan enerji almakta oluşu, daha az dışa bağımlı ucuz ve yeni enerji kaynaklarının önemini stratejik olarak da arttırmaktadır.

Öte yandan, her geçen gün artmakta olan enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla yeni alternatiflerin değerlendirilmesi, eldeki kaynakların verimli kullanımı konusunda paralel olarak ele alınmalıdır. Bir çok kişisel veya ulusal rapor ve planda her iki konu sürdürülebilir enerji konseptinin parçası olarak beraber değerlendirilmiş ve öneriler sunulmuştur. "En ucuz enerji tasarruf edilendir" fikrinin toplumlar tarafından benimsenmesinin gerek çevresel gerek ekonomik açıdan getirileri çok fazladır.

Verimlilik hayatın her alanında olduğu gibi enerji sektöründe de çok geniş olarak ele alınmalıdır. Enerji son kullanıcıya ulaştırılana dek, üretimden tüketime kadar bir çok basamaktan geçmektedir. Bu basamakların her birinde verimlilik değerlendirmesi, çok geniş ve ayrı ayrı ele alınması gereken bilimsel bir araştırma konusu olarak önümüze çıkmaktadır.

Tesislerin kurulumundan önce, projelendirme aşamalarında yapılacak verimlilik çalışmaları, enerji sektörü gibi büyük kurulum maliyetlerinin gerçekleştiği ve uzun ömürlü tasarlanan sistemlere yatırımların yapıldığı bir sektörde, uzun dönemde karşılaşılabilecek maliyet artışları ve kaynak yetersizlikleri gibi istenmeyen durumların ortaya çıkışını engelleyecektir.

İletim aşamasında verimlilik, iletim şebekesi ve iletim hatlarında kullanılan teknoloji ile doğrudan ilişkili olmakla birlikte, gerilim seviyesi, güç faktörü, maliyet analizleri dizayn aşamalarında dikkat edilmesi gereken önemli faktörlerdir.

Dağıtım ve tüketim aşamalarında verimlilik en çok seçeneği bünyesinde barındırmasına rağmen, ekonomik ve toplum bilinci gibi sosyal faktörler bu alanda yapılması gereken çalışmaları diğerlerine göre daha zor hale getirmektedir. Verimliliğin ülkemizde de olduğu gibi genellikle en düşük olduğu bu basamakta alınacak tedbirler ve yapılacak çalışmalar olumlu sonuçlar alınmasını sağlayacaktır.

Yukarıdaki örnekler konunun önemini daha açık ortaya koymaktadır. Hem gelişen dünyada yer alabilmek hem de ülkemiz enerji ihtiyacımızı daha iyi karşılayabilmek için yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı ve üretilen enerjinin verimliliği konularının üzerinde önemle durulması gerekmektedir.



## KAYNAKLAR

- Akgün, N., (2003), “Yenilenebilir Enerji Kaynakları”
- Altuntaşoğlu, Z., (2003), “Sürdürülebilir Kalkınma-Yenilenebilir Enerji ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanun Tasarısı Taslağı”, 4. Enerji Sempozyumu, 10-12 Aralık 2003, Ankara, 195-205.
- Ar, F., Akdağ F., Malkoç Y., Çalışkan M., (2003), “Biyokütle Enerjisi ve Biyomotorin”, 4. Enerji Sempozyumu, 10-12 Aralık 2003, Ankara, 393-404.
- Bayoğlu, S., (2003), “Türkiye’nin Hidroelektrik Potansiyelinin Yeniden Değerlendirilmesi”, Türkiye 9. Enerji Kongresi, 24-27 Eylül 2003, İstanbul, Cilt II, 89-91.
- Çağlar, M. Ve Altuntaşoğlu Z., (2003), “Sürdürülebilir Kalkınma ve Yenilenebilir Enerji”, Türkiye 9. Enerji Kongresi, 24-27 Eylül 2003, İstanbul, Cilt II, 155-166
- Çalıköğlü E., “Enerji Verimliliği ve EİE İdaresi Genel Müdürlüğü Tarafından Yürütülen Çalışmalar”
- Çalışkan, N. O., (2003), “Enerji Kaynaklarının Çeşitlendirilmesinde Yenilenebilir Enerji Kaynakları”, 4. Enerji Sempozyumu, 10-12 Aralık 2003, Ankara, 335-343.
- Dündar, C. Ve Arıkan Y. (2003), “Enerji, Çevre ve Sürdürülebilirlik”, 4. Enerji Sempozyumu, 10-12 Aralık 2003, Ankara, 175-193.
- EcoNorthWest, “The Economic Benefits of Renewable Energy and Cost Effective Energy Efficiency”, (Eylül 2001)
- Eniş, A., (2003), “Enerji Politikaları ile Yerli, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları”, 4. Enerji Sempozyumu, 10-12 Aralık 2003, Ankara, 145-174.
- Ergin, D., (2003), “AB’nin Enerji Bağımsızlığı ve Sürdürülebilir Kalkınma Politikalarında Biyokütle Enerjisinin Yeri: Üye, Aday Ülkelerdeki Araştırmalar ve Uygulamalar”, 4. Enerji Sempozyumu, 10-12 Aralık 2003, Ankara, 279-299.
- Prof. Dr. Eroğlu, V., (2003), “Ülkemizin Hidroelektrik Üretim Potansiyeli ve Yakın Gelecekteki Önemi”, Türkiye 9. Enerji Kongresi, 24-27 Eylül 2003, İstanbul, Cilt II, 95-115.
- Erdi H., (2003), “Elektrik Enerjisi Sektöründe Serbestleşme ve Teşvikler Yöntüyle Bir Değerlendirme”, Türkiye 9. Enerji Kongresi, 24-27 Eylül 2003, İstanbul, Cilt I, 41-55.
- Gençoğlu, M. T., (2002), “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Açısından Önemi”, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Göksal, T., (2003), “Enerji Etkin Tasarım-Mimaride Güneş Pilleri”, Türkiye 9. Enerji Kongresi, 24-27 Eylül 2003, İstanbul, Cilt II, 193-202.
- Hydropower and Dams, World Atlas (1999)
- International Energy Agency, Energy Efficiency Update (May 1999)
- International Solar Energy Society, “Transitioning to a Renewable Energy Future”, (Kasım 2003)
- Köse, R., Tuğcu, A. ve Arslan, O., (2003), “Simav Yöresi Jeotermal Kaynaklarından Elektrik Enerjisi Üretimine İrdelenmesi”, Türkiye 9. Enerji Kongresi, 24-27 Eylül 2003, İstanbul, Cilt II, 137-147.
- Martinot, E., (2002), “Grid Based Renewable Energy in Developing Countries: Policies,

Strategies, and Lessons from the Global Environment Facility”, World Renewable Energy Policy and Strategy Forum, 13-15 Haziran 2002, Berlin, 381-392.

Mertoğlu, O., (2003), “Türkiye’de Jeotermal Elektrik Dışı Uygulamalar İle İlgili Son Üç Yılda Gelişmeler, Sorunlar ve Çözüm Önerileri”, Türkiye 9. Enerji Kongresi, 24-27 Eylül 2003, İstanbul, Cilt II, 149-154.

National Association of State Energy Officials, “Energy Efficiency and Renewable Energy Sources: A Primer”, (Temmuz 1998)

Nizam, O., (2004), “Güneş Enerjisi Sistemlerinde Maksimum Güç Transferi”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mayıs 2004, İstanbul, 1-8.

Prof. Dr. Öziş, Ü., Doç. Dr. Baran, T., “Türkiye Açısından Hidroelektrik Enerjinin Gelişimi”, Türkiye 9. Enerji Kongresi, 24-27 Eylül 2003, İstanbul, Cilt II, 79-87.

Özdemir, B., (2003), “Türkiye’de Rüzgar Enerjisi Uygulamalarının Gelişimi ve Geleceği”, Türkiye 9. Enerji Kongresi, 24-27 Eylül 2003, İstanbul, Cilt II, 167-175.

Prof. Dr. Saraçoğlu, N., (2003), “Biyokütle Enerji Üretiminde Değerlendirilmesi”, 4. Enerji Sempozyumu, 10-12 Aralık 2003, Ankara, 311-317.

Serpen, U., (2003), “Jeotermal Enerjide son Teknolojik Gelişmeler”, Türkiye 9. Enerji Kongresi, 24-27 Eylül 2003, İstanbul, Cilt II, 117-126.

Serpen, U. ve Toksoy, M., (2003), “Türkiye’de Jeotermal Enerjinin Kullanılmasında Kurumsal, Teknik ve Ekonomik Sorunlar”, Türkiye 9. Enerji Kongresi, 24-27 Eylül 2003, İstanbul, Cilt II, 127-135.

Tuncer, M., “AB ve Enerji Sektörü”, 2004, İstanbul.

Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Enerji Komisyonu, “Türkiye’de Enerji Sorunu ve Çözüm Önerileri”, Aralık 2003.

Ün, Ü. T., (2003), “Sürdürülebilir Enerji: Fotovoltaik Güç Sistemleri”, Türkiye 9. Enerji Kongresi, 24-27 Eylül 2003, İstanbul, Cilt II, 183-192.

Varlı, F., (2004), “Yeni-Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Türkiye’nin Pozisyonu”, YTÜ Elektrik Müh.

Veziroğlu, N. ve Noyan, F., (2003), “21. Yüzyılın Enerjisi: Hidrojen Enerji Sistemi”, Türkiye 4. Enerji Sempozyumu, 10-12 Aralık 2003, Ankara, 11-34.

Yalçın, E., (2003), “Enerji Tasarrufunun Çevre Üzerine Etkileri”, 4. Enerji Sempozyumu, 10-12 Aralık 2003, Ankara, 381-392.

Ziz, S., “Renewable Energy: A Fork in the Road”, Science and Society Issues Paper

**İNTERNET KAYNAKLARI**

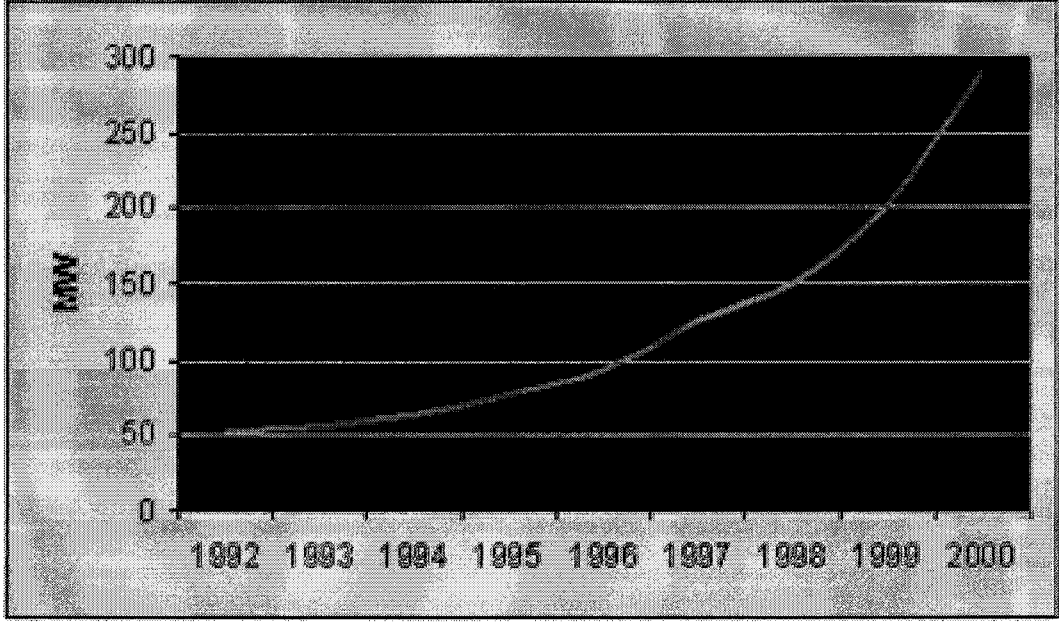
- [1] [www.angelfire.com/scifi/nuclear220/sec555.htm](http://www.angelfire.com/scifi/nuclear220/sec555.htm)
- [2] [www.eia.doe.gov](http://www.eia.doe.gov)
- [3] [www.eie.gov.tr](http://www.eie.gov.tr)
- [4] [www.enerji.gov.tr](http://www.enerji.gov.tr)
- [5] [www.epdk.gov.tr](http://www.epdk.gov.tr)
- [6] [www.euas.gov.tr](http://www.euas.gov.tr)
- [7] [www.kimyamuhendisi.com](http://www.kimyamuhendisi.com)
- [8] [www.kojenerasyon.com](http://www.kojenerasyon.com)
- [9] [www.nrel.gov](http://www.nrel.gov)
- [10] [www.renewableseast.org.uk](http://www.renewableseast.org.uk)
- [11] [www.renewables2004.de](http://www.renewables2004.de)
- [11] [www.tusiad.org/turkish/rapor/enerji/](http://www.tusiad.org/turkish/rapor/enerji/)
- [12] [www.tubitak.gov.tr/btpd/btspd/platform/enerji/altgrup/cevre/](http://www.tubitak.gov.tr/btpd/btspd/platform/enerji/altgrup/cevre/)
- [13] [www.world-council-for-renewable-energy.org](http://www.world-council-for-renewable-energy.org)
- [14] [www.worldenergy.org](http://www.worldenergy.org)

**EKLER**

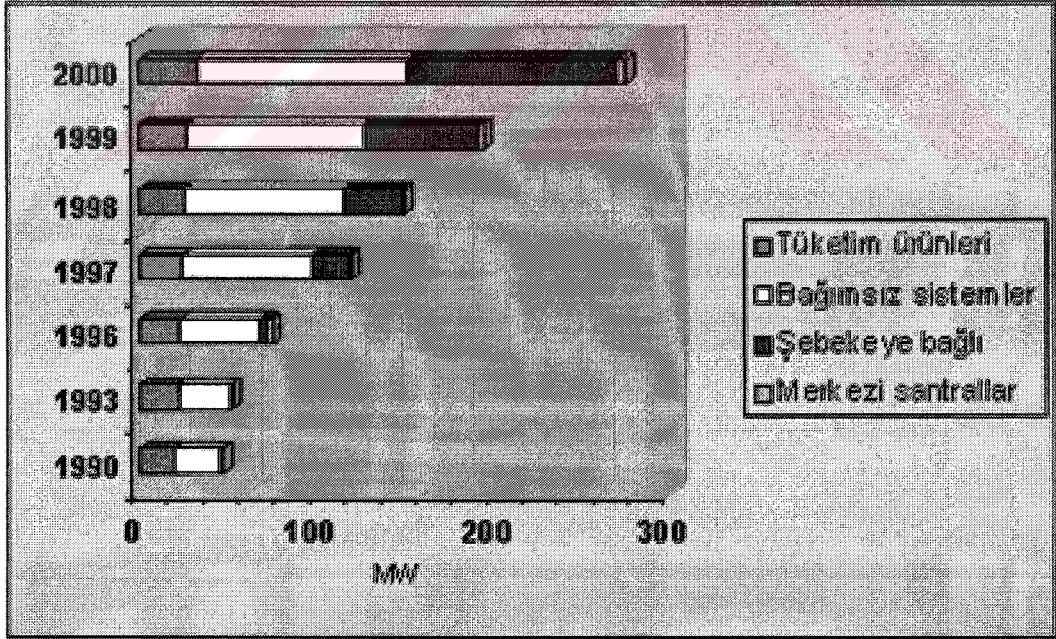
- Ek-1 Fotovoltaiklerle İlgili Dünyadan Örnek Grafikler
- Ek-2 Güneş Pillerinin Yapısı ve Çalışma Prensibi
- Ek-3 Kanun Taslağında Kojenerasyon Terimleri
- Ek-4 Yenilenebilir Enerji Kaynakları ile İlgili EPDK'nın Yapmış Olduğu Duyuru



### Ek-1 Fotovoltaiklerle İlgili Dünyadan Örnek Grafikler



Dünyada Güneş Pili Satışları (Kaynak: EIE)



Dünyada Kurulu Güneş Pili Kullanım Alanlarına Göre Dağılımı (Kaynak: EIE)

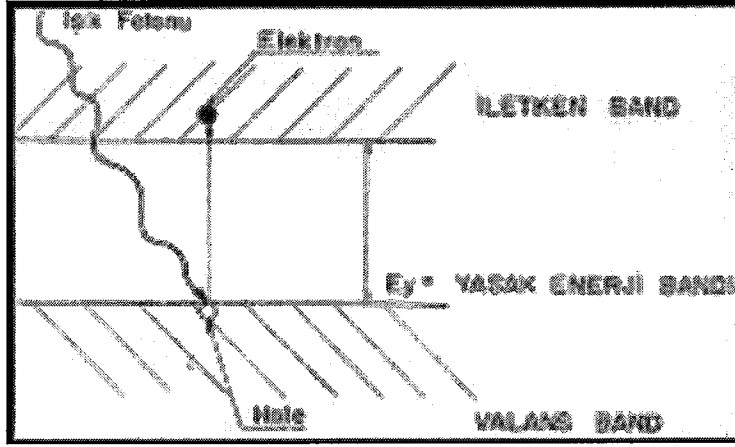
## Ek-2 Güneş Pillerinin Yapısı ve Çalışma Prensipleri

Günümüz elektronik ürünlerinde kullanılan transistörler, doğrultucu diyotlar gibi güneş pilleri de, yarı-iletken maddelerden yapılırlar. Yarı-iletken özellik gösteren birçok madde arasında güneş pili yapmak için en elverişli olanlar, silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür gibi maddelerdir.

Yarı-iletken maddelerin güneş pili olarak kullanılabilmesi için n ya da p tipi katkı maddeleri gereklidir. Katkılama, saf yarıiletken eriyik içerisine istenilen katkı maddelerinin kontrollü olarak eklenmesiyle yapılır. Elde edilen yarı-iletkenin n ya da p tipi olması katkı maddesine bağlıdır. En yaygın güneş pili maddesi olarak kullanılan silisyumdan n tipi silisyum elde etmek için silisyum eriyiğine periyodik cetvelin 5. grubundan bir element, örneğin fosfor eklenir. Silisyum'un dış yörüngesinde 4, fosforun dış yörüngesinde 5 elektron olduğu için, fosforun fazla olan tek elektronu kristal yapıya bir elektron verir. Bu nedenle V. grup elementlerine "verici" ya da "n tipi" katkı maddesi denir.

P tipi silisyum elde etmek için ise, eriyiğe 3. gruptan bir element (alüminyum, indiyum, bor gibi) eklenir. Bu elementlerin son yörüngesinde 3 elektron olduğu için kristalde bir elektron eksikliği oluşur, bu elektron yokluğuna hol ya da boşluk denir ve pozitif yük taşıdığı varsayılır. Bu tür maddelere de "p tipi" ya da "alıcı" katkı maddeleri denir.

P ya da n tipi ana malzemenin içerisine gerekli katkı maddelerinin katılması ile yarıiletken eklemler oluşturulur. N tipi yarıiletkende elektronlar, p tipi yarıiletkende holler çoğunluk taşıyıcısıdır. P ve n tipi yarıiletkenler bir araya gelmeden önce, her iki madde de elektriksel bakımdan nötrdür. Yani p tipinde negatif enerji seviyeleri ile hol sayıları eşit, n tipinde pozitif enerji seviyeleri ile elektron sayıları eşittir. PN eklem oluştuğunda, n tipindeki çoğunluk taşıyıcısı olan elektronlar, p tipine doğru akım oluştururlar. Bu olay her iki tarafta da yük dengesi oluşana kadar devam eder. PN tipi maddenin ara yüzeyinde, yani eklem bölgesinde, P bölgesi tarafında negatif, N bölgesi tarafında pozitif yük birikir. Bu eklem bölgesine "geçiş bölgesi" ya da "yükten arındırılmış bölge" denir. Bu bölgede oluşan elektrik alan "yapısal elektrik alan" olarak adlandırılır. Yarıiletken eklem bölgesinde güneş pili olarak çalışması için eklem bölgesinde fotovoltaj dönüşümün sağlanması gerekir. Bu dönüşüm iki aşamada olur, ilk olarak, eklem bölgesine ışık düşürülerek elektron-hol çiftleri oluşturulur, ikinci olarak ise, bunlar bölgedeki elektrik alan yardımıyla birbirlerinden ayrılır.



Yarıiletkenler, bir yasak enerji aralığı tarafından ayrılan iki enerji bandından oluşur. Bu bandlar valans bandı ve iletkenlik bandı adını alırlar. Bu yasak enerji aralığına eşit veya daha büyük enerjili bir foton, yarıiletken tarafından soğurulduğu zaman, enerjisini valans bandındaki bir elektrona vererek, elektronun iletkenlik bandına çıkmasını sağlar. Böylece, elektron-hol çifti oluşur. Bu olay, pn eklem güneş pilinin ara yüzeyinde meydana gelmiş ise elektron-hol çiftleri buradaki elektrik alan tarafından birbirlerinden ayrılır. Bu şekilde güneş pili, elektronları n bölgesine, holleri de p bölgesine iten bir pompa gibi çalışır. Birbirlerinden ayrılan elektron-hol çiftleri, güneş pilinin uçlarında yararlı bir güç çıkışı oluştururlar. Bu süreç yeniden bir fotonun pil yüzeyine çarpmasıyla aynı şekilde devam eder. Yarıiletkenin iç kısımlarında da, gelen fotonlar tarafından elektron-hol çiftleri oluşturulmaktadır. Fakat gerekli elektrik alan olmadığı için tekrar birleşerek kaybolmaktadırlar.

Kaynak: EİE

### Ek-3 Kanun Taslağında Kojenerasyon Terimleri

- A. “KOJENERASYON” terimi ısı enerjisi ve elektrik ve/veya mekanik enerjinin aynı çevrim içinde ve eş zamanlı olarak elde edilmesi demektir. Uygulamanın gerektirdiği koşullar ve üretilen ısının farklı amaçlarla kullanımındaki farklı sıcaklık seviyeleri dikkate alınırsa kojenerasyon üç sınıfa ayrılmaktadır: “Endüstriyel Kojenerasyon”, “Isıtma Kojenerasyonu” ve “Tarımsal Kojenerasyon”.
- B. “ENDÜSTRİYEL KOJENERASYON” ısı enerjisi ve elektrik enerjisinin aynı çevrim çerçevesinde elde edilerek her iki enerjinin Endüstri tesislerinde kullanılmasıdır.
- C. “ISITMA KOJENERASYONU ” terimi, üretilen ısı derecesi genellikle 40°C ile 140°C arasında olan binalarda, toplu konutlarda, kooperatif ve benzeri ticari kuruluşlarda doğrudan veya bölgesel ısıtma sistemlerinde ısıtma ve soğutma sağlamak amacıyla, ısı enerjisi ve elektrik enerjisinin aynı çevrim çerçevesinde elde edilmesi ve kullanılmasıdır. Üretilen elektrik toplu konutlarda kullanılabilir veya piyasada satılabilir.
- D. “TARIMSAL KOJENERASYON” ısı enerjisi ve elektrik enerjisinin aynı çevrim çerçevesinde elde edilerek, üretilen ısının, sıcaklık derecesi genellikle 15°C ile 40°C arasında olan seraların, su altı kültürel balık üretim tesisleri ve benzeri tesislerin tarımsal amaçlı ısıtılmasında kullanılmasıdır. Üretilen elektrik tarımsal üretim tesisinde değerlendirilebilir veya piyasada satılabilir.
- E. “FAYDALI ISI” Ekonomik olarak doğrulanmış bir talebi karşılamak için, kojenerasyon sisteminde üretilen ısıdır (buhar, sıcak su ve benzeri) ; faydalı ısı ikincil bir işlem yoluyla faydalı soğutma üretiminde de kullanılabilir.
- F. “KOJENERASYONDAN SAĞLANAN ELEKTRİK” yönetmeliğe uygun şekilde ve faydalı ısı üretmeye bağlı bir işlem sırasında üretilen elektrik anlamına gelecektir.
- G. ”BÖLGESEL ISITMA” bir dağıtım sistemi yoluyla, kullanıcılara buhar veya sıcak su şeklinde ticari amaçlarla ısı sunan bir sistem anlamına gelecektir.
- H. ”BÖLGESEL SOĞUTMA”, bir dağıtım sistemi yoluyla su soğutucularına, sıcak su veya buhar sunan bir sistem anlamına gelecektir.
- I. “İMDAT ELEKTRİĞİ ” kojenerasyon santrali devre dışı kaldığında veya kullanılmadığı her durumda, elektrik şebekesi aracılığıyla sağlanması gereken fazla elektrik anlamına gelecektir.
- İ. “TAKVİYE ELEKTRİK” elektrik ihtiyacının kojenerasyon santrali üretiminden elde edilen elektrik kapasitesinden fazla olduğu durumlarda, elektrik şebekesi aracılığı ile sağlanan fazla elektrik anlamına gelecektir.

J. "İSİ VERİMLİLİĞİ" yıllık faydalı ısı çıktısının, kojenerasyon işleminde ısı ve elektrik üretimi için kullanılan yakıt girdisine bölünmesinden elde edilen oran anlamına gelecektir. Bölgesel ısıtılmalı kojenerasyon uygulamalarında ise, faydalı ısı çıktısı, dağıtım sistemindeki kayıpların gerçekçi bir şekilde hesaplanarak ısı dağıtım sistemine yönelen çıkış yerinden elde edilen değerden çıkarılmasıyla ölçülecektir. Diğer kojenerasyon uygulamalarında ise faydalı ısı üretimi kullanım noktasında ölçülecektir.

K. "ELEKTRİK VERİMLİLİĞİ" alternatör terminallerinde ölçülen brüt elektrik üretiminin (yıllık, aylık, günlük veya saatlik), kojenerasyon işleminde, elektrik ve ısı üretiminde kullanılan yakıt girdisine bölünmesiyle elde edilen oran anlamına gelecektir.

L. "TOPLAM VERİMLİLİK" elektrik üretimi ve faydalı ısı üretim toplamının bu kojenerasyon sisteminde kullanılan yakıt girdisine bölünmesiyle elde edilen oran anlamına gelecektir. Verimlilik hesabında daima, kullanılan yakıtın alt ısı değeri dikkate alınacaktır.

M: "ÖZGÜL İSİ DEĞERİ" Kojenerasyon Sisteminde 1kwh elektrik üretmek için kullanılan (yakılan) yakıt enerjisidir. ( Kcal/kwh, Btu/kwh veya Kj/kwh gibi)

N. "AYRI ÜRETİM İÇİN VERİMLİLİK REFERANS DEĞERİ" Bir kojenerasyon çevriminde eş zamanlı olarak üretilen ısı ve elektriğin, alternatif olarak ayrı ayrı üretilmesi halinde elde edilecek verimlilik anlamına gelecektir.

O."ELEKTRİK / İSİ ORANI" elektrik enerjisinin faydalı ısı enerjisine olan oranı anlamına gelecektir.

P. "KOJENERASYON ÜNİTESİ" temel olarak Fıkra A) da tanımlanan kojenerasyon işlemlerinde kullanılması tasarlanan bir ünite anlamına gelecektir; bir kojenerasyon ünitesi sadece elektrik enerjisi veya sadece ısı enerjisi ürettiği zaman bile yine de kojenerasyon ünitesi olarak tanımlanacaktır. Bir kojenerasyon ünitesi sadece elektrik üretiyorsa, bu basit çevrimli kojenerasyon ünitesidir.

R."KOJENERASYON TESİSİ" bir veya daha fazla kojenerasyon ünitesinden oluşan tesis anlamına gelecektir. Bir kojenerasyon tesisi, sadece elektrik enerjisi ya da sadece ısı enerjisi üretmeye olanak tanıyan ünitelerden de oluşabilir.

S. "YÜKSEK VERİMLİ KOJENERASYON ÜNİTELERİ" "TOPLAM VERİMLİLİK" i en az yüzde 70 olan kojenerasyon üniteleri anlamına gelecektir.

T. "KÜÇÜK BOYUTLU KOJENERASYON" 1 MWe kapasiteye kadar olan kojenerasyon tesisleri anlamına gelecektir.

U. "MİKRO KOJENERASYON" 50 KWe kapasiteye kadar olan kojenerasyon tesisleri anlamına gelecektir.

#### **Ek-4 Yenilenebilir Enerji Kaynakları ile İlgili EPDK'nın Yapmış Olduğu Duyuru**

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumundan Duyuru:

Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu, 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile elektrik enerjisi üretiminde çevresel etkiler nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarının ve yerli enerji kaynaklarının kullanımını özendirmek amacıyla gerekli tedbirleri almak ve bu konuda teşvik uygulamaları için ilgili kurum ve kuruluşlar nezdinde girişimde bulunmakla görevlendirilmiştir. Bu görev çerçevesinde; rüzgar, güneş, jeotermal, dalga, gel-git, biyokütle, biyogaz ve hidrojen enerjisine dayalı üretim tesisleri ve kurulu gücü 50 megavat (MW) ve altında olan kanal veya nehir tipi hidroelektrik üretim tesisleri ile rezervuar hacmi yüz milyon metre küpün veya rezervuar alanı on beş kilometrekarenin altında olan hidroelektrik üretim tesisleri yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisleri olarak tanımlanmış ve bu üretim tesislerinin kurulmasının Elektrik Piyasası Kanununda öngörülen piyasa kuralları dahilinde desteklenebilmesini teminen aşağıdaki düzenlemeler yapılmıştır:

- 1) Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisi kurmak üzere lisans almak için başvuruda bulunan tüzel kişilerden lisans alma bedelinin yüzde biri dışında kalan tutarı tahsil edilmemektedir.
- 2) Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisleri için ilgili lisanslara derç edilen tesis tamamlanma tarihini izleyen ilk sekiz yıl süresince yıllık lisans bedeli alınmamaktadır.
- 3) Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesislerine, TEİAŞ ve/veya dağıtım lisansı sahibi tüzel kişiler tarafından, sisteme bağlantı yapılmasında öncelik tanınmaktadır.
- 4) Perakende satış lisansı sahibi tüzel kişiler; serbest olmayan tüketicilere satış amacıyla yapılan elektrik enerjisi alımlarında, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı bir üretim tesisinde üretilen elektrik enerjisi satış fiyatı, Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim Şirketinin toptan satış fiyatından düşük veya eşit olduğu ve daha ucuz bir başka tedarik kaynağı bulunmadığı takdirde, öncelikli olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisinde üretilen elektrik enerjisini satın almakla yükümlü kılınmıştır.

5) Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisleri, Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği uyarınca yük alma ve yük atma tekliflerini Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezine vermekten ve Ulusal Yük Dağıtım Merkezi tarafından verilecek yük alma ve yük atma talimatlarına uygun hareket etmekten muaf tutulmuşlardır.

6) Elektrik Piyasasında Mali Uzlaştırma Yapılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Tebliğ uyarınca; ürettikleri elektrik enerjisini toptan satış ve perakende satış lisansı sahibi tüzel kişilere satan rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisleri ile kanal tipi hidroelektrik üretim tesislerine, Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği yürürlüğe girene kadar söz konusu Tebliğ hükümleri uygulanmayacak ve mali uzlaştırmaya tabi tutulmayacaklardır.

Son olarak; 19 Temmuz 2003 tarihli ve 25173 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliğinde değişiklik yapılmasına ilişkin Yönetmelik uyarınca; yenilenebilir kaynaklara dayalı üretim faaliyeti gösteren üretim ve otoprodüktör grubu lisansı sahibi tüzel kişilerin özel sektör toptan satış şirketlerinden elektrik enerjisi satın almalarına olanak sağlanmıştır.

Bu değişiklikle, tesislerinde üretilen elektrik enerjisi miktarının sürekli değişmesi nedeniyle tüketicilerine verecekleri elektrik enerjisi miktarını taahhüt edemeyen yenilenebilir kaynaklara dayalı üretim faaliyeti gösteren tüzel kişiler, önceden anlaşacakları özel sektör toptan satış şirketine fazla üretimlerini satabilecekler, üretimleri düştüğü dönemlerde de tüketicilerine vermek üzere aynı tüzel kişilerden elektrik enerjisi satın alabileceklerdir.

Kurumumuz, Elektrik Piyasası Kanunu hükümleri çerçevesinde yenilenebilir kaynaklara dayalı üretim tesislerini desteklemeyi sürdürecektir.

Kamuoyuna saygıyla duyurulur.

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi 01.01.1979

Doğum yeri Bucak/Burdur

Lise 1993-1996

Isparta Süleyman Demirel Fen Lisesi

Lisans 1996-2000

Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

**Çalıştığı Kurumlar**

2000-2004

Türkiye İş Bankası A.Ş.

