

**T. C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TÜRKİYE’NİN
YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ
DÜNÜ VE BÜGÜNÜ İNCELENEREK
ELEKTRİK ENERJİSİNE OLAN KATKININ
ARAŞTIRILMASI**

HULUSİ ERSOY

**TEZ DANIŞMANI
YRD. DOÇ. DR. VATAN TUĞAL**

**ELEKTRİK EĞİTİMİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

İSTANBUL 1997

**T. C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TÜRKİYE’NİN
YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ
DÜNÜ VE BÜGÜNÜ İNCELENEREK
ELEKTRİK ENERJİSİNE OLAN KATKININ
ARAŞTIRILMASI**

HULUSİ ERSOY

DANIŞMAN
& KOORDİNATOR : YRD. DOÇ. DR. VATAN TUĞAL
JÜRİ ÜYESİ : PROF. DR. ABDÜLKERİM KAR
JÜRİ ÜYESİ : PROF. DR. İRFAN GÜNEY

[Handwritten signatures of Vatan Tuğal, Abdülkerim Kar, and İrfan Güney]

**ELEKTRİK EĞİTİMİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

İSTANBUL 1997

İÇİNDEKİLER

TABLolar	1
KISALTMALAR	2
ÖZET	3
ABSTRACT	6
GİRİŞ	9
1. BÖLÜM: TÜRKİYE’DE ELEKTRİK ENERJİSİNİN GENEL DURUMU	
1.1. Türkiye’de Elektrik Enerjisinin Dünü	12
1.2. 1980 Sonrası Elektrik Enerjisinin Genel Durumu	14
1.3. Enerji Talebinde Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Yeri	15
2. BÖLÜM: HİDROLİK ENERJİ	
2.1. Türkiye’de Hidrolik Enerji Potansiyeli	18
2.2. Hidrolik Enerjinin Gelişim Seyri	22
2.3. Küçük/Mini/Mikro Hidrolik Enerji	24
2.3.1. Küçük Hidroelektrik Santrallerinin Kurulması ve İşletilmesinde Dikkate Alınması Gereken Hususlar	25
3. BÖLÜM: JEOTERMAL ENERJİ	
3.1. Jeotermal Enerji	28
3.2. Jeotermal Enerjinin Tarihçesi	29
3.2.1. Türkiye’de Jeotermal Enerjinin Tarihçesi	29
3.3. Türkiye’nin Jeotermal Enerji Potansiyeli	30
3.4. Türkiye’de Jeotermal Enerjiden Elektrik Üretimi	32
3.4.1. Kızıldere Jeotermal Sahası ve Elektrik Üretiminde Karşılaşılan Problemler	35
3.4.2. Germencik Jeotermal Sahası	36
3.4.3. Kızıldere ve Germencik Jeotermal Sahasında Kalsit Çökmesi Sorunu	36
3.5. Jeotermal Enerjide Maliyet Değerlendirmesi	37
3.6. Jeotermal Enerjisi — Çevre İlişkisi	39
4. BÖLÜM: GÜNEŞ ENERJİSİ	
4.1. Güneş Enerjisi	41
4.2. Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli	41
4.3. Güneş Enerjisi Dönüşüm Teknikleri	43
4.3.1. Termodinamik Dönüşüm Tekniği ve Enerji Maliyeti	43
4.4. Güneş Enerjisi Kollektörleri	44
4.5. Türkiye’de Fotovoltaik Piller İle Yapılan Bazı Deney ve Uygulamalar	44
4.6. Güneş Enerjisinde Ülkemizde Öngörülen Yatırımlar ve Hedefler	45
4.7. Güneş Enerjisi Santrallerinin Konvansiyonel Enerji Santralleri İle Karşılaştırılması	46
5. BÖLÜM: RÜZGÂR ENERJİSİ	
5.1. Rüzgâr Enerjisi	48
5.2. Rüzgâr Enerjisinin Kısa Tarihçesi	49
5.3. Türkiye’de Rüzgâr Enerjisinin Tarihçesi	50
5.4. Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli	51

5.5.	Türkiye’de Rüzgâr Enerjisinin Pratik Kullanım Alanları	52
5.6.	Rüzgâr Enerjisi Dönüşüm Teknikleri	53
5.6.1.	Rüzgâr Türbinleri (WECS) Uygulamaları	54
5.7.	Rüzgâr Enerjisi ve Enerji Maliyeti	55
5.7.1.	Rüzgâr Türbin Sistemlerinde Maliyeti Etkileyen Faktörler	56
5.8.	Türkiye’de Rüzgâr Enerjisinden Elektrik Üretimi İçin Yapılan Çalışmalar ...	57
5.9.	Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi Planlaması ve Öngörülen Yatırımlar	59
5.10.	Rüzgâr Enerjisi — Çevre İlişkisi	59
6.	BÖLÜM: BİYOKÜTLE ENERJİSİ	
6.1.	Biyokütle Enerjisi	62
6.2.	Türkiye’nin Mevcut Biyokütle Potansiyeli	63
6.2.1.	Biyokütle Olarak Ayçiçek Küspesi	67
6.3.	Türkiye’de Biyokütle Enerjisinden Elektrik Üretimi İçin Yapılan Çalışmalar ..	68
6.4.	Enerji Bitkileri	69
6.4.1.	Biyokütle Enerjisi Maliyeti	71
6.4.2.	Enerji Bitkilerinden Üretilecek Elektrik Maliyeti Ne Kadardır?	72
6.5.	Biyokütle Enerjisi — Çevre İlişkisi	72
7.	BÖLÜM: BİYOGAZ ENERJİSİ	
7.1.	Biyogaz Enerjisi	74
7.2.	Çöp Depolama Alanlarında Oluşan Biyogaz	75
7.3.	Biyogazın (Çöplükte) Enerji Değeri	76
7.4.	Anaerobik Stabilizasyon Havuzlarında Metan Gazı Üretimi	77
7.5.	Biyogaz Enerjisi — Çevre İlişkisi	78
8.	BÖLÜM: DALGA ENERJİSİ	
8.1.	Dalga Enerjisi	80
8.2.	Türkiye’de Dalga Enerjisi Potansiyeli	80
8.3.	Deniz ve Okyanus Dalgaları	81
8.3.1.	Deprem Dalgaları	81
8.3.2.	Rüzgârların Oluşturduğu Dalgalar	81
8.3.3.	Rüzgarla Dalga Oluşumu	82
8.4.	Gelgit Dalgaları	82
8.5.	Deniz Akıntıları	82
8.6.	Dalga Enerjisinden Yararlanma İmkanları	83
9.	BÖLÜM: SONUÇ	
9.1.	Hidrolik Enerji	85
9.2.	Jeotermal Enerji	86
9.3.	Güneş Enerjisi	87
9.4.	Rüzgâr Enerjisi	88
9.5.	Biyokütle Enerjisi	89
9.6.	Biyogaz Enerjisi	91
9.7.	Dalga Enerjisi	91
9.8.	Konvansiyonel ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Teknik Olarak Karşılaştırılması	92
KAYNAKÇA		94
ÖZ GEÇMİŞ		102

TABLÖLAR

1. BÖLÜM

Tablo 1.1 :	Dünya Enerji Rezervleri (1991 Sonu)	15
Tablo 1.2 :	Dünya Ticarî Enerji Arzı	15

2. BÖLÜM

Tablo 2.1 :	Türkiye’de Hidrolik Potansiyelin Santral Gücüne Göre Tasnifi	19
Tablo 2.2 :	Türkiye’de Hidroelektrik Potansiyeli	19
Tablo 2.3 :	Türkiye Hidrolik Potansiyelinin Hazvalara Göre Dağılımı (1993 Yılı)	20
Tablo 2.4 :	Hizmete Giren ve Girecek Olan Hidrolik Santral Projeleri (1997 Yılına Kadar)	21
Tablo 2.5 :	Hidrolik Santraller Kurulu Güç ve Üretim Gelişimi	21
Tablo 2.6 :	Hidrolik Enerji Potansiyelinin Değerlendirme Durumu (1993 Yılı) ...	24
Tablo 2.7 :	Türkiye’de Su Enerjisi Havzası	25

3. BÖLÜM

Tablo 3.1 :	Jeotermal Enerjinin Bölgesel Dağılımı	30
Tablo 3.2 :	Önemli Jeotermal Sahalar ve Bazı Karakteristikleri	31
Tablo 3.3 :	Jeotermal Enerji Üretimi	33
Tablo 3.4 :	Jeotermal Enerjinin Toplam Enerji İçindeki Payı	34
Tablo 3.5 :	Jeotermal Enerji Üretim Artışı (%)	34
Tablo 3.6 :	Jeotermal Enerjinin Toplam Enerji Tüketimi İçindeki Payı (%)	35
Tablo 3.7 :	Jeotermal Enerjide Maliyet Değerlendirmesi	37

4. BÖLÜM

Tablo 4.1 :	Türkiye’nin Aylık Güneş Enerjisi Potansiyeli	42
Tablo 4.2 :	Güneş Enerjisi Alan Bölgelerin Dağılımı	42

5. BÖLÜM

Tablo 5.1 :	Rüzgâr Potansiyeli Yüksek Bölgeler	51
Tablo 5.2 :	Rüzgâr Potansiyeli Zengin Yöreler	52
Tablo 5.3 :	Elektrik Üretiminin Maliyet Karşılaştırması (Cent/kWh)	55
Tablo 5.4 :	Gökçeada Rüzgâr Ölçüm Verileri	57

6. BÖLÜM

Tablo 6.1 :	Geçmiş Yıllarda Tezek-Bitki Artıkları Üretim ve Tüketimi (Bin Ton)	64
Tablo 6.2 :	Yakacak Odun Üretim ve Tüketimi (Bin Ton)	65
Tablo 6.3 :	Ülkemizde Odun Üretimi (Bin Ton)	66
Tablo 6.4 :	Tezek ve Bitki Artıkları Üretimi (Bin Ton)	66
Tablo 6.5 :	Sanayide Kullanılan Yakıt Fiyatlarının Tatlı Sorghum İle Karşılaştırılması	71

7. BÖLÜM

Tablo 7.1 :	Nm ³ /kg Organik Kuru Madde ile İçindeki Metan Oranına Bağlı Olarak Beklenebilecek Isıl Değeri	76
Tablo 7.2 :	Organik Kuru Madde Başına Biyogaz Miktarı	76
Tablo 7.3 :	Yılda 10 ⁶ t/a Çöp Oluşan Bir Kentte Beklenen Enerji Miktarı	76
Tablo 7.4 :	Çeşitli Kaynakların Enerji Maliyet Karşılaştırması	77

9. BÖLÜM

Tablo 9.1 :	Rüzgâr Makineleri Birim Fiyatları (\$)	89
-------------	--	----

KISALTMALAR

DSİ	:	Devlet Su İşleri
EİEİ (EİE)	:	Elektrik İşleri Etüd İdaresi
TEK	:	Türkiye Elektrik Kurumu
TEDAŞ	:	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TEAŞ	:	Türkiye Elektrik Üretim-İletim Anonim Şirketi
ÇEŞAŞ	:	Çukurova Elektrik Sanayi Anonim Şirketi
MTA	:	Maden Tetkik Arama
DMİ	:	Devlet Meteorolji İşleri
KİT	:	Kamu İktisadi Teşekkülü
ODTÜ	:	Ortadoğu Teknik Üniversitesi
İTÜ	:	İstanbul Teknik Üniversitesi
YTÜ	:	Yıldız Teknik Üniversitesi
TÜBİTAK	:	Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırmalar Kurumu
MAM	:	Marmara Araştırma Merkezi
TÜSİAD	:	Türkiye Sanayici ve İş Adamları Derneği
MÜSİAD	:	Müstakil Sanayici ve İş Adamları Derneği
OECD	:	İktisadi Kalkınma İş Birliği Teşkilatı
Agm	:	Adı geçen makale
Age	:	Adı geçen eser
Agr	:	Adı geçen rapor
Yagm	:	Yukarıda adı geçen makale
Yage	:	Yukarıda adı geçen eser
Yagr	:	Yukarıda adı geçen rapor
Blkz	:	Bakınız

BİRİMLER

kcal	:	Kilo kalori
kg	:	Kilogram
kV	:	Kilo volt (Bin Volt)
kWh	:	Kilo (Bin) watt saat
kW	:	Kilo watt
j	:	joule
TEP	:	Ton Eşdeğer Petrol



ÖZET

Bu çalışmada Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının dünyü, bugünü elektrik enerjisi üretimine ve genel anlamda enerji üretimine katkıları incelenmiş ve araştırılmıştır. Enerji üretimine sundukları katkı büyüklüğüne göre hidrolik , jeotermal, güneş, rüzgâr, biyokütle, biyogaz ve dalga enerjisi sıralamasıyla konular ele alınmıştır.

Hidrolik Enerji: Ülkemizde elektrik üretiminde önemli bir yeri olan hidrolik enerji yaygın olarak kullanımdadır. Türkiye’nin hidrolik enerji brüt potansiyeli 432.986 GWh olarak hesaplanmaktadır. Bu potansiyelin 216.000 GWh’i teknik potansiyel, 124.568 GWh’i ise ekonomik potansiyeldir. Bu potansiyelin 80.039 GWh’i güvenilir enerji olarak, elektrik enerjisi talebini karşılayabilir. 1997 yılı itibariyle mevcut hidrolik kurulu güç 9.685 MW olup inşaatı devam eden santraller bu yıl devreye alınırsa kurulu güç 11.486 MW’a ulaşacaktır. Yıllık hidrolik enerji üretimi kapasitesi, 1997 yılı için 35.477 GWh’tir. İnşaatı devam eden santrallerle beraber üretim kapasitesinin 1997 yılı için 40.872 GWh olması ön görülmektedir. Hidrolik enerjinin toplam kurulu güçteki payı % 45’dir. Türkiye’nin hidrolik güç potansiyelinin yaklaşık % 33’ü kullanılmaktadır. 2010 yılına kadar bu potansiyelin % 58’inin kullanılması planlanmaktadır.

Jeotermal Enerji: Türkiye’de elektrik enerjisi üretiminde, jeotermal enerji, yenilebilir enerji kaynağı olarak ikinci sırayı almaktadır. Ülkemizde MTA’nın verilerine göre 600’den fazla sıcak su kaynağı mevcuttur. Bu potansiyelin 4.500 MW’ı elektrik üretiminde, 31.100 MW’ı ise ısıtma amaçlı kullanılabilecek tahmini kapasitedir. MTA tarafından yürütülen çalışmalarda; 1968 yılında Kızıldere-Denizli ve 1972 yılında da Germencik-Aydın gibi yüksek entalpili jeotermal sahalar bulunmuştur. Jeotermal enerjiden elektrik üretimi için Kızıldere jeotermal sahasında 1974 yılında 0,5 MW gücünde bir deneme jeneratörü kurulmuştur. 1984 yılında TEK(TEAŞ) tarafından devreye alınan 20,4 MW gücündeki santral, Türkiye’de kurulan ilk jeotermal enerji santralidir. Kızıldere Jeotermal sahasında, elektrik enerjisi üretiminde karşılaşılan kalsit çökmesi ve rezervuar basıncının düşmesi nedeni ile mevcut santral 7-8 MW kapasitede çalışmaktadır. Germencik jeotermal sahasında ısı rezervlerinin de dikkate alınması ile sahanın elektrik enerjisi eşdeğer gücünün 30-60 MW olabileceği hesaplanmıştır. Türkiye’de jeotermal enerjinin toplam elektrik üretimindeki payı % 0,1’dir.

Güneş Enerjisi: Güneş enerjisi, ülkemizde elektrik enerjisi üretimi için henüz kullanılmamaktadır. Coğrafi olarak 36-42° kuzey enlemleri arasında bulunan ülkemiz güneş kuşağı içindedir. Güneş kuşağının bu kısmı, güneş ışınımının alt ve üst sınırdaki seyrettiği bir bölgedir. Meteorolojik verilere göre Türkiye’nin yıllık güneşlenme süresi ortalama 2.500 saat olarak hesaplanmıştır. Türkiye’nin bir yılda aldığı güneş enerjisi 80 Milyar TEP kadardır. Bu enerji 111,5 TW karşılıktır. Bu değerin % 2,5’ine eşit olan 87,9 Ej/yıl kadarı, Türkiye için brüt güneş enerjisi potansiyeli olarak hesaplanmaktadır. Gelişmiş teknolojik imkanlarla uzun dönemde kullanılabilecek teknik potansiyel 1 Ej/yıl düzeyinde olup 1995’deki genel enerji tüketiminin % 35’ine eşittir. Güneş ışınım ölçümleri sonucunda Türkiye’de yılda metrekare başına 1.500 kWh’lik elektrik enerjisinin üretilebileceği hesaplanmıştır. Güneş enerjisi ülkemizde genellikle evsel amaçlı su ısıtmada kullanılmaktadır. 1994 yılı verileriyle 15 milyon m² düzlemsel güneş kolektörü kullanıldığı ve güneş enerjisi üretiminin 40.000 TEP olduğu tahmin edilmektedir. Deney amaçlı olarak EİEİ’de 1983 yılında başlatılan güneş enerjisi projesinde bir evin ihtiyacını karşılayacak küçük ölçekli 1,6 kW gücünde güneş pili

sistemi denenmiştir. Küçük güçteki ihtiyaçlarda, elektrik şebekesinden uzak yerlerde güneş pillerinin ekonomik olduğu görülmüştür. 1995 yılında güneş pilleri ile 2,5 GWh'lik elektrik üretimi planlanmıştır. Bu amaçla 2,7 MW gücünde güneş pili sistemlerinin kurulması ön görülmüştür. Takip edebildiğimiz kadarıyla bu yatırım henüz gerçekleşmemiştir.

Rüzgâr Enerjisi: Türkiye'de 1960-1961 yıllarında Tarım Bakanlığı tarafından yapılan araştırmada 41 adet elektrik üretiminde kullanılan rüzgâr makinesi tesbit edilmiştir. 1970'li yıllardaki petrol krizinden sonra yapılan araştırmalarda (1978-1979) kullanılıp kullanılmadığına bakılmaksızın 23 adet elektrik üretim amaçlı rüzgâr türbini tespit edilmiştir. Söz konusu rüzgâr makinelerinin güçleri 1 kW'ın altında olup yerli olanları ilkel yapıydı. Türkiye'nin brüt rüzgâr enerjisi potansiyeli 400 milyar kWh teknik potansiyelinin ise 120 milyar kWh olduğu hesaplanmıştır. Elektrik üretim amaçlı güvenilir ve kullanılabilir potansiyel 12,4 milyar kWh/yıl düzeyindedir. Yıllık ortalama rüzgâr hızı ve güç yoğunluğu açısından en yüksek değer; 3,29 m/sn ve 51,91 W/m² ile Marmara Bölgesi'nde saptanmıştır.

Biyokütle Enerjisi: Biyokütle kaynaklar olarak odun, hayvan ve bitki artıkları sayılabilir. 1993 yılı itibarıyla Türkiye'nin tezek-bitki artıkları üretim ve tüketimi toplam 10.842 bin ton'dur. Yakacak odun üretim ve tüketimi; resmî üretim ve kaçak üretim dahil toplam 18.173 bin ton'dur. Türkiye'de biyokütle enerji kaynakları ısıtma amaçlı olarak konut sektöründe tüketilmektedir. Biyokütle olarak adlandırılan enerji kaynakları, ülkemizde, elektrik üretim amaçlı olarak kullanılmamaktadır. Enerji bitkisi (CH₄) olarak adlandırılan Tatlı Sorghum'un Türkiye'de üretilmesi ve elektrik enerjisi üretiminde kullanılması yönünde araştırmalar yapılmıştır: Tatlı Sorghum'un Türkiye koşullarında üretilebileceği görülmüştür.

Biyogaz Enerjisi: Biyogaz enerjisi, evsel ve endüstriyel atıkların bünyesinde barındırdığı gazların ayrıştırılarak, enerji değeri yüksek olan gazlardan elde edilen enerjidir. Ülkemizde 1980'li yıllarda alternatif enerji kaynakları arayışları içinde gündeme gelen biyogaz, bazı bölgelerde tezekten elde edilerek evsel amaçlı kullanılmıştır. Genel enerji istatistiklerinde bir veri olarak yer almamaktadır. 1993 yılında İstanbul Ümraniye'de patlayan çöp depolama alanı, yetkilileri bu konu üzerine eğilmeye itmiştir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi 1997 yılı yatırım programında; "Kartal-Yakacık Vahşi Çöp Depolama Alanı Islah Projesi" çerçevesinde gaz depolama ve yakma tesisi yapımına başlamıştır. Proje kapsamında günde 1.000 m³ deponi gazı yakabilecek 5.000 kW gücünde biyogaz enerji santrali inşa edilecektir.

Dalga Enerjisi: Son olarak ele aldığımız yenilenebilir enerji kaynağı dalga enerjisi: Denizlerdeki dalgaların taşıdığı potansiyel enerjidir. Çeşitli düzenek ve sistemler ile okyanuslara kıyısı olan ülkelerde elektrik enerjisi üretimi yapılmaktadır. Türkiye üç tarafı denizlerle çevrili bir ülkedir. 6.831 km'lik kıyı şeridinden 2.600 km'sinin dalga enerjisinden faydalanmada kullanılabileceği belirtilmektedir. Ülkemizin 245 milyar kWh'lik bir dalga enerjisi potansiyeli mevcuttur. Türkiye'de elektrik enerjisi üretim amaçlı dalga enerjisi çevrim sistemi mevcut değildir. Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Genel Enerji İhtisas Komisyonu Raporu'nda dalga enerjisinden yararlanmada kullanılacak konvertörlerin fizibilite çalışmalarının yapılması istenmiştir.



ABSTRACT

This study covers the analysis of renewable energy resources in Turkey, their past and present conditions, their contribution in particular to electrical energy production and in general to overall energy production. The topics are presented in an order of decreasing 'contribution to energy production' criterium under the headings: hydraulic, geothermal, solar, wind, biomass, biogas and wave energy.

Hydraulic Energy: In Turkey hydraulic energy, which has a significant role in electricity production is in a widespread use. Turkish hydraulic energy gross potential is estimated to be 432 986 GWh. Of this potential 216 000 GWh is technical and 124 568 GWh is economical potential. 80 039 GWh of this potential can meet as a reliable energy, the demand for electrical energy. With respect to 1997, the present established hydraulic power is 9685 MW and in the case that the currently being built power stations are brought into service this year, the established power will reach 11 486 MW. For the year 1997 is anticipated to be 40 872 GWh. The share of hydraulic energy in the overall established power is % 45. Turkey's approximately % 33 of hydraulic power potential is in use. It has planned to bring % 58 of this potential in use by the year 2010.

Geothermal Energy: In the electrical energy production of Turkey, geothermal energy, as a renewable energy resource, ranks as the second highest contributor. According to MTA (Mineral Investigation & Research) reports there are more than 600 thermal sources in Turkey. 4500 MW of this potential is in an approximate capacity to be used for electricity production purposes and 31 100 MW for heating purposes. MTA researches have led to the discovery of high enthalpy geothermal areas such as the discovery of Kızıldere-Denizli area in 1968 and that of Germencik-Aydın in 1972. A 0.5 MW capacity test-generator had been established in Kızıldere geothermal area in 1974 for the purpose of producing electricity from geothermal energy. The 20,4 MW power station brought into activity by TEK (TEAŞ: Turkish Electric Production & Transmission Company) in 1984 is running with a capacity of 7-8 MW due to calcite precipitation and reservoirs pressure decline, confronted in the process of electrical energy production. Taken the thermal reservoirs into consideration, the equivalent electrical energy capacity of Germencik geothermal area is estimated to be 30-60 MW. In Turkey, geothermal energy has a share of % 0,1 in the overall energy production.

Solar Energy: In Turkey, solar energy has not been yet used in the production of electrical energy. Turkey is, geographically, located in 36-42° north latitude, being in the solar zone. This section of the solar zone is a region where solar radiation occurs in its lower and higher limits. According to meteorologic reports, the mean annual solar radiation period of Turkey is computed to be 2500 hours. The annual received solar energy of Turkey is about 80 billions TEP (Ton Equivalent Oil). This energy is equivalent to 111,5 TW; % 2,5 of this energy, corresponding to 87,9 EJ per annual, is estimated to be the gross solar energy potential of Turkey. The technical potential that may be used in the long run by the aid of advanced technology is at the level of 1 EJ/year which is equivalent to % 35 of overall energy consumption in 1995. As a result of sun ray measurements, it has been found out that may be produced 1500 kWh electrical energy per meter square annually in Turkey. Solar energy in Turkey is generally used for water-heating purposes of houses. With 1994 data, it is estimated that 15 billion m² planar solar collector had been used and that the production of solar energy had been 40 000 TEP (Ton Equivalent Oil). In the 1983 solar energy project, initiated for experimental purpose in EİEİ (Electrical Tasks Survey Administration), a small scale 1,6 kW capacity solar battery system, sufficient to meet the needs of a house, has been

tested. It has been realized that, for low capacity needs, distant places from electric network, the solar batteries are economical. In 1995 it had been planned to produce 2,5 GWh electricity through from solar batteries. For this purpose the establishment of 2,7 MW capacity solar battery systems had been suggested. As for as we could follow this investment has not yet been realized.

Wind Energy: There has been detected 41 wind machines in Turkey used for electricity production, in a research conducted by Agriculture Ministry during 1960-1961. In the investigations realized during 1978-1979, after the oil crisis of 1970's, there had been detected, regardless of whether they were used or not, 23 wind turbines of electricity production purpose. These wind machines had powers under 1 kW and the home-produced ones were of primitive configuration. Turkey's gross wind energy potential and technical potential have been estimated to be 400 billion kWh and 120 billion kWh, respectively. The reliable and the utilizable potential for electricity production purposes is at the level of 12,4 billion kWh/year. With respect to annual average wind speed and power intensity, the highest values are detected in Marmara region to be 3,29 m/s and 51,91 W/m², respectively.

Biomass Energy: In this category are wood, animal and plant wastes. Turkey's total dried dung and plant wastes production and consumption were 10 842 thousand tons. Wood production and consumption (for heating purposes) including both official and unofficial cuts are 18 173 thousand tons. In Turkey biomass energy resources are consumed for heating purposes in housing sector and are not utilized for electricity production purposes. There are researches made to produce Sweet-Sorghum, known as energy plant in Turkey and to utilize in electrical energy production: Sweet-Sorghum has been observed to be capable of growing under geographical circumstances of Turkey.

Biogas Energy: It is the energy derived from high energy gases that are decomposed of house and industrial wastes. Biogas which appeared in the agenda of 1980's during the searches for alternative energy resources, has been used in some regions inside-house purposes being derived from dried dung. This doesn't take part as a datum in general energy statistic. The explosion in Istanbul; Ümraniye garbage storage area in 1993 has caused the authorities to reflect upon this issue. Istanbul Metropolis Municipality as a clause of 1997 investment programme, has initiated the construction of a gas storage and burning plant under "The Project of Reformation In Garbage Storage Area at Kartal -Yakacık". In the scope of the project a 5000 kW capacity biogas energy station, capable of burning daily 1000 m³ stored gas.

Wave Energy: This renewable energy resource, that will lastly be deal with is the potential energy carried by the sea waves. Via various mechanism and systems in the states having coasts to ocean, electrical energy is being produced from waves. Turkey is a country surrounded by seas in its three side. Of its 6831 km coast band, 2600 km is reported to be available for utilizing wave energy. Turkey has a wave energy potential of 245 billion kWh. In Turkey there does not exist the required transformation system designed to produce electrical energy from wave energy. In the Seventh Five -Years Development Plan General Energy Specialization Commission Report, it has been asked for to make the feasibility studies of convertors that will be used in the process of utilizing wave energy.



GİRİŞ

Modern Çağ'ın vazgeçilmez bir unsuru olarak hayatımızda önemli bir yer tutan enerji; üretim işlemlerinde kullanılması zorunlu bir girdi olup toplumların refah düzeylerinin belirlenmesinde temel ölçülerden biridir.

Fosil kaynaklardan üretilen ve yaygın kullanımı olan enerjinin hızla gelişen ve büyüyen dünyada mevcut potansiyel ile belli bir ömrü olduğu ve bir gün tükeneceği açıkça görülmektedir. Geleneksel enerji kaynaklarının sınırlı oluşu ve geçen süreç içinde tükenme eğilimine girmesi ile beraber dünyamızın yaşadığı ekolojik sıkıntılar yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini arttırmıştır.

1970 öncesi dünyada petrole dayalı yaygın enerji kullanımı görülüyor. 1973-1974 yılları arasında yaşanan petrol krizi, petrole bağımlı enerji üretiminde ülkemizi de sıkıntıya sokmuştur. Başta elektrik enerjisi olmak üzere ülke ekonomisinde enerji sektörü darboğaz yaşamıştır. Alternatif enerji kaynakları yaşanan petrol krizi ile yoğun bir şekilde dünya gündemine girmiş ve bu yönde yapılan araştırmalar sonucu yenilenebilir enerji kaynakları yeniden önem kazanmıştır.

1980'li yıllarda enerji yatırımlarında planlı bir döneme girilmiştir. Özel sektöre bu sahada üretime katılma açısından imkanlar oluşturulmuştur. Alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyel tespit çalışmaları yapılarak ekonomik olarak verimli düzeyde kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Ülkemiz enerji kaynakları yönünden konunun önemi ortadadır. Özellikle son yıllarda gündeme gelen enerji sıkıntısı, özelde elektrik enerjisine olan ihtiyacı giderek artırmaktadır. Bir dönem elektrik enerjisi ihraç eden ülkemiz, tekrar elektrik enerjisi ithalatına yönelmiştir. Yaşadığımız süreçte, yenilenebilir enerji kaynaklarının, elektrik enerjisi üretimine sundukları ve sunabilecekleri katkıları incelemek ve araştırmak, mevcut durum açısından konuya ilgimizi çekmiştir.

Bu yönde çalışma yapmam konusunda beni yönlendiren ve elinden gelen yardımı esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Vatan TUĞAL'a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca tezin teknik olarak hazırlanmasında emeği geçen Sayın Hüseyin GÜL'e de teşekkür ederim.



**BİRİNCİ BÖLÜM:
TÜRKİYE'DE ELEKTRİK ENERJİSİNİN
GENEL DURUMU**

1. 1. Ülkemizde Elektrik Enerjisinin Dünü

19. yüzyılın sonlarından pratik hayatımıza giren elektrik enerjisi 20. yüzyılda vazgeçilmez bir hayat faktörü olmuştur. Yurdumuzda ilk kez 1902 yılında Tarsus'ta bir hidroelektrik santrali kurulmuştur. 1914 yılında İstanbul, 1923 yılında Adapazarı elektrike kavuşmuştur. Cumhuriyet döneminde Tarsus, İstanbul ve Adapazarı elektrikli kent olmuştur. Bu kentlerimizde yapılan elektrifikasyon yabancı sermayelidir.

1923 yılında yapılan İzmir İktisat Kongresi enerji konusunda da ülkemiz açısından nüve teşkil eder. 1925 yılında Ankara elektriğe kavuşmuştur. 1930 yılında Devletçi bir politika ile özel sektörün yetemediği alanlarda devletçe desteklenmesi kararı alınmıştır. 1933 yılında "Elektrifikasyon Meselesi ve Enerji Teşkilatı" raporu hazırlanmıştır. MTA, EİE, Etibank, Sümerbank, DSI, gibi kurumların nüvesini oluşturan Nafia Vekaleti bu dönemde kurulmuştur. Ekonomik kalkınmada bu kuruluşlar önemli bir görev üstlenmişlerdir.

1930'larda başlayan sanayii atılımı II. Dünya Savaşı'nın etkisi ile yavaşlamıştır. 1940 yılında MTA tarafından Siirt-Raman'da petrol yatağı bulunmuştur. 1950 yılında Ereğli'de işletilen taşkömürü ocakları 1940 yılında devletleştirilmiştir. 1948 yılında ilk kez taşkömürü ile çalışan Çatalağzı termik santrali devreye girmiştir. 66 kV'luk Çatalağzı-Ereğli, 154 kV'luk Ereğli-İstanbul enerji nakil hattı Enterkonnekte sistemimizin nüvesini teşkil etmiştir. Bu dönemde elektrifikasyon işleri, Etibank ve EİE'nin yanı sıra 1933'te kurulan Belediyeler Bankası tarafından yürütülmüştür.

İkinci Dünya Savaşı sonrasında, 1954 yılında Harp Sonrası Kalkınma Programı hazırlanmasına girilmiştir. Dünya Bankası'nın bu dönemde Türkiye'de küçük baraj ve hidroelektrik santralleri kurulmasına yönelik önerileri olmuştur. 1933 yılında 152 GWh olan elektrik üretimi 1950 yılında 760 GWh düzeyinde olmuştur. Üretilen bu enerjinin %23'ü halkın kullanımına açık olabilmıştır. 1950'li yılların başlarında Enerji sektöründe büyük projeler hazırlanarak uygulamaya geçirilmiştir. Yerli kaynaklara dayalı hidrolik ve termik santraller tesis edip bunları enterkonnekte şebekeye bağlayarak güvenilir bir enerji iletim sistemi geliştirilmesi öngörülmüştür. Aynı dönemde imtiyazlı elektrik işletmeciliğine geçilmiştir. ÇESAŞ ve KEPEZ elektrik şirketleri günümüze kadar çalışan şirketler olup Kuzey Batı Anadolu ile Ege Elektrik Şirketi başarılı olamamıştır.

1953 yılında DSİ kurularak termik santrallerin yanında hidroelektrik santrallere yönelinmiştir. 1955 yılında 573.1 MW olan termik kurulu güç 1962 yılında 901.2 MW'a ulaşırken aynı yıllarda 38.1 MW olan hidrolik kurulu güç 469.6 MW'a ulaşmıştır. 1962 yılı itibariyle toplam elektrik üretimi 3560 GWh olup bunda hidroelektrik üretiminin payı %55 dir. Ülke nüfusunun %31.6'sı elektrik enerjisinden yararlanır hale gelmiştir.

1961 Anayasası'nın yürürlüğe girmesiyle kalkınmanın planlı bir şekilde yürütülmesi amacıyla 1962'de Devlet Planlama Teşkilatı kurularak ilk beş yıllık kalkınma planı 1963 yılından itibaren uygulanmaya başlanmıştır. Enerji sektöründe devlet denetiminin ve planlanmasının yürütülmesi amacı ile Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 1963 yılında kurularak dağınık olarak örgütlenen enerji faaliyetleri Ulusal Enerji Politikası amacıyla bakanlık çatısı altına alınmıştır. 1970 yılında Türkiye Elektrik Kurumu bu bakanlığa bağlı bir KİT olarak kurulmuştur.

Bu dönemde Mega Projeler geliştirilmiştir. Fakat çeşitli nedenlerle elektrik santralleri gecikmelerle bitirilmiş, elektrik kesintileri yapılmıştır.

1970 yılında 1509.5 MW olan termik kurulu güç 1980'de 2987.9 MW'a çıkarken hidrolik kurulu güç 725.4 MW'dan 2130.8 MW'a çıkmıştır. 1980'de nüfusun %79.7'si elektrik enerjisinden yararlanır hale gelmiştir.

1973-1977 petrol bunalımları enerji sektörünü ve ekonomiyi açmaza sokması konvansiyonel kaynakların dışında enerji ihtiyacının karşılanması çabalarına hız vermiştir. Alternatif enerji politikaları gündeme alınmış 1979 yılında TEK bünyesinde başlatılan çalışmalarla 600 MW'lık ilk nükleer santralin kurulması 1983-1984 döneminde işletmeye girmesi planlanmıştır. Mersin-Silifke-Akkuyu kuruluş yeri olarak seçilmiş ancak ihale yapılamamıştır.

1973-1976 döneminde Keban Hidroelektrik santrali devreye girmiş, Enerji üretimine %12.8'lik bir katkı sağlamıştır.

1. 2. 1980 Sonrası Elektrik Enerjisinin Genel Durumu

Petrole dayalı enerji programından daha geniş kapsamlı alternatif enerji politikalarına önem verilerek bu alanda yaygın araştırmaların ve projelerin geliştirilmesine imkanlar sağlanmıştır. TEK* enerji konusunda tek yetkili kuruluş olmaktan çıkartılarak Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 1983-1985 yılları arasında yasal düzenlemelerle yeniden örgütlenmiştir.

Yabancı sermayeli kuruluşlara enerji üretimi konusunda Yap-İşlet-Devret modeli çerçevesinde 2149.5 MW'lık ve yılda 7.5 TWh üretim yapabilecek hidroelektrik santraller için sözleşmeler imzalanmıştır. Bu dönemde vizyon olarak ithal edilebilecek en ucuz şeyin enerji olduğu görüşü savunulmuştur.

1992 yılında Türkiye'nin hidroelektrik enerji üretimi 26.6 TWh olmuştur. Asfaltit, doğalgaz, jeotermal enerji, güneş enerjisi, biyokütle enerji ile birlikte birincil enerji üretimi 1192.2 PJ'dur.

Birincil kaynaklara dayalı enerji tüketimi 2508.7 PJ olup tüketimin %53 kadarı ithal edilerek karşılanmıştır. Brüt enerji ithali 1381.4 PJ olup bunun %72.3'ünü petrol %13.1'ini taşkömürü, %12.9'u doğalgaz, %1.7'sinde elektrik, petrokok ve linyit oluşturmıştır.

1992 yılında toplam elektriksel kurulu güç 8378.7 MW'dır. 16797.9 MW'ı Türkiye Elektrik Kurumu'nun elinde bulunmaktadır. Hidrolik kurulu güç düzeyi 8378.7 MW'dır. Brüt elektrik üretimi ise 67.7 TWh olmuştur. 1992'de nüfusun %99.9'u elektrikten yararlanır duruma gelmiştir. Jeotermal enerji üretimi 1993 yılı itibariyle 80 GWh olmuştur.

1993 yılında 32.8 MW olan kurulu güç 1993'te 20120 MW kurulu güce, 44 GWh olan tüketim ise 73 280 GWh'te yükselmiştir. 1993'te kişi başına brüt 3.3 kWh enerji düşerken bu değer 1993'te 1227 kWh'te ulaşmıştır.

1995 yılında termik-hidrolik kurulu güç toplamı 21 137 MW olmuştur. Arz edilen yıllık enerji miktarı 84 251 GWh'e ulaşmıştır. Kişi başına net tüketim ise 1051 kWh'tir.

* Türkiye Elektrik Kurumu: 15 Eylül 1993 tarihli 21699 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan 93/4789 sayılı Bakanlar Kurulu kararı ile Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. (TEDAŞ) ve Türkiye Elektrik Üretim A.Ş. (TEAŞ) olarak ikiye ayrılmıştır.

1. 3. Enerji Talebinde Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Yeri

Dünya fosil enerji kaynakları toplam rezerv yaklaşık olarak 900 milyar ton petrol eşdeğeri civarındadır. Bu değerin %75'ini kömürler oluşturmaktadır. Ülkemizdeki enerji rezervleri dünya değerleri içinde ihmal edilebilir düzeydedir.

Dünya ticari enerji arzına en büyük katkısı %39 pay ile petrol yapmaktadır. Kömür %29, doğalgaz %22, nükleer enerji %7 ve hidrolik enerji %3 oranında paylara sahiptirler.

Eldeki mevcut rezervlerin bu düzeyde üretim ve tüketimi sürerse petrol kaynaklarının 40, doğalgaz kaynaklarının 60, kömür kaynaklarının 240 yıl daha kullanıma arz edilebileceği tahmin edilmektedir. Yeni rezervlerin bulunmaması halinde kısa sürede bu kaynakların tükeneceği görülmektedir.

Tablo 1.1 Dünya Enerji Rezervleri (1991 Sonu)

	KÖMÜR (MİLYAR TON)	PETROL (MİLYAR TON)	DOĞALGAZ (MİLYAR TON)
Kuzey Amerika	249	5.3	7.5
Güney Amerika	12	16.9	6.8
OECD Avrupa	99	1.9	5.1
OECD Dışı Avrupa	315	8.0	50.0
Orta Doğu	0	89.4	37.4
Afrika	62	8.0	8.8
Asya ve Avustralya	304	5.9	8.4
Toplam	1041	135.4	124.0

Kaynak: TÜSİAD Enerji Raporu, 1994, s. 76.

Tablo 1.2 Dünya Ticarî Enerji Arzı (Milyon TEP)

	1975	1980	1985	1989	1991
Kömür	1612	1898	2166	2357	2310
Petrol	2652	2989	2812	3093	3130
Doğalgaz	999	1230	1419	1652	1717
Nükleer	100	186	389	506	560
Hidrolik	134	165	195	207	216
Toplam	5497	6468	6981	7815	7933

Kaynak: TÜSİAD Enerji Raporu, 1994, s. 76.

Önümüzdeki yirmi yıllık dönemde dünya nüfusunun %1.5 oranında artması beklenmektedir. Bu hızın OECD ülkelerinde %0.8, gelişmekte olan ülkelerde %2.2 düzeyinde gerçekleşeceği tahmin edilmektedir. Bu dönemde dünyada yıllık ortalama %3 oranında bir ekonomik büyüme sağlanacağı hesaplanmaktadır.

Bu beklentiler çerçevesinde öngörülen enerji talep projeksiyonları; dünya birincil enerji talebinin 2010 yılına kadar yılda ortalama %2 oranında bir hızla artacağını göstermektedir.

Kaynak bazında en hızlı üretim artışı yenilenebilir enerji kaynaklarında beklenmektedir. Jeotermal, güneş ve rüzgar gibi kaynaklardan sağlanan enerji yılda ortalama % 7.5 gibi bir hızla artacaktır. Diğer bir yenilenebilir kaynak olan hidrolik enerji üretimi de %2.9 oranında büyüyecektir. Gelişmekte olan ülkelerin hidrolik kaynaklarını değerlendirmesi beklenmektedir.

Fosil yakıtlar içinde talebi en hızlı artan kaynak yıllık %2.5 ile doğalgaz olacaktır. Diğer kaynaklara olan talep ortalama değerin altında kalacağı beklenmektedir.

Dünya elektrik talebinin yılda %2.8 oranında bir hızla gelişeceği tahmin edilmektedir. Bugün 11800 milyar kWh düzeyinde olan dünya elektrik arzı 2000 yılında 15300 milyar kWh düzeyine ulaşacağı tahmin edilmektedir. Kişi başına 2360 kWh düzeyinde bulunan elektrik tüketimi 2000 yılında 2610 kWh'e yükselecektir.

Dünya enerji arzı, önümüzdeki dönemde kullanımı daha temiz, verimli ve ekolojik açısından daha az sorunlu olan doğalgaz ve yenilenebilir enerji kaynaklarından azami düzeyde yararlanmayı gerektirmektedir.

Bu perspektifle verimli bir enerji üretimi ve tüketimi önem kazanmaktadır. Dünya kaynaklarının sınırlı oluşu alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarının acilen devreye sokulmasını gerektiriyor. Yapılan projeksiyonlarda ,global düzeyde yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji problemini tamamen çözebilmesi mümkün görünmemektedir. Dünyada kullanılan enerji kaynaklarında söz konusu kaynaklar çok büyük bir paya sahiptir. Ülkemizde yaygın kullanımı olan yenilenebilir enerji kaynağı olarak birinci sırayı hidrolik güç almaktadır. Bunu jeotermal güç takip etmektedir. Güneş enerjisi şu an itibariyle ancak düşük düzeyde ısıtma ve kurutmada kullanılmaktadır. Rüzgar enerjisi konusunda ise rüzgar yoğunluğu hesaplanan belli bölgelerde devreye alınacak rüzgar türbinleri sayesinde lokal elektrik üretimi yapılması öngörülmektedir.

Biyokütle ve biyogazın elektrik enerji üretiminde kullanılması şu an olarak ekonomik değildir. Yine Dalga gücünden elektrik elde edilmesi teorik olarak ele alınmaktadır.



İKİNCİ BÖLÜM: HİDROLİK ENERJİ

2. 1. Türkiye’de Hidrolik Enerji Potansiyeli

Türkiye’de ilk hidroelektrik santrali 1902 yılında Tarsus’ta kuruldu.¹ 1920’li yıllarda çeşitli barajlar yapılmaya başladı. 1930’lu yıllarda elektrik üretimi yılda 7 GWh’ti. 1955-1960 yılları arasında hidrolik santrallerin yapımı hızla arttı. 1960 yılında Hirfanlı (kurulu güç 96 MW’dır) ve Demirkopru (kurulu güç 69 MW’dır) Hidrolik Santralleri hizmete girmiştir. 1951 yılında Sarıyar (kurulu gücü 160 MW’dır) Hidrolik Santrali inşa edilmeye başlanmış, 1966 yılında tam kapasite devreye verilmiştir.² Keban Hidrolik Santrali Fırat Nehri üzerinde inşa edilerek 1975 yılında kurulu gücü 630 MW olarak tam kapasite ile devreye girmiştir.

Ülkemiz geniş su kaynaklarına sahiptir. Bu kaynaklar verimli bir şekilde enerji üretiminde kullanılmaya çalışılmaktadır. Bu konuda Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİE), Devlet Su İşleri (DSİ), Türkiye Elektrik Kurumu (TEK), Maden Tetkik Arama (MTA) ilgili alanlarda çalışmalar yapmaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı bu çalışmalarda şemsiye kurumdur.

Yenilenebilir enerji kaynakları içinde halen büyük ölçekte kullanılmakta olan tek enerji kaynağı hidrolik enerjidir. Türkiye’nin ekonomik hidrolik potansiyeli 122 GWh/yıl kadardır.³

Ülkemizdeki Hidro-Elektrik Santralleri (HES) nin %28 kadarının gücü 100-300 MW’dır, gücü 1000 MW’dan büyük sadece 4 HES vardır. Bunlarda toplam potansiyelin %24’ünü oluşturmaktadır.⁴

Hidrolik enerji potansiyeli açısından oldukça şanslı bir konuma sahip olan ülkemizde ortalama akış koşullarında brüt potansiyel 433 milyar kWh/yıl teknik potansiyel 216 milyar kWh/yıl olarak belirlenmiştir.

¹ E. Taşdemiroğlu, «Hydroelectric Power Potential and Its Use in Turkey», *Energy*, c:13, s. 549, 1988

² Kemal Halıcı, *Elektriğin Sanayiye Uygulanması*, İDMMA 1982, s. 45.

³ Mustafa Tırıs, “Türkiye’de Enerji Kaynaklarının Rezerv ve Potansiyelleri”, *İTÜ Vakıf Dergisi*, Sayı: 18, 1996, s. 9.

⁴ Nejat Aybers-Basri Şahin, *Enerji Maliyeti*, YTÜ, İstanbul 1995, s. 186.

Tablo 2.1 Türkiye’de Hidrolik Potansiyelin Santral Gücüne Göre Tasnifi

SIRA	SINIFI (MW)	ADET	TOPLAM GÜÇ (MW)	ÜRETİM (GWh/yıl)	%
1	0.1-1	10	7.3	24.8	0.023
2	1-5	50	163.25	81.7	0.076
3	5-10	62	497.53	2300	2.12
4	10-20	70	1065.94	4474	4.14
5	20-50	85	2835.12	11239	10.44
6	50-75	38	2370.08	8934	8.33
7	75-100	29	2559.5	8981	8.32
8	100-300	55	9208.87	30345	28.12
9	300-500	6	2462	6622	6.14
10	500-1000	5	2861	8714	8.08
11	>1000	4	6754	26152	24.23
Toplam		414	30 784.59	107 917.5	100
Küçük HES		122	668.08	2406.5	2.23

Kaynak: Nejat Aybers--Bahri Şahin, *Enerji Maliyeti*, İstanbul 1995, s. 186.

Tablo 2.2 Türkiye Hidroelektrik Potansiyeli

	GÜÇ (MW)	ORTALAMA ENERJİ (GWH)	GÜVENİLİR ENERJİ (GWH)
Brüt Potansiyel	-	432 986	-
Teknik Potansiyel	-	216 000	-
Ekonomik Potansiyel	35 736	124 568	80 039

Kaynak: Şen Sülün, “Hidrolik enerjinin Gelişimi ve DSI” ,*İTÜ Vakıf Dergisi*, Sayı: 18, 1996 s. 14.

1993 yılı sonu itibariyle 124 milyar kWh olarak belirlenmiş hidrolik enerji üretim potansiyelinin (Ekonomik), yaklaşık %30’u değerlendirilmiş durumdadır.⁵ 1993 yılı hidrolik enerjisi brüt elektrik üretimi; 33 951 GWh, 1994 yılı brüt elektrik üretimi 30586 GWh, 1995 yılı brüt elektrik üretimi 31 973 GWh’tir.⁶

⁵ Türkiye 6. Enerji Kongresi, Türkiye Enerji Sektörünün Gelişimi ve Arz Talep Projeksiyonları (1970-2010), Ekim 1994 ,İzmir, s. 98.

⁶ Teknik Eleman, sayı:12, 1996, s.22

Tablo 2.3 Türkiye Hidrolik Potansiyelinin Havzalara Göre Dağılımı
(1993 yılı itibariyle)

HAVZA ADI	KURULU GÜÇ (MW)	ENERJİ	
		ORTALAMA (GWh)	GÜVENİLİR (GWh)
Susurluk	441	1380	1052
Kuzey Ege	16	42	26
Gediz	250	425	202
K. Menderes	48	143	62
B. Menderes	231	907	126
Batı Aknediz	738	2752	1046
Antalya	1160	4014	1713
Sakarya	1062	2362	1440
Batı Karadeniz	588	2125	1132
Yeşilırmak	1274	5277	4196
Kızılırmak	2146	6935	4631
Konya Kapalı	32	104	(?)
Doğu Akdeniz	1384	4769	2905
Seyhan	1935	6880	3140
Asi	50	120	15
Ceyhan	1409	4634	2788
Fırat	9425	37724	29802
Doğu Karadeniz	3464	11416	5850
Çoruh	3227	10614	6275
Aras	609	2256	1772
Van Kapalı	62	257	156
Dicle	5185	17 284	10525
Toplam Potansiyel	34 736	122 420	78 654
	35 736*	124 568*	80 039*

Kaynak: Türkiye 6. Enerji Kongresi, *Enerji İstatistikleri*, Ekim 1994, İzmir, s. 98.

(*) Şen Sülün, "Hidrolik enerjinin Gelişimi ve DSİ", *İTÜ Vakıf Dergisi*, , Sayı18, 1996, s.14

**Tablo 2.4 Hizmete Giren ve Girecek Olan Hidrolik Santral Projeleri
(1997 Yılına Kadar)**

HES PROJESİ	KURULU GÜÇ (MW)	İŞLETMEYE GİRİŞ TARİHİ
Gezende 1-3	159	1994
Adıgüzel 1-3	62	1994
Çatalan 1-3	163	1994-1995
Yenice 1-3	38	1994
Kuzgun 1-4	23	1994
Beyköy 1-3	15	1995
Dicle 1-2	110	1995
Suat Uğurlu	30	1996
Kralkızı 1-2	94	1996
Çamlığöze 1-2	32	1996
Kürtün 1-2	85	1996
Batman 1-4	198	1996
Özlüce Peri 1,2	170	1996
Urfa Tüneli 1,2	50	1996
Mercan 1-3	19	1997
Mansurlar	13	1996
Lamas Gökler	2	1996
Sütçüler	2	1996
Karacaören 1,2	24	1994
Berke	510	1997

Kaynak: Türkiye 6. Enerji Kongresi, Ekim 1994, İzmir, *Türkiye Enerji Sektörünün Gelişimi ve Arz Talep Projeksiyonları (1970-2010)*, s. 131.

Tablo 2.5 Hidrolik Santraller Kurulu Güç ve Üretim Gelişimi

KURULU GÜÇ (MW)					ÜRETİM KAPASİTESİ (GWh)			
YIL	MEVCUT	İNŞ. DEVAM EDEN SANT.	UZUN VADE	TOPLAM	MEVCUT	İNŞ. DEVAM EDEN SANT.	UZUN VADE	TOPLAM
1994	9682	395	-	10077	35477	1430	-	36907
1995	9682	599	-	10281	35477	2050	-	37527
1996	9682	1275	-	10957	35477	3649	-	39126
1997	9682	1804	-	11486	35477	5395	-	40872
1998	9682	1804	-	11486	35477	5395	-	40872

Kaynak: Türkiye 6. Enerji Kongresi, Ekim 1994, İzmir, *Enerji İstatistikleri*, s. 134.

2. 2. Hidrolik Enerjinin Gelişim Seyri

Ülkemizdeki ilk hidroelektrik santrali (1902 yılında) Tarsus'ta 60 kW'lık güçteki bir santraldir. 1932 yılında başlatılan Su Seferberliği neticesinde 1935 yılında Elektrik ihtiyacının belirlenmesi amacına yönelik hidroelektrik potansiyelin tesbiti ile diğer kaynaklardan enerji elde edilmesine dair etüt ve incelemelerin yapılması için Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİE) kurulmuştur. 1935-1953 yılları arasında Seyhan, Sarıyar, Hirfanlı, Kesikköprü, Demirköprü, Koner Barajı ve santrallerin planlama ve finans temini çalışmaları bu kuruluş tarafından gerçekleştirilmiştir.

EİE tarafından 1940 yılında hazırlanan rapora göre 170 adet şehir santrali 72 adet endüstri santrali mevcuttur. Bu santrallerin 28 adedi hidroelektrik santral olup enerji üretiminde payları %3.2'dir.⁷

1953 yılında Türkiye kurulu gücü 500 MW'ta ulaşmıştır. Hidroelektrik santraller 30 MW güçleri ile toplam içinde %6'lık bir paya sahip olmuşlardır. 1954-1963 arasında Devlet Su İşleri (DSİ)'nin katkısı ile hidroelektrik santrallerin kurulu gücü 478 MW'a erişmiştir. Etibank, İller Bankası, Kepez A.Ş.'ninde gerçekleştirdikleri Hidroelektrik Santral (HES)'ler ile kapasite 10 yılda 16 kat artış göstermiştir.⁸

1963 yılında 1381 MW olan toplam kurulu güçte HES'lerin payı %35'e ulaşmıştır. Bu yıldan itibaren Enerji ile ilgili ana hedef ve politikalar beş yıllık kalkınma planları çerçevesinde ele alınmıştır. Birinci Beş Yıllık Planlı Kalkınma Dönemi(1963-1967)'nde Enerji kaynaklarının yerli üretime öncelik verilerek geliştirilmesine önem verilmiştir. İkinci beş yıllık kalkınma programında enterkonnekte şebekelerin hızla artırılması ve su kaynaklarının etkili bir biçimde üretime alınması ana hedeftir.

Çeşitli nedenlerle üretim hedefleri, tam hedeflenen noktada gerçekleştirilememiştir. Kısa vadede dışa bağımlı kaynaklardan enerji teminine gidilmiştir. 1970 yılında Türkiye Elektrik Kurumu (TEK) kurulmuştur. Hidroelektrik santrallerin işletilmesi bu kuruma devredilmiştir.

Üçüncü Beş Yıllık Planlı Kalkınma Dönemi (1973-1977)'nde termik/hidrolik enerji dengesinin bozulmaması dış kaynağa bağımlılığın azaltılması için hedefler öngörülmüştür. Hidroelektrik potansiyeli olan Aşağı Fırat Projesinin geliştirilmesi önerilmiştir. Keban, Gökçekaya, Çıldır baraj ve santrallerinin inşaatları bu dönemde tamamlanmıştır. 1873 MW'a erişen HES kapasitesi toplam kapasitenin %40'ını oluşturmıştır.⁹

⁷ Şen Sülün, "Hidrolik enerjinin Gelişimi ve DSİ", İTÜ Vakıf Dergisi, Sayı: 18, 1996, s. 12.

⁸ Şen Sülün, yagm, s. 12.

⁹ Şen Sülün, yagm, s. 13.

Dördüncü Beş Yıllık Planlı Kalkınma Dönemi (1978-1983)'nde hidrolik üretim kapasitesinin artırılması ve kaynakların devreye alınmasına özen gösterilmiştir. 1978-1983 yıllarında, Hasan Uğurlu, Oymapınar, Suat Uğurlu baraj ve santralleri DSI tarafından kurulmuş, kurulu güç 3239 MW ulaşmıştır. 6935 MW olan kurulu güç içinde hidroelektrik santrallerin payı %47'ye ulaşmıştır.¹⁰

Beşinci Beş Yıllık Planlı Kalkınma Döneminde (1984-1989) Linyit kaynaklarının değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Hidrolik potansiyelin orta ve uzun vadede en üst düzeyde kullanılması öngörülmüştür. Bu dönemde Altınkaya, Aslantaş, Ataköy, Kapulukaya, Karakaya, Kılıçkaya, Köklüce ve Zerne hidroelektrik santralleri tamamlanarak devreye alınmıştır. HES kurulu gücü 6597 MW'a çıkmıştır. hidrolik/termik oranı %42 olarak gerçekleşmiştir.¹¹

Altıncı Beş Yıllık Planlı Kalkınma Döneminde (1990-1994) başta hidrolik enerji olmak üzere, ekonomik olarak işletilebilecek yenilenebilir enerji kaynaklarından önemli ölçüde yararlanılabilmesi amacı ile gerekli çalışmaların yapılması hedeflenmiştir. Elektrik enerjisinin %40'ının hidroelektrik santrallerinden sağlanması planlanmıştır. Bu dönemde Tezcan, Karcaören-I, Derbent santralleri ve Atatürk santralının dört, Kocaköprü ve Menzelet santrallerinin ikişer üniteleri devreye alınmıştır. HES kapasitesi 1993 yılı itibariyle 18.752 MW'a erişmiştir. Toplam kurulu güç içinde HES'in payı %45'e ulaşmıştır.¹²

1993 yılı itibariyle 66523 GWh'e ulaşan elektrik üretimi, 10363 MW'ı termik 8.389 MW'ı hidrolik enerji olmak üzere toplam 18752 MW kurulu güce sahip santraller ile gerçekleştirilmektedir. Hidroelektrik santrallerin yıllık üretim kapasitesi 30578 GWh, güvenilir üretim kapasitesi ise 20124 GWh'dir. Mevcut kurulu güç kapasitesinin %45'ini oluşturan hidroelektrik santralleri elektrik üretiminde %33'lük bir paya sahiptirler. Yağış koşullarına bağlı olarak yıllık üretim yüzdesi değişim göstermektedir.

Ülkemizde halen çalışan, etüdü tamamlanmış teknik ve ekonomik olarak işletilebilir hidroelektrik santral adedi 495'dir.¹³

Bu durumda, hidrolik enerji potansiyelinin ekonomik olarak değerlendirilmesi ile toplam hidrolik kurulu güç 34 736 MW ulaşacaktır. Yıllık ortalama enerji üretim kapasitesi ise 122 420 GWh'e olarak öngörülmektedir. 1997 yılı itibariyle ekonomik

¹⁰ Şen Sülün, "Hidrolik enerjinin Gelişimi ve DSI", İTÜ Vakıf Dergisi, Sayı: 18, 1996, s. 13.

¹¹ Şen Sülün, yagm, s. 13.

¹² Şen Sülün, yagm, s. 13.

¹³ Şen Sülün, yagm, s. 14.

HES potansiyeli inşası devam eden santraller ile %33'e çıkarılacak, elektrik üretimindeki yeri %38 olacaktır. 1995 yılı hidrolik kurulu gücü 9865 MW 'tır. Enerji üretimi 31 973 GWh'tir.¹⁴

Tablo 2.6 Hidrolik Enerji Potansiyelinin Değerlendirme Durumu (1993 yılı)

DURUM	KURULU GÜÇ(MW)	%	ENERJİ			
			ORTALMA (GWh)	%	GÜVENİLİR (GWh)	%
Çalışan	9682	28	35477	29	28080	36
İnşa Halinde	1804	5	5395	4	2639	3
Kesin Projesi Hazır	6308	18	19953	16	12700	16
Kesin Projesi Yapılmakta	458	1	1290	1	865	1
Planlaması Hazır	4565	13	16009	13	8815	11
Planlaması Yapılmakta	1642	5	5305	4	3118	4
Master Planı Hazır	4362	13	15472	13	8849	11
Ön İncelemesi Hazır	5915	17	23519	19	13588	17
TOPLAM	34736	100	122 420	100	78 654	100

Kaynak: Türkiye 6. Enerji Kongresi, Ekim 1994, İzmir, *Enerji İstatistikleri*, s. 99.

2. 3. Küçük/Mini/Mikro Hidrolik Enerji

Toplam kurulu gücü 10 MW'dan küçük bir veya birkaç su türbünü ile elektrik üreten tesislere Küçük Hidro-Elektrik Santralleri adı verilir.¹⁵ Birleşmiş Milletler Sinai ve Kalkınma Organizasyonu (UNIDO) tarafından yapılan sınıflandırmaya göre:

Küçük HES, ünite gücü <10 MW

Mini HES, ünite gücü 100-1000 kW

Mikro HES, ünite gücü <100 kW'tır.

Küçük, mini ve mikro HES'ler 2 m'den yüksek su düşülerinde kullanılırlar. Büyük HES'lerin kurulması ile bilinen en eski elektrik üreten küçük HES'ler önemlerini kaybetmişlerdir. 1970'li yıllarda yaşanan enerji krizi yeniden küçük HES'leri gündeme sokmuştur.

¹⁴ Teknik Eleman Dergisi, sayı: 12, 1996, s.20.

¹⁵ Nejat Aybers - Bahri Şahin, *Enerji Maliyeti*, YTÜ, İstanbul 1995, s. 189.

Küçük HES'lerin birim maliyetlerin kuruluş aşamasında yüksek olması nedeniyle elektrik üretim maliyeti de büyük olmaktadır. Türkiye'de 10 MW'ın altında üretim yapabilecek hidrolik enerji potansiyeli 726.69 MW kadardır. Bu potansiyelin ortalama yıllık üretimi ise 3332 GWh/yıl'dır.¹⁶ Çeşitli safhalarda toplam 156 adet olan küçük su santrallerinin 49 adedi 10 978 MW kurulu güç 36 800 GWh toplam ortalama üretim, 122 420 GWh güvenilir elektrik enerji üretimi yapabilir.¹⁷

Tablo 2.7 Türkiye'de Su Enerjisi Havzası (1991 Yılı)

SU ENERJİSİ ÇEŞİDİ	TOPLAM HAVZA SAYISI	İŞLETİLEN OLAN HAVZA SAYISI	İŞLETİLEBİR HAVZA SAYISI	İŞTİLEMİYEN HAVZA SAYISI	KURULU GÜÇ (kW)	ORTALAMA DÜŞÜK KAPASİTE (kW)
Mikro	73	7	33	33	4619	4203
Mini	89	45	20	24	27 457	13 454
Küçük	23	23	-	-	80 392	-
TOPLAM	185	75	53	57	112 468	17 657

Kaynak: E. Taşdemiroğlu, *Development of Small Hydropower in Turkey*, Energy cilt. 18, 1988, s. 679.

2.3.1. Küçük Hidroelektrik Santrallerinin Kurulması ve İşletilmesinde Dikkate Alınması Gereken Hususlar

Veri Toplama: Hidrolojik, jeolojik, topografik bilgiler hassasiyetle dikkate alınarak, santraller kurulmadan önce tüm bilgiler değerlendirilmelidir. Akış koşullarına ait bilgiler sağlıklı bir şekilde toplanmalıdır.¹⁸

Plânlama: Ekonomik ve teknik açıdan seçilen cihaz ve ekipmanlar karşılaştırılarak ihtiyacı karşılayacak optimum tercihler yapılmalıdır. Enerji ihtiyacı, geleceğe yönelik projeksiyonları karşılayacak şekilde hesaplanarak yatırım yapılmalıdır. Uzun vadede santrallerin devredışı kalacağıda gözönünde bulundurulmalıdır.¹⁹

İşletme ve Bakım: Başarılı işletme için periyodik bakımların yapılması ve ekipmanların yenilenmesi gerekmektedir. Bu esnada çoğu ekipman ithalat yoluyla

¹⁶ Gülnur Şenocak, "Üçüncü Petrol Krizi Sürecinde Dünya'da ve Türkiye'de Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Enerjisine Yönelik Gelişmeler", *Bütün Yönleriyle 21. Yüzyılda Enerji Sempozyumu*, Nisan 1994, İstanbul, s. 215.

¹⁷ Gülnur Şenocak, yagm, s. 215.

¹⁸ E. Taşdemiroğlu, "Development of Small Hydropower in Turkey", *Energy*, cilt: 18, s. 700-701.

¹⁹ E. Taşdemiroğlu, yagm, s. 700.

karşılanmaktadır, bu nedenle işletme giderleri artmaktadır. Derivasyon boruları ve valflerin temizliği önemli olup santral ömrü ile yakından alakalıdır.²⁰

Çok Amaçlı Kullanım: Sulama, balık yetiştirme, su ulaşımı, içme suyu ihtiyacının karşılanması gibi alanlar, santral ömrünü kısaltıcı etkilere sahiptir. Santral güç üretimini düşürücü faktörlerdir. Bu hususların gözönünde bulundurulması gerekmektedir.²¹

Deneyimli Personel: Eğitilmiş personele olan ihtiyaç işletmenin devamlılığı açısından önemli olup yeterli mühendis ve teknisyenin teknik bilgi ve eğitimine önem verilmesi gerekmektedir.²²

Enterkonnekte Şebeke ile İrtibatlandırma: Ulusal politika küçük hidroelektrik santrallerinin enterkonnekte şebeke ile irtibatlandırılmasını öngörmektedir. Günümüzde böyle bir entegrasyonun dezavantajları sorgulanmaktadır. Yapılan araştırmalara göre ulusal şebeke kayıpları 623 MW civarındadır.²³ Bu nedenle küçük hidroelektrik santrallerinin merkezileştirilmesi ve enterkonnekte şebekeye bağlanmadan üretim bölgesinde tüketilmesi öngörülmektedir.²⁴

²⁰ E. Taşdemiroğlu, yagm ,s. 700.

²¹ E. Taşdemiroğlu, yagm ,s. 701.

²² E. Taşdemiroğlu, yagm ,s. 701.

²³ E. Taşdemiroğlu, yagm ,s. 701.

²⁴ Gülseren Kızıltan—Dilek Kaptanoğlu, "Gelişmekte Olan Ülkelerde Enerji Modellemesi", TÜBİTAK, Ekim 1983, s. 24.



ÜÇÜNCÜ BÖLÜM JEOTERMAL ENERJİ

3. 2. Jeotermal Enerjinin Tarihçesi

Yetmişli yıllarda artan petrol fiyatları, jeotermal enerjiyi alternatif ve yenilenebilir enerji arayışları içinde yeniden gündeme getirmiştir. Seksenli yıllarda petrol fiyatlarının daha istikrarlı olması nedeniyle jeotermal enerjinin kullanım imkanları ekonomik etkenlerle sınırlanmıştır.⁵

İlk çağlardan bu yana ilkel yollarla sağlık amaçlı olarak yararlanılan doğal sıcaksu kaynakları ilk defa 1827 yılında İtalya'da asitborik elde etmek amacıyla kullanılmıştır. Daha sonra 1905 yılında Lardello (İtalya) yöresinde ve 1912 yılında gücü 250 kW olan ilk turbo jeneratör kurulmuştur.⁶ 1930'larda ise bu enerji İzlanda'nın Reykjavik kentinde ısıtma amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. 1954 yılında Yeni Zelanda Wairekei sahasında 200 MW kapasiteli bir santral kurulmuştur. 1960 yılında Amerika'da 1961'de Meksika'da ve 1966'da Japonya'da jeotermal santraller kurularak jeotermal enerji kullanımı dünya çapında yayılmıştır.⁷

3.2.1. Türkiye'de Jeotermal Enerjinin Tarihçesi

Büyük bir jeotermal potansiyelin mevcut olduğu ülkemizde jeotermal enerji ılıca, kaplıca ve kaynarca olarak çok eski zamanlardan beri kullanılmaktadır. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından 1962 yılından beri yürütülen çalışmalar sonucunda 1968 yılında Kızıldere-Denizli ve 1972 yılında da Germencik-Aydın gibi yüksek entalpili jeotermal sahalar bulunmuştur.⁸ Yine MTA tarafından Tuzla-Çanakkale, Afyon, Balçova-İzmir ve Simav-Kütahya gibi daha düşük entalpili sahalar da bulunmuştur. Düşük entalpili sahalardan ısıtma amacıyla (sera, konut vb.) yararlanılmaktadır.

Türkiye'de ilk jeotermal ısıtma uygulaması, 1964 yılında Gönen Park Otel'i'nin ısıtılması ile olmuştur.⁹

Kızıldere ve Germencik sahaları yüksek sıcaklıktaki akışkan içeriklerinden dolayı elektrik enerjisi üretimine uygun jeotermal sahalar grubunda yer almaktadır.

⁵ Ümran Serpen, "Fosil Yakıtsız Yaşamda Jeotermal Enerji", *Bilim ve Teknik*, TÜBİTAK, sayı: 339, s. 60.

⁶ Ali Koçak, "Türkiye'de Jeotermal Enerji Potansiyeli ve Kullanımı", *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I*, İzmir 1994, s. 71.

⁷ Ali Koçak ,yagm., s. 71.

⁸ Ümran Serpen, "Türkiye'de Yüksek Entalpili Jeotermal Sahaların Genel Değerlendirmesi", *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I*, İzmir 1994, s. 238.

⁹ Orhan Mertoğlu, "Jeotermalin Geçmişte ve Gelecekte Türkiye'deki Yeri, Önemi ve Uygulamaları", *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I*, İzmir 1994, s. 131.

3. 3. Türkiye'nin Jeotermal Enerji Potansiyeli

Türkiye jeotermal enerji potansiyeli açısından dünyanın şanslı ülkelerinden biri sayılabilir. Yapılan araştırmalarda ülkemizde 600'den fazla sıcak su kaynağı olduğu belirlenmiştir. MTA'nın verilerine göre saptanan elektrik üretim amaçlı rezerv 4500 MW'dır Bu miktar 2×10^6 ton/yıl petrole eş değerdir.¹⁰ Diğer yandan MTA'nın verilerine göre Türkiye'nin olası jeotermal potansiyeli ısıtma amaçlı 31500 MW_t'tir.¹¹

Tablo 3.1 Jeotermal Enerjinin Bölgesel Dağılımı

Bölgeler	TAHMİNİ KAPASİTE (MW)	
	Elektrik	Isı
Ege Denizi	2.000	14.000
Karadeniz	200	2.100
Orta Anadolu	800	5.000
Doğu ve K. Doğu Anadolu	500	4.000
Marmara Denizi	1.000	6.000
Toplam	4500	31 100

Kaynak: E. Taşdemiroğlu "Geothermal Potential and Utilization", Energy, 1998, c:13, s. 245.

¹⁰ E. Taşdemiroğlu, "Geothermal Potential and Utilization in Turkey", Energy, 1988, c: 13, s. 245-251.

¹¹ Ümran Serpen, "Fosil Yakıtsız Yaşamda Jeotermal Enerji", Bilim ve Teknik, sayı:339, s. 63.

Tablo 3.2 Önemli Jeotermal Sahalar ve Bazı Karakteristikleri

YER	KULLANILABİLİR SICAKLIK (°C)	KAYNAK SICAKLIĞI(°C)	MAKSİMUM AKIŞ (kg/s)
Ömer-Geçek	70	105	183
Sandıklı	67	110	50
Kızılcacahamam	40	150	35
Çubuk	35	68	-
Ayaş	43	-	2
Germencik	101	240	10
Salavatlı	38	100	5
Aydın	34	-	-
Gümüş	40	60	5
Sındırgı	98	165	50
Havran	-	60	-
Gönen	54	150	30
Kepekler	60	112	5
Pamuksu	-	90	-
Nemrut	60	250	-
Süphan	-	-	-
Seben	60	110	-
Bursa	40	-	-
Tuzla	102	220	36
Kestanbol	50	73	60
Hıdırlar	87	200	1
Kızıldere	99	250	400
Tekkehamam	99	220	50
Pamukkale	56	150	50
Ilıca	33	100	20
Dumlu	40	100	10
Pasinler	45	80	5
Eskişehir	42	80	50
Termal	65	-	10
Seferhisar	85	225	50
Bağcova	62	150	62
Dikili-Bergama	90	180	20
Çeşme	58	80	34
Mahmutlu	70	146	28
Terme	45	-	10
Karakurt	50	-	10
Simav	98	215	10
Gediz	78	-	8
Salihli	86	210	5
Urganlı	78	150	25
Kozaklı	92	120	20
Acıgöl	-	-	-
Siirt	-	-	-
Zilan	78	240	20

Kaynak: E. Taşdemiroğlu, "Geothermal Potential and Utilization in Turkey", *Energy*, 1988, c: 13, s. 246.

Ülkemizde teknik olarak kullanılabilir jeotermal enerji potansiyeli 0.65 Ej/yıl (179 TWh/yıl); brüt potansiyeli ise 1.64 Ej/yıl (455 TWh/yıl) düzeyindedir. Bu potansiyel ülkemizin genel enerji tüketiminin %66'sına eş değerdir.¹² Jeotermal enerjiden güvenilir enerji üretimi 90 TWh/yıl düzeyinde olacağı tahmin edilmektedir.¹³

Ülkemizde 7. Beş Yıllık Kalkınma Planı Genel Enerji Özel İhtisas Komisyonu Raporu'nda jeotermal elektrik kurulu gücünün 1995 yılında 20 MW düzeyinden başlayarak 2000 yılında 125 MW'a 2005'de 150 MW'a ve 2010'da da 258 MW'a çıkarılması ön görülmüştür. Bu kurulu güçlerle yapılacak üretim 1995 yılında 90 GWh, 2000'de 562 GWh, 2005'de 675 GWh ve 2010'da da 1165 GWh olarak planlanmıştır. Ön görülen yatırım 100 MW'ın üzerindeki santraller için 1000 \$/kW, küçük güçlü santraller için de 1250-1500 \$/kW'dır Isıtma uygulamalarına ilişkin jeotermal enerji planlamasına göre; 1995'de 3.5 TWh, 2000'de 18.8 TWh, 2005'de 43.6 TWh ve 2010'da 79.4 TWh üretim gerçek gerçekleştirilecektir.¹⁴

3. 4. Türkiye'de Jeotermal Enerjiden Elektrik Üretimi

Ülkemizde jeotermal enerji, Birleşmiş Milletler Geliştirme Programı çerçevesinde 1962 yılında MTA'nın yaptığı araştırmalarla başlamıştır.¹⁵ Bu yöndeki çabalarla 1968 yılında Kızıldere-Denizli ve 1972 yılında da Germencik-Aydın gibi yüksek entalpili jeotermal sahalar bulunmuştur.¹⁶ MTA; Tuzla-Çanakkale, Afyon Balçova-İzmir ve Simav-Kütahya gibi daha düşük entalpili sahalarda bulmuştur. Fakat bu yerler ancak ısıtma amacıyla kullanılabilir sahalardır. Kızıldere ve Germencik jeotermal sahaları yüksek sıcaklıktaki akışkan içerdiklerinden dolayı elektrik enerjisine uygun sahalardan grubunda yer almaktadır.¹⁷

Kızıldere sahasında elektrik üretimi amacıyla 1974 yılında 0.5 MW gücünde bir deneme jeneratörü kurulmuş ve daha sonra Şubat 1984'de devreye alınan ve TEK* (TEAŞ), tarafından işletilen 20.4 MW gücündeki santral yurdumuzda kurulan ilk jeotermal santral olmuştur. Fakat jeotermal enerjinin üretiminde karşılaşılan sorunlardan dolayı santral halen 7-8 MW kapasitede çalışmaktadır.¹⁸

¹² M. Özcan Ültanır, "Türkiye'nin Yeni ve yenilenebilir Enerji Kaynakları Planlaması", *Bütün Yönleriyle 21. Yüzyılda Enerji Sempozyumu*, Nisan 1994, İstanbul, s. 225.

¹³ M. Özcan Ültanır, yagm., s. 226.

¹⁴ M. Özcan Ültanır, yagm., s. 226.

¹⁵ E. Taşdemiroğlu, "Geothermal Potential and Utilization in Turkey", *Energy*, 1988, c: 13,s.245

¹⁶ Ümran Serpen, "Türkiye'de Yüksek Entalpili Jeotermal Sahaların Genel Değerlendirmesi", *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I*, İzmir 1994, s. 238.

¹⁷ Ümran Serpen , yagm., s. 238.

* TEK 15 Eylül 1193 tarihli, 21699 sayılı Resmî Gazete'de yayınlanan 53/4739 sayılı Bakanlar Kurulu kararı ile ikiye bölünmüştür. TEAŞ ve TEDAŞ.

¹⁸ Ümran Serpen, yagm., s. 239.

Türkiye’de bulunan sahaların büyük bir çoğunluğu düşük entalpili olmaları nedeniyle, jeotermal enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülebilmesi teknolojik ve ekonomik açıdan uygun görülmemektedir.

Jeotermal sahaların genişliği oranında elektrik üretimi istenildiği, planlandığı çerçevede geliştirilememiştir. Kızıldere-Denizli jeotermal santrallerinde elektrik üretiminde karşılaşılan teknik problemlerin yeterince aşılabilmesi ve belli ekonomik zorluklar, yetkili mercilerin jeotermal enerjiye bakışını olumsuz yönlendirmiş olabilir.¹⁹ Ayrıca teknik ve finansal sorunlar bu alanda yeterli düzeyde elektrik üretiminin yapılmasını engellemektedir.

Düşük entalpili jeotermal kaynaklar, yerleşim alanlarının ısıtılmasında, bazı endüstriyel proseslerde ve seracılık gibi alanlarda kullanılarak genel enerji tasarrufunda, ülkemizin fosil yakıtlar açısından dışa bağımlılığını azaltıcı etkiye sahiptir. Bu husus dolaylı da olsa elektrik enerjisi tasarrufudur.

Tablo 3.3 Jeotermal Enerji Üretimi

Yıllar	JEOTERMAL	
	Elektrik (GWh)	Isı (Bin tep)*
1984	22	-
1985	6	-
1986	44	-
1987	58	-
1988	68	-
1989	63	5
1990	80	16
1991	81	16
1992	70	30
1993	78	30

Kaynak: Türkiye 6. Enerji Kongresi, Ekim1994, İzmir, *Enerji İstatistikleri*, s. 105.

(*) Bin ton eşdeğer petrol.

¹⁹ Ümran Serpen, "Fosil Yakıtsız Yaşamda Jeotermal Enerji", *Bilim ve Teknik*, sayı:339 , s. 63.

Tablo 3.4 Jeotermal Enerjinin Toplam Enerji Üretimi İçindeki Payı

	JEOTERMAL	
Yıllar	Elektrik	Isı (%)
1984	0.1	-
1985	0.0	-
1986	0.2	-
1987	0.2	-
1988	0.2	-
1989	0.2	-
1990	0.3	0.1
1991	0.3	0.1
1992	0.2	0.1
1993	0.2	0.1

Kaynak: Türkiye 6. Enerji Kongresi, Ekim1994, İzmir, *Enerji İstatistikleri*, s. 107.

Tablo 3.5Jeotermal Enerji Üretim Artışı (%)

	JEOTERMAL	
Yıllar	Elektrik	Isı
1985	-72.7	-
1986	633.3	-
1987	31.8	-
1988	17.2	-
1989	-7.4	-
1990	27.0	220.0
1991	1.3	0
1992	-13.6	87.5
1993	11.4	0.0

Kaynak: Türkiye 6. Enerji Kongresi, Ekim1994, İzmir, *Enerji İstatistikleri*, s. 108.

Tablo 3.6 Jeotermal Enerjinin Toplam Enerji Tüketimi İçindeki Payı (%)

Yıllar	JEOTERMAL	
	Elektrik	Isı
1984	0.1	-
1985	0.1	-
1986	0.1	-
1987	0.1	-
1988	0.1	-
1989	0.1	-
1990	0.1	-
1991	0.1	-
1992	0.1	0.1
1993	0.1	0.0

Kaynak: Türkiye 6. Enerji Kongresi, Ekim1994, İzmir, *Enerji İstatistikleri*, s. 108.

3. 4. 1. Kızıldere Jeotermal Sahası ve Elektrik Üretiminde Karşılaşılan Problemler

Kızıldere jeotermal sahası rezervuarı termodinamik olarak incelenmiştir.²⁰ Bu sahada sıcak suyun etkin olduğu gözlenmiştir. 190-200°C sıcak su içeren ve başlangıç koşullarında kütleli olarak %1.5 kadar CO₂ sıvı fazda bulunmakta olup yüksek sıcaklıkta 1 km alana sahip rezervuarı daha düşük sıcaklıkta (160-140 °C) bir zon çevrelemektedir.²¹

1984'den beri yapılan üretim sonucunda rezervuar basıncının düştüğü gözlenmiştir. Santral tam güçte çalıştırılırsa sahanın performansının hızla düştüğü görülmüştür. 10 MW gücü karşılayacak üretim durumunda ise sahanın ömrü 20 MW'a göre yaklaşık 5 yıl uzamaktadır. Rezervuardan üretilen akışkanın kütleli olarak %11'ini oluşturan buhar santralde elektrik enerjisinde kullanılırken, geriye kalan %89 ise atık su olarak Menderes akarsuyuna verilmektedir. Eğer bu suyun basılması durumunda (10 MW'lık üretim sonucu çıkan atıksu) 25 yıl sonunda rezervuarın herhangi bir soğumaya sebep olmayacağı ön görülmüştür.²² Atık suyun tekrar geri basılması bir takım kimyasal maddelerin çevreyi kirletmesini önlemektedir.

²⁰ Ümran Serpen, "Türkiye'deki Yüksek Entalpili Jeotermal Sahaların Genel Değerlendirmesi", Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I, İzmir 1994, s. 239.

²¹ Ümran Serpen , yagm., s. 239.

²² Ümran Serpen , yagm., s. 240.

3. 4. 2. Germencik Jeotermal Sahası

Bu saha Kızıldere'nin de yer aldığı B. Menderes trabeninin batı kısmında yer almaktadır. 1982-1986 yılları arasında delinen 9 kuyu ile sıcaklığı 210-230°C arasında değişen suyun etkin olduğu yüksek miktarda CO₂ içeren bir hidrotermal sistemin varlığı belirlenmiştir.

Bu saha için yapılan fizibilite çalışmasında sıcak akışkan rezervuarının 4.8x10³ m³ olduğu tahmin edilmiştir. Isı rezervlerinin de dikkate alınmasıyla sahanın elektrik gücünün 30-60 MW olabileceği belirlenmiştir.²³ Bu sahada yüksek bor içeriğine bağlı çevre kirlenmesine maruz kalabileceği göz önüne alınarak tekrar-basmanın gerekliliği vardır.

3. 4. 3. Kızıldere ve Germencik Jeotermal Sahasında Kalsit Çökmesi Sorunu

Gerek Kızıldere ve gerekse de Germencik jeotermal sahalarının işletilmesi söz konusu olduğunda ortaya çıkan iki sorunun çözülmesi gerekmektedir.²⁴ Jeotermal akışkanın önemli oranda bor minerali içermesi ve CO₂ gazının oluşturduğu kalsit çökmesidir. Kimyasal bileşimin çevreye zarar vermemesi için tekrar-basma çözüm olabilir.

Yüksek basınçtaki suyun etken olduğu rezervuarlarda CO₂ , suyun içinde çözünmüş durumdadır. Bu gaz sıvı fazda iken kuyu başında basınç açısından faydalı olurken akış sırasında gaz fazına geçmesi suyun kimyasal yapısını değiştirerek kalsit çökmesi oluşturur. Bu durum üretim açısından zararlı etki yaratmaktadır. Çökme kuyu başında olursa kuyu çapı daralarak akışa engel olmaktadır.

Elektrik üretimi açısından incelendiğinde karşılaşılan sorunlar şunlardır.

1. Kısa dönemde incelendiğinde, en önemli sorun yüzey donanımlarında, kuyu içinde, kuyu dibine yakın bölgelerde ve rezervuarda basınç düşümünden dolayı oluşan kalsit çökmesidir.

2. Uzun dönem incelendiğinde ise en önemli sorun rezervuar basıncının düşmesi ve dolayısıyla rezervuardan elektrik üretiminin beklenildiği gibi uzun sürmemesi olasılığıdır.

3. Özellikle çevre yönünden en önemli sorun atık suyun tarıma zarar vermeyecek şekilde değerlendirilmesidir.

²³ Ümran Serpen , yağm., s. 240.

²⁴ Ümran Serpen, Türkiye'deki Yüksek Entalpili Jeotermal Sahaların Genel Değerlendirmesi", Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I, İzmir 1994,s.241.

Kalsit Çökmesi: Kızıldere’de yapılan bazı kimyasal önleyici deneyleri, bazı mekanik problemler ortaya çıkarmakla beraber, çökme olayı kuyu içi ve yüzey donanımlarında önlenmiştir. 1000 tn/st’lik bir üretim için bu işlemin yıllık maliyeti 250.000 \$ kadardır.²⁵

Bu sorunu çözmek için periyodik olarak asitleme yaparak rezervuardaki çökmeyi azaltmak öneriliyor. Suyu ve karbondioksiti tekrar basarak, rezervuar basıncını mümkün olduğu kadar yüksek tutarak alt seviyelerdeki çökme önlenabilir.

Üretim Performansı: Yapılan model çalışmaları üretim performansı açısından, sahanın üretim potansiyelinin iyi belirlenmesi gerektiğini ortaya koyuyor. Mevcut verilerle Kızıldere’nin üretiminin 10 MW’ı Germencik’in ise 60 MW’ı geçmemesi gerektiği ön görülmektedir. Bu sınırlardaki üretimin tekrar-basma işleminin yapıldığı varsayılarak tavsiye ediliyor.²⁶

3.5 . Jeotermal Enerjide Maliyet Değerlendirmesi

Tablo 3.7 Jeotermal Enerjide Maliyet Değerlendirmesi

ENERJİ TÜRÜ	BİRİM MALİYET (\$/kWh)
Petrol	4.8
Kömür	5.8
Nükleer	5.16
Küçük Hidro.	7
Jeotermal	4
Jeopressured	10
Sıcak Kuru Kayalar	17
Mağma (Deneysel)	20
Rüzgar	12
Güneş Enerjisi	24
Solar Termal	12

Kaynak: Türkiye 6. Enerji Kongresi, İzmir 1994, *Teknik Oturum Tebliğleri-I*, s. 77.

²⁵ Ümran Serpen ,yagm., s. 244.

²⁶ Ümran Serpen ,yagm., s. 245.

Tablo 3.7'den jeotermal enerjinin maliyet açısından düşük bir değere sahip olduğu görülebilir. Bunda en büyük etken jeotermal enerjide işletme giderlerinin çok düşük olması ve enerjinin yenilenebilir olmasıdır.²⁷

Yukarıdaki Tablo 3.7'de gösterilen değer, işletme safhasında, dünya ölçeğinde sunulan birim maliyettir. Bununla beraber jeotermal kaynak geliştirme maliyetleri çok karmaşık ve değişken faktörlere bağlı olduğu için bu konuda doğru tahmin yapmak güç görünmektedir.²⁸ Jeotermal kuyularda kazının maliyeti petrol kuyularına göre %40 ile %100 arasında değişmektedir.²⁹

Jeotermal sistemlerin işletme ve bakım maliyetleri, genelde, toplam maliyetin küçük bir bölümünü oluşturmaktadır. Jeotermal akışkanın klorürler gibi aşındırıcı, silika karbonatlar gibi çökelme eğilimi taşıyan bileşenler ya da çözünmeyen CO₂ ve H₂S gibi gazlar içermesi maliyetleri büyük ölçüde artırmaktadır.³⁰

Jeotermal rezervuar/santral sisteminin ömrünü önceden kestirebilmek zordur. Santralin ömrü 25 yıl olabilir, fakat rezervuar ömrü bundan çok uzun olabilir.³¹ Jeotermal enerjiyi güneş ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerjilerden ayıran en büyük fark elektrik ve ısı üretimi fiyatlarının ticarî açıdan kabul edilebilir olmasıdır.

Enerji üretiminde ünitelerdeki dış maliyet, çevrenin etkilenme maliyeti olarak kabul edilmektedir. Jeotermal enerjiden elektrik üretimi sırasında ortaya çıkan sosyal maliyet oldukça olumlu gözükmemektedir. Yalnız bu sosyal maliyet atık suların nehirlerle, kullanılmayan CO₂'nin havaya bırakılması durumunda çok artacaktır.³²

Uzaklığın jeotermal sistemlerden yararlanmayı etkileyen bir faktör olduğunu düşünürsek, bu konunun çözümü için, üretilen elektrik uygun bir maliyetle enterkonnekte sebekeye aktarılmalıdır.

Elektrik dışı kullanım pazarı oldukça farklı bir yapıya sahiptir. Jeotermal enerjiyi konut ve proses ısı sistemlerinde kullanmak tüketici için yeniden yapılanma gerektirir.

²⁷ Ali Koçak, "Türkiye'de Jeotermal Enerji Potansiyeli ve Kullanımı", Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-1, İzmir 1994, s. 77.

²⁸ Ümran Serpen, "Fosil Yakıtsız Yaşamda Jeotermal Enerji", Bilim ve Teknik, sayı: 339, s. 61.

²⁹ Ümran Serpen, yagm., s. 61.

³⁰ Ümran Serpen, "Fosil Yakıtsız Yaşamda Jeotermal Enerji", Bilim ve Teknik, sayı: 339, s. 62.

³¹ Ümran Serpen, yagm., s. 62.

³² Ümran Serpen, yagm., s. 62.

3. 6. Jeotermal Enerji — Çevre İlişkisi

Jeotermal enerji, elektrik enerjisi üretimi safhasında teknik ve çevresel sorunlar oluşturmaktadır. Jeotermal sistemlerde enerji elde edilirken önemli boyutlarda çevre kirlenmesi olabilir. Gaz emisyonları oluşur, atık sulara zararlı olan zehirli maddeler içermektedir. Kirlenme olan bölgelerde eski duruma dönmek büyük maliyet getirebilir. Jeotermal sahada oluşan atık su bulut oluşumuna neden olarak çevrenin ikliminde değişiklik yapabilir.

Jeotermal kuyuların çevreye olan fiziksel etkisinden biri gürültüdür. Kuyularda gürültü 120 dB'i aşabilir. Bu gürültü düzeyi susturucu olarak adlandırılan atmosferik seperatörlerle 85 dB'e indirilebilir.³³ Jeotermal kuyu platformları için 1000-2500 m² alana gereksinim vardır.³⁴ Jeotermal enerji kullanılırken H₂S gazı açığa çıkar, zehirleyici etki yapan bu gazın ABD'de termal buhardan ayrılması şartı vardır.³⁵

Türkiye'de jeotermal bir alan olan Kızıldere sahasından CO₂ çıkış miktarı, 750 g/kWh oranıyla oldukça yüksektir. Fakat burada çıkan CO₂'in tamamı atmosfere verilmemekte ve önemli bir kısmından kuru buz elde edilmesinde yararlanılmaktadır.

Jeotermal sahada üretim yapılırken yer altından çekilen su sismik ve göçme türünden tehlikelere neden olur. Suyun çekilmesi veya yer altına enjekte edilmesi durumunda rezervuar kayacının gerilme koşulları değişir. Bu durum deprem olasılığını ortaya çıkarabilir.

Jeotermal sahalarda akışkan çıkartıldıktan sonra yerine bir şey konulmazsa bu durumda arazide göçükler oluşabilir.

Jeotermal enerjiye dayalı modern santrallarda CO₂, NO_x, SO_x atımı çok daha düşük olup özellikle merkezî ısıtma sistemlerinde sıfırdır.³⁶

³³ Tayfun Babadağılı, "Türkiye'deki Potansiyel Jeotermal ve Rüzgâr Enerjisinin Bölgesel Kullanım Olanaklarının İncelenmesi ve Kıyaslanması", Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I, İzmir 1994, s. 191.

³⁴ Ümran Serpen, "Fosil Yakıtsız Yaşamda Jeotermal Enerji", Bilim ve Teknik, sayı: 339., s. 63.

³⁵ Ümran Serpen, yagm., s. 62.

³⁶ Orhan Mertoğlu, "Yenilenebilir Bir Enerji Kaynağı Olarak Jeotermalin Verimliliği ve Çevre İle Olan İlişkisi", Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I, İzmir 1994, s. 140.



DÖRDÜNCÜ BÖLÜM: GÜNEŞ ENERJİSİ

4.1. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi muazzam bir füzyon reaktörü olarak 6000 °C olan yüzey sıcaklığı ile her yönde ışıınım gönderen güneşten kaynaklanır.¹ Her yıl 700×10^{12} MW saat kadar güneş ışıınımı, dünya atmosferine girer. Bu günümüzde kullanılan tüm enerjinin 30.000 katına eşittir.²

4. 2. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Coğrafi olarak 36-42° kuzey enlemleri arasında bulunan Türkiye güneş kuşağı içindedir. Güneş kuşağının bu kısmı, iyi güneş almakla birlikte mevsim değişikliklerine bağlı olarak güneş ışıınımının alt ve üst sınırdı seyrettiği bir bölgedir.³

Meteorolojik verilere göre Türkiye'nin yıllık güneşlenme süresi 2.609* saattir. Temmuz 362 saat maksimum, Aralık 98 saat minimum güneşlenme süreleridir. Güneşlenme süresi yönünden en zengin bölgeler sırasıyla Güney Doğu Anadolu 3.016 saat, Akdeniz 2.923 saat, Ege 2.726 saat, İç Anadolu 2.712 saat, Doğu Anadolu 2.693 saat ve Marmara 2.528 saat bölgeleridir. En düşük değer ise 1.966 saat ile Karadeniz Bölgesi'ndedir.⁴

Türkiye'nin bir yılda aldığı güneş enerjisi 80 milyar TEP kadardır. Bu enerji 111,5 TW'a karşılıktır. Türkiye'de kurulu elektrik santralleri gücünün 5.300 katından fazladır. 1995 yılındaki genel enerji tüketiminin 1.286 katı, bilinen katı fosil rezervinin 32 katı ve bilinen petrol rezervinin 2.200 katıdır. Ülkemizin tüm yüzeyine düşen yıllık toplam güneş enerjisi 3.517 Ej olarak hesaplanmıştır.⁵ Bu değerin % 2,5'ine eşit olan 87,9 Ej/yıl kadarlık enerji, brüt güneş enerjisi potansiyeli olarak hesaplanmaktadır.⁶ Gelişmiş teknolojik imkanlarla uzun dönemde kullanılabilecek teknik potansiyel 1 Ej/yıl düzeyinde olup, 1995'deki genel enerji tüketiminin % 37'sine eşittir.⁷ Ekonomik potansiyel diğer enerjilerle beraber değerlendirildiğinde enerji fiyatı ve maliyeti açısından rekâbet edebilecek düzeyde değildir.

Güneş enerjisi bakımından ülkemiz oldukça önemli bir potansiyele sahiptir. Gerekli yatırımlar yapıldığında birim metre kareden ortalama olarak 1500 kW saatlik güneş enerjisi üretilebilir.⁸

¹ Zekai Şen, "Enerji Meteorolojisi ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları", İTÜ Vakıf Dergisi, Sayı: 18, 1996, s. 25.

² Zekai Şen ,yagm, s. 25.

³ M. Özcan Ültanır, "21. Yüzyılın Eşiğinde Güneş Enerjisi", Bilim ve Teknik, Sayı: 340, s. 51.

* Güneşlenme süresi, 2.500, 2.640 saat olarak da hesaplanmıştır. Bkz.: Zekai Şen, İTÜ Vakıf dergisi, Sayı: 18, s. 26; Türk Millî Enerji Komitesi, 1993 Enerji Raporu, s. 50.

⁴ M. Özcan Ültanır, yagm., s. 51.

⁵ M. Özcan Ültanır, yagm., s. 51.

⁶ M. Özcan Ültanır, yagm., s. 52.

⁷ M. Özcan Ültanır, yagm., s. 52.

⁸ Zekai Şen ,yagm, s. 25.

Tablo 4.1 Türkiye'nin Aylık Güneş Enerjisi Potansiyeli

AY	TOPLAM ENERJİ (kWh/m ²)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (SAAT)
Ocak	54	150
Şubat	62	189
Mart	96	265
Nisan	125	359
Mayıs	155	429
Haziran	169	485
Temmuz	181	503
Ağustos	164	457
Eylül	131	375
Ekim	97	269
Kasım	62	179
Aralık	47	132

Kaynak: Zekai Şen, "Enerji Meteorolojisi ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları" *İTÜ Vakıf Dergisi*, sayı:18, 1996, s. 25.

Tablo 4.2 Güneş Enerjisi Alan Bölgelerin Dağılımı

BÖLGELER	GÜNEŞ IŞINIMINDAN ENERJİ			GÜNEŞLENME SÜRESİ		
	Yıllık Ortalama (kWh/m ²)	En Büyük (Haziran) (kWh/m ²)	En Küçük (Aralık) (kWh/m ²)	Yıllık Ortalama (Saat)	En Büyük (Haziran) (Saat)	En Küçük (Aralık) (Saat)
G.D.Anadolu	1491	1980	729	3015	407	126
Akdeniz	1452	1869	476	2928	360	101
Ege	1406	1863	431	2726	371	96
O. Anadolu	1433	1855	412	2711	381	98
D. Anadolu	1398	1723	420	2693	373	165
Marmara	1144	1529	345	2526	351	87
Karadeniz	1086	1315	409	1966	273	82

Kaynak: Zekai Şen, "Enerji Meteorolojisi ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları", *İTÜ Vakıf Dergisi*, Sayı: 18, 1996, s. 26.

Tablo 4.1 ve Tablo 4.2 incelendiğinde, Türkiye'nin üretebileceği güneş enerjisi ortalama birim metre karede 1100 kWh'tir. Toplam güneşlenme süresi 2500* saattir. Metre kare başına yıllık alınan enerji miktarı ise yaklaşık 1500 kWh/m²'dir.⁹

* Güneşlenme süresi, 2640 saat olarak da hesaplanmıştır. Türk Millî Enerji Komitesi, 1993 Enerji Raporu, s. 50.

4. 3. Güneş Enerjisi Dönüşüm Teknikleri

Güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesinde kullanılabilecek teknikler şunlardır.¹⁰

- 1- Fotoelektrik dönüşümü
- 2- Termoelektrik jeneratörleri
- 3- Fotovoltaik güneş pilleri
- 4- Termodinamik dönüşüm

Fotoelektrik dönüşümde, radyasyon enerjisi iletken metallerin elektronlarını harekete geçirerek elektrik üretir.

Termo-elektrik jeneratörler termokupl uçların ısıtılması ile elektrik üretir.

Fotovoltaik piller, n-tipi ve p-tipi yarı iletkenlerin temas ettirilmesiyle oluşan potansiyel farkından elektrik üretir. Bu dönüşümde, silikon güneş pili (SiO_2) kullanılarak elektrik üretilmektedir. Bu sistem, uzay araçlarında, uydularda, kumanda mekanizmalarını çalıştırmak için kullanılmaktadır. Fotovoltaik pillerden üretilen enerjinin maliyeti klasik enerji maliyetinden yüksektir.¹¹ Maliyeti düşürmek için araştırma/geliştirme çalışmaları sürdürülmektedir.

Günümüzde büyük ölçüde ve daha yüksek verimle elektrik üretmek için kullanılması mümkün görülen sistem Rankine Çevrimi esaslı termodinamik dönüşümdür.¹²

4. 3. 1. Termodinamik Dönüşüm Tekniği ve Enerji Maliyeti

Termodinamik dönüşümle elektrik enerjisi üretiminde Heliostat adı verilen iki eksen etrafında hareketli parabolik aynalar güneş ışınlarını yaklaşık 200 m yüksekliğindeki bir kule üzerinde bulunan bir kazana yönelterek buhar üretir. Bu sistemde klasik bir turbo-jeneratör sistemi çalıştırılır.¹³

Kurulu güç arttıkça birim tesis bedeli düşüş gösteriyor. Bu sistem üzerinde çalışmalar 1970 yılında ABD’de NSFC (National Science Foundation) tarafından başlatılmıştır. İlk önemli uygulama 1980’li yıllarda Fransa’da çalıştırılan 3.5 MW gücündeki deneysel tesistir.¹⁴

⁹ Eralp Özil, “Making of An R and D Program In Solar Energy For A Developing Country”, TÜBİTAK, 1982.

¹⁰ Nejat Aybers— Bahri Şahin; *Enerji Maliyeti*, YTÜ, (İstanbul: 1995).

¹¹ Dünya Enerji Konseyi, Türk Millî Komitesi, *1993 Enerji Raporu*; (Aralık 1994), s. 50.

¹² Nejat Aybers— Bahri Şahin , yage., s. 194.

¹³ Nejat Aybers— Bahri Şahin , yage., s. 196.

¹⁴ Nejat Aybers— Bahri Şahin , yage., s. 197.

4. 4. Güneş Enerjisi Kollektörleri

Elektrik enerjisi tasarrufunda dolaylı katkısı olan güneş kolektörlerinin (düzlemsel) kullanımı ülkemizde oldukça yaygındır. EİE’ce yapılan anket çalışmalarına göre 1994 yılı itibariyle ülkemizde 15 milyon m² düzlemsel güneş kolektörü kullanıldığı ve güneş enerjisi üretiminin 40 bin TEP dolayında olduğu tahmin edilmektedir.¹⁵

Ülkemizde güneş enerjisinin kullanımına yönelik çalışmalar, güneş kolektörleri ile ilgili veri toplama: Tarımsal ürünlerin kurutulmasında, tekstil endüstrisinde, ısıtma işlemlerindeki teknikler üzerine olmuştur.¹⁶

1983 yılında hükümetin aldığı önemli kararlardan bir tanesi enerji sektöründeki ihtiyaçların karşılanması bilimsel ve teknolojik araştırma ve geliştirme çalışmalarının öncelik sırasında ele alınmasıdır.¹⁷ Araştırma ve Geliştirme yapılan konular Linyit teknolojisi, Nükleer enerji, Güneş enerjisi, Biokütle enerjisi, Jeotermal enerji ve Rüzgar enerjisidir.¹⁸

4. 5. Türkiye’de Fotovoltaik Piller İle Yapılan Bazı Deney ve Uygulamalar

Güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren güneş pillerinin, yakın bir gelecekte bir kaç kW güç gerektiren uygulama alanlarında, ekonomik olacağı ve yaygınlaşacağı beklenmektedir.¹⁹ EİE’de 1983’den beri devam eden projede, bir evin ihtiyacını karşılayacak (aydınlatma, buzdolabı, radyo vb.) küçük ölçekli 1.6 kW gücünde güneş pili sistemi, su pompalama sistemi, çeşitli güçteki aydınlatma direklerinin güneş pilleri ile çalıştırılması gibi uygulamalar yapılmıştır.²⁰

EİE idaresi tarafından yapılan deneylerde, su pompası ve trafik lambası sistemi verimi incelenmiş ekonomik maliyet analizi yapılmıştır.²¹ Trafik ikaz lambasının ilk yatırım maliyeti 1246 \$, PV su pompalama sistemin ilk yatırım maliyeti 7588 \$ olarak verilmiştir. Bu maliyetlerle sistemlerin şu anki şartlarda ekonomik olmadığı görülmektedir.

¹⁵ Eralp Özil, "New and Renewable Energy Resources Research and Applications Project", TÜBİTAK 1985, s. 7-8, 39, 40, 45. Ayrıca konuyla ilgili bkz.: Çiğdem Tırıs, "Güneş Enerjisi Kollektörlerinin Bilgisayar Yardımıyla Belirlenmesi", Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I, İzmir 1994, s. 304, "Tarımsal Ürünlerin Kurutulması İçin Geliştirilmiş Küçük Ölçekli Bir Güneşli Kurutma Sistemi", Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I, İzmir 1994, s. 261.

¹⁶ Eralp Özil, yagr., s. 1.

¹⁷ Eralp Özil, yagr., s. 2.

¹⁸ Eralp Özil, yagr., s. 2.

¹⁹ Birsen Alaçakır, "EİE Güneş Pilleri Araştırma-Geliştirme Projeleri Kapsamında Yapılan Çalışmalar", Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I, Ekim 1994, İzmir, s. 274.

²⁰ Birsen Alaçakır, yagm, s. 274.

²¹ Birsen Alaçakır, yagm, s. 284-285.

Fotovoltaik pille yapılan diğer bir deneyde görünür ışık kullanılarak yarı iletken bölme duvarlı elektrokimyasal fotovoltaik hücreli sistemle sudan hidrojen elde edilmesidir.²² Bu yöntemde suyun elektrolizi ile hidrojen elde edilerek, yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak hidrojenin, enerji ihtiyacının çözümünde rolü gösterilmektedir. Benzer bir deneyde de İzmir Çamaltı Tuzlası tuzlu suların elektrolizi yoluyla hidrojen ve brom üretimi ele alınmıştır. Söz konusu deneyde 1 m² yüzey alanı olan bir fotovoltaik pil ile yılda yaklaşık 3.5 kg hidrojen gazı ve 260 kg brom üretilbileceği anlaşılmıştır.²³ Aynı deneyde İzmir’de 1 günde yaklaşık 0.5 kW saat elektrik enerjisi üretilbileceği hesaplanmıştır.

Güneş pilleri ile ilgili olarak EİE’de yapılan bir projede güç kontrol sistemi ve mobil PV sistemi üzerinde çalışılmıştır.²⁴ Söz konusu uygulamada piller, diğer enerji kaynakları ile karşılaştırılmış ve elektrik şebekesinden uzakta ve küçük güçteki ihtiyaçlarda güneş pillerinin ekonomik olduğu görülmüştür.

4. 6. Güneş Enerjisinde Ülkemizde Öngörülen Yatırımlar ve Hedefler

Enerji üretimine yönelik olarak yürütülen fizibilite çalışmaları sırasında ülkemizin güneş enerjisi konusunda mevcut meteorolojik verilerinin yeterli olmadığı tesbit edilmiştir.²⁵ Bu amaçla EİE tarafından, DMI ile işbirliği içerisinde Antalya, İzmir, Ankara, Yenihisar (Aydın) ve Yumurtalık (Adana)’ta birer adet bilgisayar destekli güneş enerjisi gözlem istasyonu tesis edilerek veri toplanmaktadır. 1990 yılında başlatılan bu projede en az beş yıl süre ile veri toplanması planlanmıştır.²⁶

Türkiye’de güneş enerjisi teknolojileri konusunda Ar-Ge ve uygulama çalışmaları paralelinde EİE, TÜBİTAK, Ege Üniversitesi, ODTÜ, Hacettepe Üniversitesi, Çukurova Üniversitesi ve Gazi Üniversitelerinde güneş pilleri, su pompası, elektrik üretimi, aydınlatma, güneş enerjisi ile ürün kurutulması sera-bina ısıtma-soğutma, havalı, parabolik, kendinden depolu ve beton tipi güneş kolektörleri ve güneş havuzları konularında araştırma geliştirme ve demonstrasyon çalışmaları sürdürülmektedir.²⁷

1992 Yılı itibariyle güneş enerjisinden ısıtma uygulamalarıyla 0.39 TWh enerji sağlanmıştır. Bu miktarın genel enerji tüketimindeki payı %0.06 olmuştur.²⁸

²² Metin Altan, "Görünür Işık Kullanılarak Yarı İletken Bölme Duvarlı Elektro Fotovoltaik Hücre ile Sudan Hidrojen Eldesi", *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I*, Ekim 1994, İzmir, s. 319.

²³ Metin Altan, yagm, s. 328.

²⁴ Osman Erişti, "Güneş Pilleri ile Güç Sistemi Tasarımı ve Mobil PV Sistemi", *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I*, Ekim 1994, İzmir, s. 353.

²⁵ Dünya Enerji Konseyi, Türk Millî Komitesi, *1993 Enerji Raporu*, (Ankara: 1994), s. 51.

²⁶ Mesut Yıldız, "Ülkemiz Güneş Enerjisi Potansiyelinin Değerlendirilmesi", *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I*, s. 250.

²⁷ Dünya Enerji Konseyi Türk Millî Komitesi, yagr., s. 51

²⁸ M. Özcan Ültanır, "Türkiye'nin Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Planlaması", *Bütün Yönleri ile 21. Yüzyılda Enerji Sempozyumu*, (İstanbul: Nisan 1994), s. 226.

Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Genel Enerji Özel İhtisas Komisyonu Raporu'nda güneşten çekilecek ısı enerjisi 1995'de 1.22 TWh, 2000'de 3.06 TWh, 2005'de 4.3 TWh ve 2010'da 6.1 TWh olarak planlanmıştır. 1993'de hiçbir özendirme olmadan 0.46 TWh ısıнын düzlemsel güneş kolektörleriyle üretildiği görülmüştür. 1995'de güneş pilleriyle 2.5 GWh elektrik üretimi planlanmıştır.²⁹ Bu amaçla 2.7 MW gücünde güneş pili sistemlerinin kurulması öngörülmüştür. Bu çerçevede 20 milyon dolarlık yatırıma ihtiyaç olduğu belirtilmiştir. 2000 yılının hedefi yine güneş pilleri ile 30.5 GWh elektrik üretmek olup, 46.7 MW gücünde güneş pili sistemlerinin kurulması gerekmektedir. Öngörülen yatırım maliyeti 280 milyon dolardır. Hedefler içinde güneş pili sistemlerinin yanısıra *güneş termik santrallerine* de yer verilmesi gerekmektedir.³⁰

4. 7. Güneş Enerjisi Santrallerinin Konvansiyonel Enerji Üretimi Santralleri İle Karşılaştırılması

Yenilenebilir Enerji olarak adlandırdığımız hidroelektrik, güneş, rüzgar, jeotermik, gelgit, biyokütle gibi enerji kaynakları, bu enerji kaynaklarının kullanılabilir güçleriyle sınırlı bulunmaktadır.³¹

Teknolojik ve ekonomik engeller yüzünden yakın bir gelecekte konvansiyonel enerji kaynaklarından birinin ya da hepsinin yerine ikame edilebilmesi mümkün değildir.³²

Güneş enerjisi santrallerinin konvansiyonel enerji üretim santrallerine oranla:

1- İlk yatırım maliyetlerinin çok yüksek oluşu 1 kW'lık kurulu güç başına (Fotovoltaik dönüşümlü santraller için 16.000-20.000 \$, termik dönüşümlü santraller için 3.000 \$).

1- Üretim düzeyinin arzuya ve talebe göre ayarlanabilir olmaması.

2- Üretimin sürekli olmaması (Dünya'nın belli bölgelerinde, gündüzün belirli saatlerinde, üretim mümkündür).

3- Üretilen elektriğin üretim saatleri dışında kullanılabilmesi için elektriğin depolanması gerekmektedir.

4- Bu boyuttaki bir depolama için gerekli olan teknolojinin henüz güvenilir ve verimli bir düzeyde kullanılmaması.

5- Üretilen elektriğin kWh başına maliyetinin (0.07 \$-0.1 \$) çok yüksek olması.³³

²⁹ M. Özcan Ültanır, yagm., s. 226.

³⁰ M. Özcan Ültanır, yagm., s. 226.

³¹ A. Yüksel Özemre, "Konvansiyonel ve Alternatif Enerji Kaynakları Açısından Dünya'nın Geleceği" , *Bütün Yönleri İle 21. Yüzyılda Enerji Sempozyumu*, (İstanbul: Nisan 1994), s. 427.

³² A. Yüksel Özemre, yagm., s. 428.

³³ A. Yüksel Özemre, yagm., s. 428.



**BEŞİNCİ BÖLÜM:
RÜZGAR ENERJİSİ**

5. 1. Rüzgâr Enerjisi

Rüzgar Enerjisi çevrime uğramış güneş enerjisidir.¹ Dünya yüzeyinin farklı sıcaklıkta oluşu, basınç farklılıklarının oluşumuna neden olur. Yüksek basınç alanından alçak basınç alanına yer değiştiren hava rüzgar olarak adlandırılır.

Rüzgar atmosferde bol ve serbest olarak bulunan, kararlı, güvenilir ve sürekli bir kaynaktır. Doğası gereği kinetik enerji taşımaktadır. Atmosferin rüzgarı oluşturan brüt kinetik gücü 0.101×10^{12} kW kadardır. Dünyanın 50° kuzey ve güney enlemleri arasında rüzgar gücü potansiyelinin 3×10^9 kW kapasitenin kullanılabileceği hesaplanmıştır.²

Rüzgar enerjisinden ekonomik olarak yararlanmak, rüzgarın yön, sıklık ve hızının belirli seviyelerde olmasına bağlıdır.³ Rüzgarın sağlayacağı enerji gücüne ve estiği süreye bağlıdır. Topoğrafik koşullara bağlı olarak, rüzgarın yerden 50 m yükseklikteki özgül gücü, hızı 3.5 m/sn'den küçük iken 50 W/m^2 'den az 11.5 m/s'den büyük iken 1800 W/m^2 'den çok olabilir.⁴

Temiz ve yenilenebilir enerji kaynağı olarak rüzgar enerjisi ülkemiz açısından önemini korumaktadır. Rüzgar enerjisi elektrik enerjisi üretiminde (demonstrasyon amaçlı ,İzmir Çeşme'de 55 kW gücünde bir jeneratör kuruludur) henüz ülkemizde kullanılmamaktadır. 2010 yılına kadar yapılacak üretim tahminlerinde bu enerji çeşidine yer verilmemiştir.

1974-1978 yılları arasında yaşanan petrol bunalımları, alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarının daha etkin şekilde devreye sokulmasında önemli bir unsur oluşturmaktadır. Rüzgar enerjisi ile ilgili çalışmalar da bu dönemde daha ciddi düzeyde ele alınmıştır. Diğer ülkelerde, enerji üretiminde, rüzgar santrallerinin katkısı belli bir ölçektedir. 1995 yılı itibariyle Almanya'nın kurulu rüzgar gücü 932 MW, Danimarka'nın kurulu rüzgar gücü 614 MW'tır. 1996 Ocak ayı verilerine göre Dünyanın kurulu rüzgar gücü 4991 MW'tır. Bunun 1872 MW'ı ABD'de, 2311 MW'ı Avrupa'da, 601 MW'ı Hindistan'da ve 207 MW'ı diğer ülkelere aittir.⁵

¹ M. Özcan Ültanır, "Rüzgâr Enerjisi", *Bilim ve Teknik*, sayı 341, s. 56.

² M. Özcan Ültanır, *yagm*, s. 56.

³ Zekai Şen, "Enerji Meteorolojisi ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları", *İTÜ Vakıf Dergisi*, sayı 18, 1996, s. 26.

⁴ M. Özcan Ültanır, *yagm*, s. 56.

⁵ M. Özcan Ültanır, *yagm*, s. 58.

5. 2. Rüzgar Enerjisinin Kısa Tarihçesi

Rüzgar Enerjisi'nin kullanımı M.Ö. 2800 yıllarında Orta Doğu'da başlamıştır. Mezopotamya'da sulama amacıyla M.Ö. 17. yüzyılda kullanılmıştır. Aynı dönemde Çin'de de kullanıldığı belirtilmektedir. Haçlı Seferleri'nden sonra Fransa ve İngiltere'de 12. yüzyılda yel değirmenleri kullanılmaya başlanmıştır. Avrupa'da Roma İmparatorluğu'nun terk ettiği maden yataklarının işletilmesinde galerilerdeki su boşaltma işleri rüzgar gücüyle yapılmıştır.⁶

Tarımsal ürünleri öğütmek, su pompalamak, hızar çalıştırmak gibi amaçlarla geliştirilen yel değirmenleri Avrupa'da Endüstri Devrimi'ne kadar hızla yayılmıştır. Buhar makinesinin yapılması yel değirmenlerinin önemini azaltmıştır. Bununla beraber rüzgar türbini denilen ve elektrik üretiminde ilk kullanılan makineler 1890'ların başlarında Danimarka'da yapılmıştır. Almanya'da da bu yönde çalışmalar yapıldığı bilinmektedir.⁷

1918 yılında Danimarka'da başlatılan bir çalışma ile, 120 kırsal merkezde elektrik üretimi için 20-35 kW'lık rüzgar türbinleri kullanılmıştır. Rusya'da 1931 yılında 100 kW'lık rüzgar türbini yapılmıştır. 1941 yılında ABD'de kurulan 1250 kW gücündeki rüzgar türbini dönemin en büyük rüzgar kuvvet makinesi olmuştur.

İkinci Dünya Savaşı'nın ardından İngiltere'de başlatılan deneysel çalışmalar sonucunda Enfield'da 100 kW gücünde Andreau makinesi kurulmuştur.⁸ 1947 yılında Danimarka'da başlatılan ve modern yaklaşımlar içeren elektrik üretim amaçlı bir başka çalışmanın son ürünü ise, 1959 yılında işletmeye sokulan 200 kW'lık Gedser türbini olmuştur.⁹ Aynı dönemde Fransa'da yapılan makinelerden Nogent Le Roi'deki rüzgar türbini 300 kW gücündedir. Fransa'da yapılan Avrupa'nın en yetkin rüzgar jeneratörünün rotor çapı 31 m olup 3 kanatlı 800 kW gücündedir.¹⁰

1961 yılında Roma'da Birleşmiş Milletler tarafından düzenlenen *Enerjinin Yeni Kaynakları Konferansı*'nda ele alınan üç kaynaktan biri rüzgar enerjisidir. Çok eskiden beri bilinen rüzgar enerjisi, teknolojik gelişmelerle ele alınıyor yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları arasına sokuluyordu. 1961-1966 yılları arasında Almanya'da rotor çapı 35 m olan 100 kW'lık bir modelin geliştirilmesi üzerinde duruluyordu. Bu dönemde Avusturya, İsviçre ve İtalya'da da teknolojik çalışmalar yapılmıştır.

⁶ M. Özcan Ültanır, "Rüzgâr Enerjisi", *Bilim ve Teknik*, sayı 341, s. 56.

⁷ M. Özcan Ültanır, *yagm.*, s. 57.

⁸ M. Özcan Ültanır, *yagm.*, s. 57; Tanay Sıtkı Uyar, "Türkiye'de Rüzgar Enerjisi Kullanım Seçeneklerinin Belirlenmesi", *TÜBİTAK*, 1986, s. 2.

⁹ M. Özcan Ültanır, *yagm.*, s. 57.; Tanay Sıtkı Uyar, *yagm.*, s. 2.

¹⁰ M. Özcan Ültanır, *yagm.*, s. 57.

Amerika'da 1970'lerde büyük tip yatay eksenli makineler üzerinde yeniden çalışılırken, dikey eksenli Darieus tipi makineler üzerinde de çalışmalar başlatılmıştır.¹¹

Rüzgar enerjisinin gelişimine, 1980'li yıllarda *Uluslararası Enerji Ajansı* eşgüdümünde yürütülen araştırma-geliştirme çalışmalarının büyük etkisi olmuştur.¹² Avrupa'da modern ve çağdaş rüzgar enerjisi çevrim sistemleri (WECS) kurulmaktadır. Ayrıca, rüzgar türbiniyle birlikte dizel motor ve güneş fotovoltaiik jeneratörü içeren rüzgar-dizel-PV hibrid sistemler de geliştirilmiştir.

5. 3. Türkiye'de Rüzgâr Enerjisinin Tarihi

1960-1961 yıllarında Tarım Bakanlığı tarafından yapılan bir anket sonucunda, 718'i kuyudan su çıkarmada ve 41'i elektrik üretiminde kullanılan 749 adet rüzgar kuvvet makinesi bulunduğu belirtilmiştir.¹³ 1973-1978 yılları arasındaki petrol krizinden sonra Tarım Bakanlığı tarafından yapılan kırsal enerji makineleri envanterinde (1978-1979) kullanılıp kullanılmadığına bakılmaksızın, 871 adet su çıkarma ve 23 adet elektrik üretim amaçlı rüzgar türbininin varlığı tesbit edilmiştir.¹⁴

Söz konusu rüzgar makinelerinin güçleri 1 kW'ın altında güce sahip olup yerli olanları ilkel yapıydı.

Türkiye'de rüzgar enerjisi üzerinde yapılan bilimsel çalışmalar 1960'larda Ankara Üniversitesi, 1970'lerde Ege Üniversitesi daha sonraki yıllarda Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nde yapılmış olup 1980'li yıllarda TÜBİTAK-MAM da bünyesinde bazı çalışmalar yapılmıştır.¹⁵ MAM da ilk rüzgar atlası çalışması başlatılmıştır. Gebze-Özbek tepede pompa çalıştırma ve elektrik üretim amaçlı çeşitli rüzgar türbinleri kurularak denenmiştir.¹⁶

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na bağlı Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİEİ), 1981 yılından bu tarafa, rüzgar enerjisi çalışmaları yapmaktadır. 1989 yılında bu kurumda Rüzgar Enerjisi Şube Mürürlüğü oluşturulmuştur.

Türkiye rüzgar enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesi ve tesbit edilmesi amacıyla Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ) tarafından yapılan bilgisayar destekli çalışmaların kullanılabilir sonuçları elde edilmiştir.

¹¹ M. Özcan Ültanır, "Rüzgâr Enerjisi", *Bilim ve Teknik*, sayı 341, s. 57.

¹² M. Özcan Ültanır, yagm., s. 57.

¹³ Zekai Şen, "Enerji Meteorolijisi ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları" *İTÜ Vakıf Dergisi*, 1996, sayı 18, s. 26.

¹⁴ M. Özcan Ültanır, "Rüzgar Enerjisi", *Bilim ve Teknik*, sayı 341, s. 58.

¹⁵ M. Özcan Ültanır, yagm., s. 59; Eralp Özil, "New and Renewable Energy Resources Research and Applications Project", TÜBİTAK, Gebze 1985, s. 11.

¹⁶ M. Özcan Ültanır, yagm., s. 59; Eralp Özil, yagr, s. 11.

5. 4. Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli

Türkiye’nin rüzgar enerjisi potansiyeli tam olarak ortaya konulmamış olsa da yapılan çalışmaların ortak bulgusu, yerden 10 m yükseklikte yıllık ortalama 2.7 m/sn (10 km/h) hız sınırı ile ülkemizin elektrik üretimine elverişli yörelerinin bulunduğu¹⁷

DMİ istasyonlarında yapılmış uzun dönemli ölçümlere dayalı istatistikler, EİE İdaresi tarafından 1984’de tamamlanan “Türkiye Rüzgar Enerjisi Doğal Potansiyeli” çalışmasında değerlendirilmiştir. 10 m yükseklikteki, yıllık ortalama rüzgar hızı ve güç yoğunluğu açısından en yüksek değer 3.29 m/s ve 51.91 W/m² ile Marmara’da saptanmıştır. En düşük değer ise 2.12 m/sn hız ve 13.19 W/m² yağınlığı ile Doğu Anadolu’da bulunmuştur.¹⁸

Bu çalışmaya göre Türkiye’nin %64.5’inde rüzgar enerjisi güç yoğunluğu 20 W/m²’yi aşmazken %16.1’inde 30-40 W/m²’nin ve %0.08’inde de 100 W/m²’nin üzerindedir. EİE İdaresi 1990 yılında “Rüzgar Enerjisi Gözlem İstasyonu” projesini başlatmış ve sırasıyla: Karabiga (Çanakkale), Gökçeada (Çanakkale), Nurdağı (Gaziantep), Bandırma (Balıkesir), Şenköy (Hatay), Göktepe (Muğla), Karaburun (İzmir), Akhisar (Manisa), Zengen (Konya), Elmadağ (Ankara) ve Yenihisar (Aydın) gözlem istasyonlarını tesis etmiştir. Bu onbir özel istasyonda rüzgarla ilgili verilerin toplanmasına devam edilmektedir.¹⁹

Tablo 5.1 Rüzgar Potansiyeli Yüksek Bölgeler

BÖLGE ADI	ORTALAMA RÜZGAR GÜCÜ YOĞUNLUĞU (W/m ²)	ORTALAMA RÜZGAR HIZI (m/sn)
Akdeniz	21.36	2.45
İç Anadolu	20.14	2.46
Ege	23.47	2.65
Karadeniz	21.31	2.38
Doğu Anadolu	13.19	2.12
G. Doğu Anadolu	29.33	2.69
Marmara	51.91	3.29

Kaynak: Türkiye 6.Ulusal Enerji Kongresi, *Tek. Otur. Teb. I*, s.368

¹⁷ M. Özcan Ültanır, yagm, s. 59; Gürkan Ural, “Rüzgar Enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye’deki Durumu”, **Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I**, İzmir 1994, s. 366.

¹⁸ M. Özcan Ültanır, yagm., s. 39

¹⁹ Gürkan Ural, yagm., s. 370.

Tablo 5.2 Rüzgar Potansiyeli Zengin Yöreler

İSTASYON ADI	RÜZGAR GÜCÜ YOĞUNLUĞU (W/m ²)	ORTALAMA RÜZGAR HIZI (m/sn)
Bandırma	152.6	5.1
Antakya	108.9	4.5
Kumköy	82.0	4.1
Mardin	81.4	4.1
Sinop	77.9	4.1
Gökçeada	74.5	4.0
Çorlu	72.3	4.0
Çanakkale	71.2	3.9

Kaynak: Türkiye 6.Ulusal Enerji Kongresi,*Tek. Otur. Teb.I*, s. 370.

Türkiye'nin brüt rüzgar potansiyeli yılda 400 milyar kWh, teknik potansiyelinin ise, 120 milyar kWh olduğu hesaplanmaktadır.²⁰ Kullanım açısından bugünkü hesaplarla güvenilir ve kullanılabilir potansiyel 12.4 milyar kWh/yıl düzeyindedir.²¹

5. 5. Türkiye'de Rüzgâr Enerjisinin Pratik Kullanım Alanları

Ülkemizde rüzgar enerjisinden elektrik üretimi amacıyla Çeşme ve Ankara'da olmak üzere iki adet rüzgar türbini mevcuttur. İzmir-Çeşme-Altinyunus Turistik Tesisleri'nde bulunan, demonstrasyon amacıyla 1985 yılında Danimarka'dan teşvikli olarak ithal edilen yatay eksenli üç kanatlı, 55/11 kW gücünde, "up-wind" türünde olan türbin halen işletilmektedir. Üretilen elektrik enerjisi, turistik tesislerde tüketilmektedir. Diğer bir sistem EİE İdaresi tarafından başlatılan Ar-Ge projesi kapsamında ODTÜ ile 1987 yılında yapılan iş birliği sonucu gerçekleştirilmiş olup 1.1 kW gücündeki düşey eksenli bir sistemdir.²² Ülkemizde ilk kez tesis edilen bu sistemin, jeneratör, kule ve kontrol birimi yerli imkanlarla üretilmiştir.

Bu sistemin türbini SAAB-ERICSSON VA3, Darrieus tipi üç kanatlı düşey eksenlidir. Kanatların uzunluğu ve çapı 3 m olup, rüzgara karşı alanı 9 m² dir. Türbin ağırlığı 500 kg'dır. 8 m/sn hızda nominal güce erişmektedir. Rüzgar hızına göre ürettiği

²⁰ Türkiye 6. Enerji Kongresi, Türkiye Enerji Sektörünün Gelişimi ve Arz Talep Projeksiyonları(1970 - 2010), İzmir 1994, s. 102.

²¹ Türkiye 6. Enerji Kongresi, yagr, s. 102.

²² Türkiye 6. Enerji Kongresi, Türkiye Enerji Sektörünün Gelişimi ve Arz Talep Projeksiyonları(1970 - 2010), İzmir 1994, s. 102.

AC elektriksel değerler 100-300 d/dk, 35-43 V, 23-70 Hz arasındadır. Bu sistem 17 m yükseklikte olup 50 m/sn rüzgar hızına dayanabilecek bir kule üzerine monte edilmiştir.²³

EİEİ rüzgar enerjisinden mekanik enerji olarak faydanılması konusunda da bir proje başlatmıştır. Projenin amacı mevcut teknolojilerin izlenmesi ve bilgi birikiminin sağlanması, bu sistemlerin bakım-onarım ve işletimi konularında deneyim kazanılması yurt içinde imalat ve kullanım imkanlarının araştırılmasıdır. Bu çerçevede ithal edilen rüzgar su pompalanma sistemi, 3 m/sn rüzgar hızında çalışmakta olup 6 kanatlı bir türbin ve maksimum su basma kapasitesi 14.4 m³/gün (7 m/sn), basma yüksekliği 5 m, emme yüksekliği 7 m olan bir emme-basma tulumbadan müteşekkildir. Yenihisar-Aydın EİEİ tesislerinde kurulmuştur.²⁴ TÜBİTAK'a bağlı Marmara Araştırma Merkezinde deney amaçlı bir rüzgar jeneratörü vardır.²⁵

Türkiye'de rüzgar enerjisi elektrik üretim sistemleri sayılacak kadar azdır. Çeşitli atölyelerde klasik rüzgar su pompası ve elektrik üreten sistemler imal edilmektedir. Bu sistemler Ege Bölgesi'nde oldukça yaygındır.²⁶

5. 6. Rüzgar Enerjisi Dönüşüm Teknikleri

Rüzgar Enerjisi Betz Teoremi'ne göre maksimum %59.3 etkinlikte mekanik enerjiye çevrilebilir.²⁷ Çevrim rüzgar türbini denilen makine ile yapılır. Bunun için türbin yüksek bir kule üzerine yerleştirilmiş gövde ve gövdeye bağlı rotordan oluşur. Rüzgarın kinetik enerjisi rotorda mekanik enerjiye çevrilir. Türbinin rüzgara göre yönlendirilmesi rotor eksenini ile rüzgar doğrultusu arasındaki yav açısını kontrol eden yav mekanizmasıyla sağlanır. Yeni teknoloji ile geliştirilenlere WECS (Wind Energy Conversion Systems) denir. Küçük olanlara SWECS denir. Dünya piyasasındaki WECS'ler 150-1500 kW gücünde olup 350-500 kW gücünde olanlar daha yaygındır.

Türbinler rotor konumuna göre yatay ve düşey eksenli olurlar yatay eksenliler; yüksek hızlı, az kanatlı propeller türbinler, difüzörlü türbinler ve tornado türbinler olarak üçe ayrılırlar. Elektrik üretiminde kullanılan türbinler ise Darrieus türbinleridir.²⁸ Elektrik üretim amaçlı modern rüzgar türbinlerinin çoğunluğu yatay eksenli yüksek hızlı ve az kanatlı propeller türbinleridir.

²³ Gürkan Ural, "Rüzgar Enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye'deki Durumu", Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I, İzmir 1994, s. 371.

²⁴ Gürkan Ural, yagm., s. 371, 372.

²⁵ Gürkan Ural, yagm., s. 386.

²⁶ Gürkan Ural, yagm., s. 373.

²⁷ M. Özcan Ültanır, "Rüzgar Enerjisi", Bilim ve Teknik, sayı:341, s. 60.

²⁸ M. Özcan Ültanır, yagm., s. 60.

Türbinler hız özelliğine göre değişken ve sabit hızlı rüzgar türbinleri olarak ikiye ayrılırlar. Değişken hızlı rüzgar türbinleri daha çok kullanılır. Yatay eksenli türbinleri rüzgarın kuleyi yalamadan rotora çarpması durumunda ileri ya da üst rüzgarlı (up-wind), önce kuleye dokunup sonra çarka gelmesi durumunda geri ya da alt rüzgarlı (down-wind) türbin adını alırlar.²⁹

En çok kullanılan propeller türbinlerde rotor, göbekte mile bağlanmış aerodinamik profilli kanatlardan oluşur. Kanatlar çelik bileşenler içeren bir materyalden ve özellikle reçine ya da polyester ile güçlendirilmiş fiberglass bir malzemeden yapılır.

Rotor hızı değişken türbinlerde senkron, sabit olanlarda indüksiyon jeneratörler kullanılır.³⁰ Rotor ile jeneratör arasında hızı yükseletecek dişli kutusu yer alır. Gürültüyü önlemek için rotor, elastomerik salınlı yatak kullanılarak dişli kutusundan izole edilir.

Rüzgar türbinlerinin kuleleri çelik yapı ya da beton olur. Kafes ya da boru biçimli kulelerden rotora çıkılır. Rüzgar türbininin tekne denilen ve rotor dışındaki makine aksamı ile jeneratörü içine alan gövdesi kaynaklı çelikten yapılmaktadır. Titreşimden kaynaklanan gürültüyü azaltmak için teknenin tamamı lastik ızalasyonla kaplanır.

WECS'ler tek türbin olabilecekleri gibi rüzgar çiftliği ya da tarlası olarak tanımlanan çok sayıda türbinden oluşabilirler. SWECS'ler elektrik açısından bağımsız kurulduklarında, gerektiğinde bir başka enerji kaynağı kullanan santralle desteklenerek çalıştırılırlar.

5. 6. 1. Rüzgar Türbinleri (WECS) Uygulamaları

a. Elektrik enerjisi üretmek için: Şebekeden uzak veya sadece küçük bir dizel jeneratörün (<10 kW) bulunduğu bölgelerde, rüzgar türbinlerinden elektrik elde etmek amacıyla kullanılırlar. Köy ve çiftliklerin veya küçük atelyelerin enerji ihtiyaçlarını karşılamada kullanılabilirler.

b. Yakıt tasarrufu sağlamak için: Dizel yakıtla elektrik (<10 kW) elde edilen bölgelerde, bu sisteme elektrik elde etmek üzere rüzgar türbini eklenerek, dizel sistemin çalışma süresini kısaltacak ve yakıt tasarrufu sağlayacaktır.

c. Su pompalama: Elektrik enerjisinden uzak yerlerde rüzgar enerjisi ile su pompalamak, ekonomik olarak kullanıma sokulabilir.

d. Enterkonnekte elektrik sistemini beslemek için: Rüzgar türbinlerinin diğer elektrik üretici santraller gibi enterkonnekte sisteme bağlanarak, elektrik üretimine katkıda bulunmaları sağlanabilir (250-750 kW türbinler).³¹

²⁹ M. Özcan Ültanır, yagm., s. 60.

³⁰ Nejat Aybers— Bahri Şahin, **Enerji Maliyeti**, YTÜ, 1995, s. 200.

³¹ Ferdi Türksoy, "Rüzgar Enerjisi: Dünyadaki Yeri ve Türkiye İçin Önemi", **Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I**, İzmir 1994, s. 434.

5. 7. Rüzgar Enerjisi ve Enerji Maliyeti

Rüzgar Enerjisi elektrik üretiminde türbin olmadan kullanılmayacağı için enerjinin belli bir maliyeti vardır. Amortisman süresi ortalama 20 yıl olarak hesaplanmaktadır.³² Buna göre geriye 19 yıllık net bir üretim zamanı kalmaktadır. Rüzgar çiftliği kurulduktan sonra yapılan harcama sadece işletme ve bakım masraflarıdır. Bu harcamalar da son derece düşüktür.³³

Tablo 5.3 Elektrik Üretiminin Maliyet Karşılaştırması (Cent/kWh)

(1987 Fiyatları)

GÜÇ KAYNAĞI	MİNİMUM	MAKSİMUM	ORTALAMA
Solar Termal Hibrid	6.0	7.8	6.9
Nükleer	5.3	9.3	7.3
Doğal Gaz (Kombine)	4.4	5.0	4.7
Hidrolik	5.2	18.9	12.1
Rüzgar	4.7	7.2	6.0
Kömür	4.5	7.0	5.8
Jeotermal	4.3	6.8	5.6
Biyokütle	4.2	7.9	6.1

Kaynak: Ferdi Türksoy, “Rüzgar Enerjisi: Dünyada’ki Yeri ve Türkiye İçin Önemi”, *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I, İzmir 1994*, s.439.

Burada tablodan da görüleceği gibi rüzgar enerjisi ekonomik olarak diğer enerji üretim sistemiyle yarışabilir düzeydedir. Rüzgar enerjisinin maliyeti teknolojik ve fizibilite çalışmaları sonucunda her geçen gün daha da düşmektedir. 1980 yılında rüzgardan elde edilen 1 kW/h enerjinin maliyeti 30 cent’ken 1987’de bu değer 6 cent’e düşmüştür.³⁴

Avrupa ve dünya piyasasındaki modern rüzgar türbinlerinin fiyatı 1400 \$/kW’a kadar çıkmaktadır. Rüzgar türbininin kullanım alanının genişleyebilmesi için bu fiyatın 1000 \$/kW düzeyinde olması, ekonomik yatırım imkanı sağlayabilmektedir.³⁵

³² Ferdi Türksoy, Rüzgar Enerjisi: Dünyada’ki Yeri ve Türkiye İçin Önemi”, *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I, İzmir 1994*, agm, s. 439.

³³ Ferdi Türksoy, Agm., s. 439.

³⁴ Ferdi Türksoy, Agm., s. 440.

³⁵ Ferdi Türksoy, “Rüzgâr Enerjisi ve Teknolojileri Ar-Ge Projesi Sonuç Raporu”, TÜBİTAK, Aralık 1994, s. 61; M. Özcan Ültanır, Rüzgâr Enerjisi, *Bilim ve Teknik*, sayı:341, s. 61.

Rüzgar enerjisinden üretilen elektriğin maliyeti ABD’de 5 cent/kWh altına ve 3.9 cent/kWh düzeyine düşürülürken Avrupa’da çoğunlukla 0.05-0.065 Ecu/kWh (6.4-8.3 cent/kWh) kadardır.³⁶

Rüzgar türbinlerinde maliyeti önemli ölçüde etkileyen şebeke yük faktörü, oldukça düşüktür. Rüzgar enerjisinden elde edilecek elektrik enerjisi maliyetinin, alternatiflerinden daha düşük olabilmesi için şebeke yük faktörünün %30’un üzerinde olması gerekmektedir.³⁷

Rüzgar enerjisi dışalımını dayanmadığından alışılmış kaynaklardan pahalı da olsa, ulusal ekonomi açısından kazançtır. Ayrıca ülke açısından yeni istihdam alanları açmaktadır.

5. 7. 1. Rüzgâr Türbin Sistemlerinde Maliyeti Etkileyen Faktörler

- Toplam yatırım maliyeti
- Ekonomik parametreler (amortisman, faiz oranları)
- Türbin verimi
- Rüzgar hızı
- Teknik imkanlar
- İşletme ve bakım maliyetleri
- Sistem ömrü
- Arazi maliyeti
- Alt yapı harcamaları
- Kule ve temelin maliyeti
- Rüzgar enerjisine dönüştürme sistemlerinin maliyeti
- Karma sistemler için tamamlayıcı ekipman maliyeti
- Bağlantı ekipman maliyeti
- Depolama sistemi maliyeti
- Nakil ve taşıma maliyeti
- Montaj maliyeti
- Vergiler

Diğer etkili faktörler ayrıca belirlenmelidir. Bunlar:

- Sigorta
- Arazi vergisi
- İşletim ve bakım maliyeti
- Rakip yakıt maliyeti
- Şebeke üretimli elektriğin maliyeti
- Kredi faizi³⁸

³⁶ Ferdi Türksöy, yagm., s. 61; M. Özcan Ültanır, yagm., s. 61.

³⁷ Nejat Aybers— Bahri Şahin, *Enerji Maliyeti*, YTÜ, (İstanbul 1995, s. 205.

³⁸ Gürkan Ural, “Rüzgar Enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye’deki Durumu”, *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I*, İzmir 1994, s. 375-376.

Farklı alternatifler arasından seçim yapılırken konvansiyonel güç üretimlerinin dış maliyeti olan; hava kirliliği, sağlığa zararı, yakıtların askerî amaçla korunması ve petrol artışının temizlenmesi elektrik maliyetlerine dahil edilmektedir. Bunlar dahil edilirse rüzgardan elde edilecek enerji şu anda kullanılan metodlarla üretilen enerjiden daha ucuz olacaktır.³⁹

5. 8. Türkiye’de Rüzgâr Enerjisinden Elektrik Üretimi İçin Yapılan Çalışmalar

Çanakkale-Gökçeada’da DMİ verileri kullanılarak ada rüzgar potansiyeli hesaplamaları yapılmıştır.⁴⁰ Gökçeada’daki dört istasyonda 10 m yükseklikte 1991-1993 döneminde ölçülmüş rüzgar verilerine göre hesaplanan yıllık ortalama rüzgar şiddeti ve enerji potansiyeli sırasıyla şöyledir:

Tablo 5.4 Gökçeada Rüzgar Ölçüm Verileri

YER	RÜZGAR ŞİDDETİ (m/sn)	ENERJİ POTANSİYELİ (W/m ²)
Doruk Tepe	8.9	836
Uğurlu	5.5-6.1	452-483
Gökçeada Meteo. İstasyonu	4.0-4.1	96-97
Çınaraltı	3.9-5.8	177-280

Kaynak: Süleyman Tolun, Türkiye 6. Enerji Kongresi, *Teknik Oturum Tebliğleri I*, İzmir 1994, s.419

Rüzgar Atlası Modeline (WASP) ve 10 m’deki rüzgar hızı gözlemlerine dayalı olarak, rüzgar şiddeti değerleri 30 m, 50 m’ye ekstrapole edilmiştir.⁴¹ Yapılan hesaplamalar sonucu adanın topografik yapısı yerleşim durumu, rüzgar türbinleri vasıtası ile rüzgar enerjisini dönüştürme sistemlerinin tesis edilmesine elverişli olduğu görülmüştür. Halen adaya enerji sağlayan denizaltı enerji nakil hattının bulunması, enerji depolama problemini ortadan kaldırmaktadır. Kurulacak rüzgar enerjisini dönüştürme sistemlerinden elde edilecek elektrik enerjisinin adada kullanılması, fazlasının enterkonnekte şebekeye verilmesi, enerji azlığında şebekeden enerji alınması uygun olacağı belirtilmiş olup konunun ekonomik olup olmadığı ele alınmamıştır.⁴²

³⁹ Gürkan Ural, yagm, s. 380.

⁴⁰ Süleyman Tolun “Gökçeada Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Tahmini ve Bundan Elektrik Enerjisi Üretimi”, Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I, İzmir 1996, s. 418.

⁴¹ Süleyman Tolun “Gökçeada Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Tahmini ve Bundan Elektrik Enerjisi Üretimi”, Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I, İzmir 1996, s. 419.

⁴² Süleyman Tolun, yagm, s. 429.

Gökçeada için kurulması önerilen REDS (Rüzgâr Enerjisi Dönüşüm Sistemi) sisteminin kurulu gücünün 3 MW olması istendiğinde üretilecek olan elektrik enerjisinin, çevresine yakın olan tüketim merkezlerine verilmesi maliyetin düşürülmesi açısından uygun görülüyor.

Söz konusu çalışmada seçilen REDS sisteminin nominal hızı 12.5 m/sn orta güçte 275 kW'lık, göbek yüksekliği 30 m olan üç pervaneli, 28 m rotor çaplı yatay eksenli türbin seçilmiştir.

Alternatörün ve dişli sisteminin veriminin %80 olduğu kabulüyle toplam REDS gücünün $P = 3/0.8 = 3.75$ MW olacağı hesaplanmıştır. REDS'in tam güce 12.9 m/sn rüzgar hızında eriştiği kabulü ile bir türbinden elde edilecek nominal güç $P_{max} = 478$ kW olarak bulunmuştur.

Pervane veriminin %55 olduğu kabulüyle $478 \times 0.55 = 263$ kW'lık bir türbine ihtiyaç olduğu, toplam kurulu güç için ise $n = 3750/263 = 14$ adet türbin kurulması gerektiği hesaplanmıştır.⁴³ Rüzgarın 12.9 m/s'nin, altında olması halinde alternatör veriminin düşmesi nedeniyle gücün düşeceği öngörülmüştür.

Farklı bir çalışmada rüzgar enerjisinin ekonomik analizi için örnek bir uygulama olarak Çanakkale-Bozcaada'da WASP (Wind Atlas Analysis and Application Program) modeli kullanılarak rüzgar atlası elde edilmiştir.⁴⁴ Bu çalışma sonucunda atlas üzerinde işaretlenen uygun yere kurulması düşünülen 250 kW gücünde bir rüzgar türbininin bir yılda vereceği elektrik enerjisi yaklaşık 1 GWh (10^6 kWh/yıl) olarak hesaplanmıştır.⁴⁵ Böyle bir türbin için kurulup ve işletmeye verilmesi dahil, harcanacak toplam para yaklaşık 250.000 \$ (ABD)'dir. 32 m yüksekliğe kurulu olduğu ön görülen 250 kW gücündeki türbinin üreteceği 1 kW/h lik elektrik enerjisinin 0.065 \$/kWh'dan satışından elde edilecek kârın bir yılda 65.000 \$ olacağı hesaplanmıştır.⁴⁶

Bir türbin ömrünün yaklaşık 20 yıl olduğu bilindiğinde 20 yıllık gider ve gelir analizinde, sistemin yaklaşık 3.5 yılda kendini amorti ettiği ve 4. yılın sonunda kâra geçtiği görülmüştür.⁴⁷

Çalışma sonucunda bu rüzgar türbininden elde edilecek elektriğin düzeltilmiş maliyetinin 0.16 \$ (ABD) olacağı hesaplanmıştır.⁴⁸

⁴³ Süleyman Tolun, yagm, s. 431.

⁴⁴ Ferdi Türksoy, "Rüzgar Enerjisi: Dünyada'ki Yeri ve Türkiye İçin Önemi", Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I, İzmir 1994, s. 441.

⁴⁵ Ferdi Türksoy, yagm., s.441.

⁴⁶ Ferdi Türksoy, "Rüzgar Enerjisi: Dünyada'ki Yeri ve Türkiye İçin Önemi", Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I, İzmir 1994, s. 442.

⁴⁷ Ferdi Türksoy, yagm, s. 443.

⁴⁸ Ferdi Türksoy, yagm, s. 443.

5. 9. Türkiye’de Rüzgar Enerjisi Planlanması ve Öngörülen Yatırımlar

Ağustos 1993 tarihli 7. Beş Yıllık Kalkınma Planı Genel Enerji Özel İhtisas Komisyonu Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Grubu Raporu’nda, elektrik üretim amaçlı rüzgar enerjisi kullanımına, 1995 yılında 1 MW’lık örnek bir ünite ile başlanması, rüzgar çiftlikleri ile kurulu gücün 2000 yılında 10 MW’a, 2005 yılında 20 MW’a ve 2010 yılında 50 MW’a yükseltilmesi planlanmıştır. Söz konusu hedefler çok küçük olmakla birlikte, teknolojik gelişimi izleyebilmek açısından düşünülmüştür.⁴⁹ Ancak rüzgar enerjisi plana alınmamıştır.⁵⁰

2010 yılının elektrik üretimi resmî tahmininde rüzgar enerjisi bulunmamaktadır. Yap-İşlet-Devret modeline göre elektrik üretmek isteyen dört firmanın santral kurma girişimleri bulunmaktadır. Bu girişimler birer adet 1.82 MW’lık 18 MW’lık ve 2 adet 50 MW’lık rüzgar çiftliği kurulması amacıyla yapılmaktadır. Belli bir süre içerisinde kurulu gücün 600 MW’a çıkarılması hedeflenmektedir.⁵¹

5. 10. Rüzgar Enerjisi — Çevre İlişkisi

Rüzgar enerjisi geniş kullanım alanları olan çevre dostu bir enerji kaynağı olduğu genel bir kabuldür. Bununla beraber bazı olumsuz etkilerde içermektedir. Konvansiyonel kaynakların enerji üretiminde maliyet yönünden yüksek oluşu ile beraber hava kirliliği, insan sağlığına verilen zarar, yakıt kaynaklarının kullanımına getirilen askerî kısıtlamaların etkisi, kaza ve kullanım sonucunda ortaya çıkan atık vb.’nin temizleme maliyetleri gibi faktörler göz önüne alındığında, rüzgar enerjisi, bu sosyal ve çevresel maliyetler açısından temiz bir enerji kaynağı olma durumundadır.⁵²

Rüzgar enerjisi:

- Yenilenebilir bir enerji kaynağıdır.
- Sera gazı içermemektedir.
- Temiz ve net bir üreticidir.
- Asit yağmuru oluşmasına neden olmaz.
- Fosil yakıtların boşa harcanmasını önler.
- CO₂ emisyonlarını azaltıcı bir sistemdir.
- İyonize radyasyon ve radyoaktif atık içermemektedir.
- Ekonomik bir elektrik üretim sistemidir.⁵³

⁴⁹ M.Özcan Ültanır, “Rüzgâr Enerjisi”, *Bilim ve Teknik*, sayı:341, s. 61.

⁵⁰ M.Özcan Ültanır, *yagm*, s. 61.

⁵¹ M.Özcan Ültanır, *yagm*, s. 61.

⁵² Ferdi Türksoy, “Rüzgar Enerjisi: Dünyada’ki Yeri ve Türkiye İçin Önemi”, *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I*, İzmir 1994, s. 433.

⁵³ Ferdi Türksoy, *yagm*, s. 433.

Çevre Etki Değerlendirmesi (ÇED) adı altında tüm dünyada gittikçe önem kazanan çeşitli sektörlerin çevreye zararlarının belirlenmesi ve önlenmesi yönündeki çalışmalar enerji sektöründe önem kazanmıştır.⁵⁴

Avrupa Topluluğu ülkelerinin toplam elektrik kullanımlarının %1'ini rüzgardan karşılamaları durumunda hava kirliliğini önlemede atık miktarı şöyle olacağı ön görülmektedir.⁵⁵

SO ₂	20.000 Ton
NO _x	40.000 Ton
Curuf ve Kül	1.000.000 Ton
CO ₂	15.000.000 Ton

Bu tasarruf miktarı ile rüzgar enerjisinin global ısınma sürecinin yavaşlamasına katkısı olduğu görülmektedir.

Temiz olmakla birlikte rüzgar enerjisi teknolojisinin çevrede olumsuz değişiklikler yaratması kaçınılmazdır. Türbinlerin görsel ve estetik olumsuzlukları, gürültü yapması, kuş ölümlerini arttırması, haberleşmede parazitler oluşturmaları, 2-3 km'ye kadar radyo ve TV alıcılarına gürültü vermesi ve kaza olasılıkları vardır.⁵⁶

Rüzgar çiftlikleri ile yerleşim birimleri arasındaki uzaklığın 400 m olması gürültüden korunmayı sağlamakta ve bu koşulda taban gürültüye 5 dB kadar gürültü eklenmektedir.⁵⁷ İstatistiklere göre 1000 MW başına yılda zarar verici 3 kaza olabilmektedir.⁵⁸

⁵⁴ İrfan Güney, "Rüzgar Enerjisi Teknolojileri ve Kullanımının Türkiye'deki Gelişimi", **Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I**, Ekim 1994, İzmir, s. 388.

⁵⁵ İrfan Güney, yagm, s.389.

⁵⁶ M. Özcan Ültanır, "Rüzgâr Enerjisi", **Bilim ve Teknik**, sayı:341, s. 61.

⁵⁷ M. Özcan Ültanır, yagm, s. 61.

⁵⁸ M. Özcan Ültanır, yagm, s. 61.



**ALTINCI BÖLÜM:
BİYOKÜTLE ENERJİSİ**

6. 1. Biyokütle Enerjisi

Biyokütle, bir türe ya da çeşitli türlerden oluşan bir topluma ait canlı organizmaların belirli bir zamanda sahip olduğu toplam ağırlık olup, ölçü birimi belirli bir alana oranlanmış yaş veya kuru ağırlıktır. Biyokütle aynı zamanda bir organik karbon olarak da tarif edilebilir.¹

Güneşin dünyaya verdiği enerjinin yaklaşık 1.5×10^{18} kWh/yıl olduğu bilinmektedir. Dünya üzerine gelen bu enerjinin yaklaşık %0.1'i biyokütleyle dönüştürülerek depolanmaktadır. Bu miktar dünyada kullanılan toplam enerjiden 10 kat daha fazladır. Biyokütle yalnız yenilenebilir olması ile değil, her yerde yetiştirilebilmesi, sosyo-ekonomik gelişme sağlaması, çevre korumasına katkısı, elektrik üretimi, kimyasal madde ve özellikle taşıt vasıtaları için yakıt elde edilebilmesi nedeni ile stratejik bir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Güneş enerjisinden fotobiyolojik olay sonucu elde edilen biyokütle, enerjinin depolanması için en iyi yöntem olarak kabul edilmektedir.

Günümüzde biyokütlenin dünya enerji tüketimi içindeki payı %15'dir. Bu oran gelişmekte olan ülkelerde ise %43'dür. Güneş enerjisinin metre kareye düşen enerji miktarı, ılıman ve yarı tropikal bölgeler için yaklaşık 100-150 W ve 250-300W olarak verilmekte ve buna bağlı olarak da bu bölgeler için ortalama fotosentez verimi %0.5-1.3 ve %0.5-2.5 arasında değişmektedir.² Dünya nüfusunun %80'inin 35° kuzey ve 35° güney enlemleri arasında yaşadığı göz önüne alınırsa fotobiyolojik faydalanma sonucu elde edilecek biyokütle enerji potansiyelinin büyüklüğü ve önemi açıkça görülmektedir.

Üçüncü petrol krizi öncesinde de ticarî anlamda yaygın olarak değerlendirilen biyokütle enerjisi, gerek hayvansal ve bitkisel atıklar, gerekse şehir çöpleri bağlamında, söz konusu süreçte de elektrik enerjisi eldesi amacıyla yaygın olarak değerlendirmeye devam edilmiştir.³

¹ Engin Türe, "Alternatif Enerji Kaynağı: Biyokütle", TÜBİTAK, s.1

² Engin Türe, yağm, s. 1

³ Gülnur Şenocak, "Üçüncü Petrol Krizi Sürecinde Dünya'da ve Türkiye'de Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Enerjisi Üretimine Yönelik Gelişmeler", Bütün Yönleriyle 21. Yüzyılda Enerji Sempozyumu, İstanbul 1994, s. 214.

Tipik bir örnek olarak, Kanada’da yakıtı ağaç yongaları/doğalgaz karışı olan 105 MW gücünde bir bileşik ısı-güç santrali kurulmuştur. Brezilya’da şeker kamışı atıklarının değerlendirilerek birkaç milyon nüfuslu bir şehrin elektrik enerjisinin karşılanabileceği ve yakıt giderinden %30 civarında tasarruf edilebileceği hesaplanmıştır.⁴ Pakistan, Tayland, Kuala Lumpur, Singapur, Malezya, Sri Lanka, Filipinler ve Tayvan güney ülkeleri olup buralarda mevcut çöp santralleri söz konusu süreçte genişletilmiştir. Kuzey ülkesi olan Hollanda’nın başkenti Amsterdam’da yakma kapasitesini 3.000 ton/gün, nominal gücü 2x45 MW bir çöp santralının tesisine başlanmıştır.⁵

6. 2. Türkiye’nin Mevcut Biyokütle Potansiyeli

Biyokütle kaynaklar denilince akla ilk gelen ana unsurlar odun, hayvan ve bitki artıklarıdır. Ülkemizde uzun yıllardan beri özellikle ısıtma, yemek pişirme vb. alanlarda etkin bir şekilde tüketilmektedir. Bugüne kadar çeşitli raporlarda ticarî olmayan kaynaklar diye adlandırılan bu kaynakların, piyasalarda alım ve satımı yapıldığından, orijinleri olan biyokütle grubu içerisinde yer alması ve isimlendirilmesi uygun bulunmuştur.

Ülkemizde ormanlarımız, resmî üretimin yanı sıra, hemen hemen resmî üretime yakın miktarda kaçak kesim yapılması nedeniyle büyük oranda tahrip edilmektedir. Odunun yakıt olarak tüketilmesi yalnız çevresel bozulmalara neden olmamakta aynı zamanda önemli bir sanayi maddesi yakılarak tüketilmektedir. Bu durumun önlenmesi için son yıllarda üzerinde durulan çözümlerden biri “Enerji Ormanları”dır. Enerji amaçlı yakacak odun üretimi ile ilgili yapılan envanter çalışmalarına göre, ülkemizde 4 milyon hektar bozuk, 1 milyon hektar verimli olmak üzere 5 milyon hektar enerji ormanı alanı mevcuttur.⁶

⁴ Gülnur Şenocak, yagm, s. 214.

⁵ Gülnur Şenocak, yagm, s. 214.

⁶ Dünya Enerji Konseyi , 1993 Enerji Raporu , s.47.

Tablo 6.1 Geçmiş Yıllarda Tezek-Bitki Artıkları Üretim ve Tüketimi
(Bin Ton)

YILLAR	TEZEK	BİTKİ ARTIKLARI	TOPLAM
1970	8338	865	9253
1971	8382	934	9316
1972	8533	981	9314
1973	8793	1014	9807
1974	9098	990	10088
1975	9456	1039	10495
1976	9900	1102	11002
1977	10214	1062	11276
1978	10665	1086	11751
1979	11157	1101	12258
1980	11639	1200	12839
1981	11582	1107	12689
1982	11470	1137	12607
1983	11424	1324	12748
1984	10682	1296	11978
1985	9608	1431	11039
1986	9672	1727	11399
1987	9264	1978	11242
1988	9251	2114	11365
1989	9069	2148	11217
1990	8880	2200	11080
1991	8705	2295	11000
1992	8608	2314	10922
1993	8470	2372	10842

Kaynak: Türkiye 6. Enerji Kongresi, Ekim 1994 İzmir, *Enerji İstatikleri*, s.183.

Tablo 6.2 Yakacak Odun Üretim ve Tüketimi
(Bin Ton)

YILLAR	RESMÎ ÜRETİM	KAÇAK ÜRETİM	TOPLAM
1970	6752	6064	12816
1971	6904	9285	12189
1972	7715	5788	13503
1973	8126	5721	13847
1974	7859	6641	14500
1975	8064	6498	14562
1976	8781	5953	14734
1977	8269	6720	14989
1978	7709	7539	15248
1979	8166	7340	15506
1980	8941	6824	15765
1981	8225	7798	16023
1982	8298	8462	16760
1983	8086	9000	17086
1984	7949	9307	17256
1985	8641	8727	17368
1986	8776	8794	15770
1987	8912	8781	17693
1988	9047	8664	17711
1989	9178	8637	17815
1990	9412	8458	17870
1991	9696	8274	17970
1992	10083	7988	18071
1993	10224	7949	18173

Kaynak: Türkiye 6. Enerji Kongresi, Ekim 1994, İzmir, *Enerji İstatistikleri*, s.184.

Tablo 6.3 Ülkemizde Odun Üretimi (Bin Ton)

YILLAR	RESMÎ KESİM*	KAÇAK KESİM	TOPLAM ÜRETİM
1994	12354	5918	18272
1995	14490	3884	18374
1996	17123	1468	18591
1997	18811	-	18811
1998	19034	-	19034
1999	19259	-	19259
2000	19487	-	19487
2005	19627	-	19627
2010	19767	-	19767

Kaynak: Türkiye 6. Enerji Kongresi, Ekim 1994, İzmir *Arz Talep Projeksiyonları (1970-2010)*, s. 119.

* Enerji ormanlarından elde edilecek üretim dahildir.

Tablo 6.4 Tezek ve Bitki Artıkları Üretimi (Bin Ton)

YILLAR	TEZEK	BİTKİ ARTIKLARI	TOPLAM
1994	8269	2493	10763
1995	8187	2494	10682
1996	7966	2553	10519
1997	7740	2613	10353
1998	7507	2678	10185
1999	7267	2746	10013
2000	7019	2820	9839
2005	6098	2947	9045
2010	5264	2996	8260

Kaynak: Türkiye 6 Enerji kongresi; Ekim 1994, İzmir, *Arz Talep Projeksiyonları (1970-2010)*, s. 119.

Tablolar incelendiğinde gelecek yıllarda tezek ve bitki üretim-tüketim gelişimi açısından hayvan gübresinin yakacak olarak tüketiminin, halkın ekonomik ve sosyal yaşam düzeylerindeki gelişme ile düşeceği ön görülmektedir.

Hayvan gübresinin kurutulması ile elde edilen tezek, fındık, ceviz, prina, ayçiçeği kabukları, çığıt, mısır koçanı gibi bitkilerin artıkları da yine termal amaçlarla büyük oranda kullanıma girmektedir. 1993 yılı sonu itibariyle 8.5 milyon ton tezek ile 2.4 milyon ton bitki artığı ısınma amacıyla konut sektöründe tüketilmiştir.⁷

Kıymetli bir tarım girdisi olan hayvan güberisinin yakılarak yok edilmesi yerine biyogaz tesislerinde gaz üretiminde değerlendirilmesi ve kalan zengin atık maddenin tekrar toprağa gübre olarak verilmesi, dünya ülkelerinde giderek yaygınlaşmaktadır. Halen ülkemiz için ticarî anlamda gelişmemiş olan biyogaz üretimi ile ilgili pilot çaptaki çalışmalar sürdürülmektedir.⁸ Ülkemizdeki biyogaz üretimi potansiyeli 2.8-3.9 milyar m³; 1.4—2 milyon TEP/yıl olarak hesaplanmıştır.⁹

6. 2. 1. Biyokütle Olarak Ayçiçek Küspesi

Ülkemizde biyokütle kaynaklarının büyük bir potansiyele sahip olduğu bilinmektedir. Kuru tarımsal atıklar, yaş tarımsal atıklardan elde edilebilecek enerjinin 17.2 megaton petrole eş değer olduğu hesaplanmıştır.¹⁰

Ülkemizde büyük bir potansiyele sahip olan ancak yeterli düzeyde verimli bir şekilde değerlendirilemeyen ayçiçek pres küspesi, biyokütle enerji kaynağı adayı olarak önem arz etmektedir. Yağ bitkilerinden olan ayçiçeği üretiminin %71'i Trakya-Marmara, %10.5'i Ege, %3.5'i Karadeniz ve %15'i diğer bölgelerde yapılmaktadır.¹¹ Yapılan araştırmalarda, ayçiçek küspesinden elde edilen sıvı, iyileştirme işlemleri sonucunda kalorifik değeri yüksek olup petrol türevi sıvı yakıtlar için bir alternatif oluşturmaktadır. Elde edilen sıvının kalorifik değeri yaklaşık 9000 kcal/kg'dir.¹² Özelden elektrik enerjisi üretimine yönelik olmayan bu araştırma sonuçları genel enerji arzına dönüktür.

⁷ Türkiye 6. Enerji Kongresi, Türkiye Enerji Sektörünün Gelişimi ve Arz Talep Projeksiyonları (1970-2010), s. 103.

⁸ Türkiye 6. Enerji Kongresi, yagr., s. 103.

⁹ Türkiye 6. Enerji Kongresi, yagr., s. 103.

¹⁰ Sait Yorgun, "Statik Retord'da Ayçiçek Pres Küspesinin Pirolyzi", Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I, s. 476.

¹¹ Sait Yorgun, yagm, s. 476.

¹² Sait Yorgun, yagm, s. 484.

6. 3. Türkiye’de Biyokütle Enerjisinden Elektrik Üretimi İçin Yapılan Çalışmalar

Biyokütleyle dayalı elektrik enerjisi elde etme yönünde Türkiye’de 1977-1988 yılları arasında TEK Genel Müdürlüğü tarafından yatırım programlarında 10 yıl süreyle yer alan İstanbul, Ankara, İzmir çöp santrali etüd-fizibilite çalışması 1988 yılında bilinmeyen nedenlerle yatırım programından tümüyle çıkartılmıştır.¹³

Biyokütleyle dayalı çöp santralleri konusunda Türkiye’de yapılan kayda değer ilk ve tek çalışma 1990-1991 tarihleri arasında 250 milyon TL. toplam bedelle Çukurova Üniversitesi’nde yapılan “Katı Atıkların Dönüşüm Mekanizmaları” konulu teknolojik araştırma sonucu Yap-İşlet-Devret modeli ile sözleşmesi imzalanan Adana Çöp Santrali’dır.¹⁴

Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Genel İhtisas Komisyonu Raporu’na göre biyokütle enerji konusunda, ticarî olmayan odun ve tezeğe dayalı geleneksel biyokütle yerine alçak ve yüksek modern biyokütle tekniklerinden yararlanılması istenerek hedefler gösterilmiştir. Buna göre: 1995’de 4.28 TWh, 2000’de 24.4 TWh, 2005’de 27.5 TWh, 2010’da 30.6 TWh modern biyokütle enerjisi üretimi hedeflenmiştir.¹⁵ Hazırlanan plana göre 2010 yılında güneş, rüzgar ve jeotermal enerji kaynaklarından üretilecek enerji, toplam talebin %3.9’udur. Modern biyokütle enerjisi ile birlikte bu oran %5.2’ye çıkmaktadır.

Biyokütle enerji üzerine 1980’li yıllarda Türkiye’nin alternatif ve yenilenebilir enerji kaynakları projeleri geliştirme çalışmaları kapsamında çeşitli üniversite ve kamu kurumları araştırmalar yapmışlardır.¹⁶ Bu çalışmalar daha ziyade ülkemizin enerji üretimi ve tüketimi arasındaki denge durumunu ortaya çıkarmak amacına matuf olup enerji politikalarına yön vermeyi öngörmektedir. Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarından olan hidroçü, jeotermal enerji dışında diğerkaynakların pratikte, elektrik üretimine dikkate değerkatkıları henüz mevcut değildir. Rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretmede sadece Çeşme-İzmir’de demonstrasyon amacıyla kurulmuş bir rüzgar jeneratörü vardır.

Teknolojik ve malî imkanlar çerçevesinde olaya bakıldığında, yerli teknolojimizin yeterli düzeyde olmaması, söz konusu kaynakların genel enerji talebini karşılamada dikkate değerkatkılarının olmayışı nedeniyle, somut projelerin geliştirilmesinde gözardı edilmektedirler¹⁷ Gelişmekte olan ülkelerin enerji geleceğı iki ana faktöre bağlıdır. Enerjinin üretim maliyeti ve enerji kaynaklarının fiyatları ile ülkenin genel sosyo-ekonomik karakteri ve teknolojik alt yapısı etkileşimli olarak ülkenin enerji geleceğini belirleyecektir.¹⁸

¹³ Sait Yorgun, yagm, s. 214.

¹⁴ Sait Yorgun, yagm, s. 215.

¹⁵ M. Özcan Ültanır, “Türkiye’nin Yeni ve Yenilebilir Enerji Kaynakları Planlaması”,Tüm Yönleriyle 21. Yüzyılda Enerji Sempozyumu, Nisan 1994, İstanbul, s. 227.

¹⁶ Eralp Özil—Mahir Arıkol, “An Overview of Renewable Energy R and D In Turkey”, TÜBİTAK, s. 11.

¹⁷ Gülseren Kızıltan—Dilek Kaptanoğlu, “Gelişmekte Olan Ülkelerde Enerji Modellemesi”, TÜBİTAK, Ekim 1983, s. 17

¹⁸ Gülseren Kızıltan—Dilek Kaptanoğlu, yagr, s. 17.

6. 4. Enerji Bitkileri

Yenilenebilir enerji kaynakları arayışı çerçevesinde güneş enerjisi ile ilgili olarak geliştirilen projeler: Fotoelektrik, Fotobiyokimsal, Biyokütle'dir. Özellikle 1973 enerji krizinden sonra biyokütleden enerji eldesi bu araştırmaların temelini oluşturmuştur. Yeryüzünde 150-170 milyar ton/yıl kuru madde üretilmektedir.¹⁹

Biyokütleden yararlanarak enerji üretiminin arttırımı genellikle materyalin ıslahı ve seçimi ile mümkündür. Bununla ilgili olarak günümüzde CO₂ ve H₂O'yu daha iyi özümlemeleri nedeniyle Enerji (C₄) Bitkileri üzerinde çalışmalar yapılmaktadır.²⁰ Fosil kökenli enerji kaynaklarının tükenebilir olması göz önüne alınırsa bu tür bitkilerden enerji sağlamak yerinde bir karardır.

Enerji Bitkileri genellikle çok sıcak ve bazıları kurak bölge kökenli bitkilerdir. Yapılan gözlem ve deneylerde söz konusu bitkiler kapalı bir bölmede gün ışığından asimilasyon yaptırılırsa, bölme havasındaki CO₂ miktarı 10 ppm'e düşene kadar CO₂ asimile ettikleri görülmüştür.²¹

Başlıca Enerji bitkileri şu şekilde sıralanmaktadır:

- a. Şeker kamışı
- b. Mısır
- c. Sorgum
- d. Sudan otu
- e. Su kamışı
- f. Saz kamışı
- g. *Simmondsia chinensis*
- h. *Amaranthus retroflexus*
- i. Ayçiçeği
- j. Şalgam
- k. Kolza
- l. *Portulaca oleracea*
- m. *Euphorbiasps*
- n. *Agave americana*
- o. *Opuntia ficus-indica*
- p. Sweet-Sorghum

¹⁹ A. Şemi Aksoy, "Biomastan Enerji Eldesinde Yeni Bir Enerji Bitkisi", Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I, Ekim 1994, İzmir, s. 445.

²⁰ A. Şemi Aksoy, yagm.s. 446.

²¹ A. Şemi Aksoy, yagm., s. 446.

Yukarıda sayılanların yanında son yıllarda Almanya, Danimarka ve İsviçre’de üzerinde çalışmaların sürdüğü diğer bir enerji bitkisi ise Miscanthus Sinensis bitkisidir.²²

Bu bitkinin yayılma merkezi Güney Doğu Asya ve eski Sovyetler Birliği’dir. Ülkemizde doğal florada bulunmaktadır ve üretimi söz konusu değildir. Ancak ilk defa 1993 yılında Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü tarafından üretim deneme çalışmalarına başlanmıştır. Yapılan Araştırmalar neticesinde mısır yetiştirilen toprağa uyum sağladığı görülmüştür. Söz konusu enerji bitkisinden 15-20 yıl yararlanma imkanı bulunmaktadır. Miscanthus bitkisi hasat yapıldığında depolanma sorunu ortaya çıkmaktadır. Briketleme/pelletme pahalı bir yöntem olup silolanması noktasında Almanya’da çalışmalar yapılmıştır.²³

Biyokütleden enerji elde edilmesinde bir başka enerji bitkisi de tatlı sorghum (Sweet-Sorghum)’dur. Bu bitkinin 113 türü vardır.²⁴ Bu bitkiler mevsim kuraklığına dayanıklıdır. Söz konusu bitkiler, son yıllarda farklı endüstri dallarında kullanımından dolayı, endüstri ülkelerinin dikkatini çekmişlerdir. Bunlardan elde edilen enerji ürünleri ise, etanol, pirolitik yağ, sentetik gaz, selülozik maddelerdir. Biyokütle ve türevi yakıtlardan enerji temininde en ümit verici bir uygulama şekli de elektrik üretmektir. Biyokütlenin yakılması sonucu elde edilen elektrik enerjisinin maliyeti, sorghum ekiminden alınacak yüksek verim ile büyük miktarda azaltılabilir.

İtalya (ENEL)’de yapılan ilk denemelerde, biyokütleden elde edilen prolitik yağ veya odun kömürü-su karışımı yakıt kullanılan termal güç istasyonlarında kükürt oranı %0.01’den daha düşük ve enerji yoğunluğu, biyokütle parçalarından 4 kat daha fazla bulunmuştur.²⁵

Tatlı Sorghum mısır yetiştirilen alanlarda ekilebileceği gibi düşük kaliteli topraklarda da yetişebilmektedir. Bu bitki şeker içermekte olup bir dekar alandan yaklaşık 500 kg şeker üretilebilmektedir. Tatlı Sorghum’dan fermantaosyon yolu ile etanol elde edilmektedir. Yılda hektar başına 6-9 ton petrol eşdeğeri yakıt eldesi mümkündür.²⁶ Bu bitkinin Türkiye’nin iklim şartlarında yetiştirilmesi, dışa bağımlı olmadan yerel imkanlarla, çevreyi kirletmeden ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır.

²² A. Şemi Aksoy, “Biomastan Enerji Eldesinde Yeni Bir Enerji Bitkisi”, Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I, Ekim 1994, İzmir, s. 446.

²³ A. Şemi Aksoy, yagm, s. 448.

²⁴ Engin Türe, “Alternatif Enerji Kaynağı: Biyokütle”, TÜBİTAK, s. 2.

²⁵ Engin Türe, yagm, s. 2.

²⁶ Engin Türe, yagm, s. 3.

6. 4. 1. Biyokütle Enerjisinin Maliyeti

Tatlı Sorghum'un posası çıkarıldıktan sonra bu madde enerji temininde ve endüstri alanında kullanılabilir. Bu posanın kalori değeri 3800-4300 kcal/kg'dır. Doğrudan seramik gaz türbinlerinde %40 gibi yüksek dönüşüm verimi ile yakılarak elektrik üretmek mümkündür.²⁷ Biyokütlenin günümüz şartlarında ithal doğal gaz, fuel-oil, kömür ve yerli linyitlerimizden daha ucuza geldiği görülmektedir.

Tablo 6.5 Sanayide Kullanılan Yakıt Fiyatlarının Tatlı Sorghum İle Karşılaştırılması

YAKIT	BİRİM FİYAT	ALT ISIL DEĞER	\$/100 kcal
Kuru Tatlı Sorghum	0.030 \$/kg	4000 kcal/kg	0.0075
Doğal Gaz	0.099-0.113 \$/m ³	8250 kcal/m ³	0.0120
Fuel-Oil	0.097 \$/kg	8250 kcal/m ³	0.0137
Linyit	0.040 \$/kg	9200 kcal/kg	0.0105
İthal Kömür	0.110 \$/kg	3000 kcal/kg	0.0133
Elektrik	0.065-0.075 \$/kWh	6000 kcal/kg	0.0183

Kaynak: Engin Türe, "Alternatif Enerji Kaynağı: Biyokütle", *TÜBİTAK*, s. 4.

Enerji bitkisi olan *Miscanthus*un yakılmasından elde edilecek enerji için çevreye zarar vermeyen yöntemlerle enerji üretimi dikkate alınmalıdır. Ekonomik olarak incelendiğinde, yanıcı materyalin fiyatı yanında, materyalin ısı değeri, formu, yakma tesisi masrafı ve buna ek olarak enerjinin bir yerden bir yere iletilmesi gibi faktörler etkin olmaktadır. *Miscanthus*'tan direkt olarak yararlanma çevrenin ısıtılması şeklindedir. Biokütleden enerji santrallerinde yararlanma taşıma ve depolama için masraflar büyük olduğundan ekonomik değildir.²⁸

²⁷ Engin Türe, "Alternatif Enerji Kaynağı: Biyokütle", *TÜBİTAK*, s. 4.

²⁸ Şemi Aksoy, "Biomastan Enerji Eldesinde Yeni Bir Enerji Bitkisi", *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I*, Ekim 1994, İzmir, s. 454.

6. 4. 2. Enerji Bitkilerinden Üretilecek Elektriğin Maliyeti Ne Kadardır?

Biyokütleden üretilebilecek elektriğin ülke koşullarında yakma yolu ile elektrik enerjisi üretimi; teorik olarak yapılan fizibilite çalışmalarında 1 MW (7000 Saat/yıl) kapasiteli bir santral baz alındığında kuru tatlı sorghum için birim maliyetinin en çok 7 cent/kWh olduğu görülmüştür.²⁹ Yine yapılan çalışmada elektrik enerjisi birim maliyetinin yakın gelecekte tatlı sorghum için en düşük olacağı ve bu maliyetin sırasıyla doğal gaz, linyit ve ithal kömür kullanımına doğru gidildikçe 10-12 cent/kWh'a kadar artacağı saptanmıştır. Bugün sanayi tesislerinin kullandığı elektrik enerjisi birim fiyatı 6.5-7.5 cent/kWh olup söz konusu bitki, düşük kapasiteli tesislere göre rekabet edecek durumda olduğu görülecektir.

Ülkemizdeki bozuk orman alanlarının 50.000 km²'ye ulaştığı ve bunların yaklaşık %20'sinin verimli arazi olduğu göz önüne alınırsa 1 MW (7x10⁶ kWh/yıl) düzeyinde üretim için 1-1.5 km² tatlı Sorghum ekim alanı gerekmektedir.³⁰

6. 5. Biyokütle Enerjisi — Çevre İlişkisi

Biyokütle ve bunlardan türetilen yakıtların uygun şartlarda yakılması ile havaya atılan duman içerisinde çok az miktarda SO₂ ve NO_x bulunmakta olup bitkinin CO₂ dengesi sıfıra yakındır.³¹ Bitkiler yetiştirme süreçlerinde atmosferden CO₂ alıp oksijen vermektedir. Yakıldığı zaman ise daha önce almış olduğu CO₂'i havaya geri vermektedir. Enerji bitkilerinin hasatı sırasında toprak altında kalan bitki kökleri, yakılma işlemine tabi olmadığı için atmosferden alınan CO₂'nin %6-8 kadarlık miktarı geri verilmemektedir. Bu nedenle biyokütle enerjisi kullanarak atmosferdeki CO₂ miktarının giderek azalması ve günümüzde önemli bir çevre problemlerinden biri olarak kabul edilen sera etkisini (global warming) önlemek mümkündür.

Biyokütle kömürden daha reaktif olup, son derece az miktarda kül ve ancak %0.01 oranlarında kükürt içermektedir. Biyokütle yakan sistemler SO₂ arıtması gerektirmez.³²

²⁹ Engin Türe, "Alternatif Enerji Kaynağı: Biyokütle", TÜBİTAK, s. 5.

³⁰ Engin Türe, yagm, s. 5.

³¹ Semra Türe—Sibel Özdoğan, "Biyokütleden Enerji Üretimi", Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I, İzmir 1994, s. 486

³² Semra Türe—Sibel Özdoğan, yagm, s. 492.



YEDİNCİ BÖLÜM: BİYOĞAZ ENERJİSİ

7. 1. Biyogaz Enerjisi

Evsel ve endüstriyel atıkların bünyesinde barındırdığı gazlardan, uygun koşullar yoluyla ayrıştırılarak elde edilen enerji değeri yüksek gazlara genel olarak biyogaz diyoruz.

Ülkemizde 1980'li yıllarda alternatif enerji arayışları içinde gündeme gelen biyogaz, yaygın olmamak üzere bazı bölgelerimizde tezekten elde edilerek evsel kullanıma yönelik uygulamalarla gündeme girmiştir. Tezeğin fermantasyonu sonucu elde edilen biyogaz ufak çapta olsa yemek pişirmede kullanılmıştır.

Halen ülkemiz için ticarî anlamda gelişmemiş olan biyogaz üretimi ile ilgili pilot çalışmalar sürdürülmektedir. Ülkemiz biyogaz potansiyeli 2.8—3.9 milyar m³; 1.4—2 milyon TEP/yıl olarak hesaplanmıştır.¹

Genel enerji istatistiklerinde Türkiye'nin enerji üretimi ve tüketimi verilerinde biyogaz kullanımı henüz bir veri olarak yer almış değildir.²

Ülkemiz Beş Yıllık Kalkınma Planları'ndan 7. Beş Yıllık Kalkınma Planı'nda elektrik enerjisi üretimine yönelik yenilenebilir enerji kaynakları verileri ve hedefleri arasında 1999 yılında İstanbul'da 4x25 MW, Ankara'da 2x20 MW'lık kurulu güçlerde çöp santrallerinin kurulması öngörülmektedir.³ Bu santrallerin kombine santral olacağı ve çöplerin yakılması ile beraber çöplüklerden elde edilecek biyogazını da enerji üretiminde rol alacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

Ülkemizde 28 Nisan 1993'de Ümraniye'de patlayan çöplük, yetkili kurumların çevre sorunlarıyla beraber konunun diğer boyutlarının da ele alınmasını kaçınılmaz kılmıştır. Çöplerin depolandığı alanlarda biriken metan gazı kontrol altına alınmadığı takdirde ani patlamalara yol açabilmekte ayrıca atmosfere zarar ile birlikte ozon tabakasına etki edebilmektedir.⁴

Çöp depolanan yerlerde biyolojik diye tanımlanan çöpler büyük bir çoğunluk işgal etmektedir. Kimyasal yapısında karbonhidrat, yağ, protein, selüloz, hemiselüloz, lignin ve aromatik, alifatik hidrokarbonların bulunduğu çöpler ülkemiz iklim koşullarında özellikle kıyı kentlerimizde kolay ayrışabilmektedir.⁵

¹ Türkiye 6. Enerji Kongresi, Türkiye Enerji Sektörünün Gelişimi ve Arz Talep Projeksiyonları, (1970-2010), s. 103

² M. Özcan Ültanır, "Türkiye'nin Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Planlaması", Bütün Yönleriyle 21. Yüzyılda Enerji Sempozyumu, İstanbul, 1994, s. 226.

³ Gülnur Şenocak, "Üçüncü Petrol Krizi Sürecinde Dünyada ve Türkiye'de Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Enerjisi Üretimine Yönelik Gelişmeler", Bütün Yönleriyle 21. Yüzyılda Enerji Sempozyumu, İstanbul, 1994, s. 218

⁴ Ertuğrul Erdin, "Çöplüklerde Deponigazı Bilançosu", Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I, İzmir, 1994, s. 434.

⁵ Ertuğrul Erdin, yagm, s. 434.

Uzun ve orta vadeli olanlar da 40 yıl boyunca ayrışmaya devam etmektedir. Gerek çöpler, gerekse evsel atıksu arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurları, eğer önceden stabilize edilmemiş ve biyokimyasal aktiviteleri durdurulmamışsa, çöplüklerde anaerobik koşullarda, bakteriler tarafından ayrıştırılarak metan gazına dönüştürülecektir.

Metan doğal olarak doğada bir çok yerde ve şekilde oluşmaktadır. Dünyadaki sera etkisinin oluşmasında en az karbondioksit ve su buharı kadar tehlikelidir. Bu nedenle metan gazı kontrol altına alınmalı ve oluştuğu kaynaktan zararsızlaştırılmalı ve mümkünse de değerlendirilmelidir.⁶

7. 2. Çöp Depolama Alanlarında Oluşan Biyogaz

Sıkıştırılmalı olan, gevşek olmayan deponilerde anaerobik koşullar olduğundan biyokimyasal parçalanma sonucu olarak metan gazı oluşmaktadır. Son yıllarda petrol fiyatlarının yükselmesi ve deponilerden kontrolsüz olarak atmosfere geçen metan gazlarının hava kirliliğine, sera etkisine neden olması ve ozon tabakasına etkisi nedeni ile çöp depolama yerlerindeki bu gazlardan, enerji elde etme ve zararsızlaştırma yönündeki çalışmalar artmıştır.⁷

Almanya'da eski bir çöp depolama sahasında (Braunschweig'de) oluşan gazların (CH₄) enerjisinden yararlanmak için bir proje yapılmıştır.⁸ Bu sahada oluşan gazları toplayacak şekilde sondaj boruları çakılıp, gazlar toplanmış, arıtılmış ve gaz jeneratöründen elde edilen elektrik, atıksu arıtma tesislerinin enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılmaktadır.⁹

Türkiye'de İstanbul, Ankara, İzmir, Bursa vd. kentlerde eski çöp depolama yerlerindeki biyogaz potansiyelinin belirlenmesi için çalışmaların yapılması gerekmektedir. Son zamanlarda yerel yönetimlerce yapılması planlanan biyogaz zararsızlaştırma çalışmalarına şahit olmaktadır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Başkanlığı 1997 yılı yatırım programında, "Kartal-Yakacık Vahşi Çöp Depolama Alanı Islah Projesi" çerçevesinde, günde 1000 m³ deponi gazı yakma kapasitesi olan 5000 MW'lık bir biyogaz çevrim santrali inşa edecektir.¹⁰ Söz konusu santral, çöp depolama sahasında, elektrik ihtiyacının karşılanmasında belli bir katkı sağlayacaktır. Genel enerji talebinin yanında bu durumun pek bir kıymeti olmamakla beraber enerji tasarrufuna az da olsa bir katkı sağlaacağı açıktır.

⁶ Ertuğrul Erdin, "Çöplüklerde Deponigazı Bilançosu", Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I, İzmir, 1994, s. 495.

⁷ Ertuğrul Erdin, yagm, s. 497.

⁸ Ertuğrul Erdin, yagm, s. 497.

⁹ Ertuğrul Erdin, yagm, s. 497

¹⁰ İstanbul Bülteni, sayı:73,Haziran 1997.

7. 3. Biyogazın (Çöplükte) Enerji Değeri

Depogazının bir metreküpünün ısı değeri, gazın bileşimine bağlı olarak değişmektedir. Bu değer ise: 18-27 Mj/Nm³ arasındadır.

Tablo 7.1 Nm³/kg Organik Kuru Madde İle İçindeki Metan Oranına Bağlı Olarak Beklenebilecek Isıl Değeri

CH ₄ ORANI	GAZDAN YARARLANMA (Nm ³ /kg)				
%	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
50	3.6	7.2	10.8	14.4	18.0 Mj/Nm ³
60	4.3	8.6	13.0	17.3	21.6 Mj/Nm ³
70	5.0	10.1	15.1	20.2	25.2 Mj/Nm ³
75	5.4	10.8	16.2	21.6	27.0 Mj/Nm ³

Kaynak: Ertuğrul Erdin, Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I, İzmir, 1994, s. 499.

1 Nm³ biyogazda metan oranı %50 olduğu zaman 18.0, %75 metan bulunduğu zaman ise 27 Mj enerji elde edilebilmektedir.¹¹

Tablo 7.2 Organik Kuru Madde Başına Biyogaz Miktarı

ORGANİK MADDE TÜRÜ	BİYOGAZ ELDESİ (Nm ³ /kg)	CH ₄ İÇERİĞİ (%)	ENERJİSİ (Mj/kg)
Karbonhidrat	0.8	50	14.4
Protein	0.7	70	17.6
Yağlar	1.2	67	28.9

Kaynak: Ertuğrul Erdin, Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I, İzmir, 1994,s. 500.

Tablo 7.3 Yılda 10⁶t/a Çöp Oluşan Bir Kentte Beklenen Enerji Miktarı

ORGANİK ATIKLAR	TOPLAM OKM* MİKTARI 10 ⁶ t/a	YARARLANILACAK MİKTAR 10 ⁶ t/a	GAZ ÜRETİMİ Nm ³ /kg OKM (METAN %'Sİ)	ENERJİSİ Nm ³ (Mj)	ISIL DEĞERİ ÖZGÜL ISI (Mj/kg OKM)
Evsel Katı Atıklar	9	2	0.25 (%65)	0.5x10 ⁹ (7.7x10 ⁹)	5.9 (6-8.5)

Kaynak: Ertuğrul Erdin, Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I, İzmir 1994, s. 501.

* Organik Kuru Madde.

¹¹ Ertuğrul Erdin, "Çöplüklerde Deponigazı Bilançosu", Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I, İzmir, 1994, s. 499.

* OKM: Organik Kuru Madde.

Türkiye’de evsel çöplerden makul bir miktarda biyogaz elde edilecek olursa bunun bir yıllık eş değeri petrol üzerinden $(7.7 \times 10^9 \text{ Mj/yıl}) \div (40.000 \text{ Mj/Ton}) = 2 \times 10^5 \text{ ton/yıl} \times \text{Fuel-Oil yakıtının TL değeri}$ kadardır.¹²

Türkiye’de insanın ürettiği deponigazı 600 milyon $\text{m}^3 \text{ CH}_4/\text{yıl}$ olarak kabul edilebilir. Bu miktar büyük kentlerde $25\text{-}30 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{Nüfus. yıl}$, Orta büyüklükte $20\text{-}25 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{Nüfus. yıl}$, küçük kentlerde $15\text{-}20 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{Nüfus. yıl}$ olarak kabul edilebilir. Türkiye geneli için emniyetli sahada kişi başına metan gazı üretimi $10 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{Nüfus. yıl}$ alınabilir. Türkiye’de deponi metan gazı 600 milyon $\text{m}^3 \text{ CH}_4/\text{yıl}$ olarak kabul edildiğinde bunun \$ olarak enerji eş değeri; 384 milyon \$/yıldır.¹³

Tablo 7.4 Çeşitli Kaynakların Enerji Maliyet Karşılaştırılması

ENERJİ KAYNAĞI	MASRAFI (DM/kWh)
Elektrik Enerjisi	0.10-0.25
Fuel Oil	0.65 (DM/ m^3)
Doğal Gaz	0.40÷0.70
Biyogaz	0.65-1.80

Kaynak: Ertuğrul Erdin, **Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I**, İzmir 1994, s. 503.

1 kg CH_4 1.18 kg Fuel Oil

1 $\text{m}^3 \text{ CH}_4$ 1 lt Fuel Oil olarak kabul edildiğinde 100.000 kişilik bir kentte teorik metan üretimi $7.500 \text{ m}^3/\text{gün}$; geri kazanım (%40) $3.000 \text{ m}^3/\text{gün}$; Fuel Oil eş değeri: 3.000 lt/gün olarak hesaplanabilir.¹⁴

7. 4. Anaerobik Stabilizasyon Havuzlarından Metan Gazı Üretimi

Atıksu stabilizasyon havuzları, yıllık güneşlenme oranı yüksek olan ülkelerde, evsel ve endüstriyel atıksuların arıtımında, ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin düşük olması nedeniyle başarıyla kullanılmaktadır.¹⁵

Atıksuyun bünyesindeki organik maddeler anaerobik (oksijensiz) ortamlarda ayrıştırılarak; metan, karbondioksit vb. gazlar açığa çıkmaktadır. Üstü açık olan

¹² Ertuğrul Erdin, "Çöplüklerde Deponigazı Bilançosu", Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I, İzmir, 1994, s. 501.

¹³ Ertuğrul Erdin, yagm., s. 503.

¹⁴ Hikmet Toprak, "Alternatif Enerji Kaynağı Olarak: Anaerobik Stabilizasyon Havuzlarından Kaynaklanan Metan Gazı", Türkiye 6. Enerji Kongresi, Tek. Otur. Teb.-I, İzmir 1994, s. 537

¹⁵ Hikmet Toprak, "Alternatif Enerji Kaynağı Olarak: Anaerobik Stabilizasyon Havuzlarından Kaynaklanan Metan Gazı", Türkiye 6. Enerji Kongresi, Tek. Otur. Teb.-I, İzmir 1994, s. 537

anaerobik stabilizasyon havuzlarının üzeri plastik örtülerle kapatılarak oluşan biyogaz, toplanabilir ve içerisindeki metan gazı enerji kaynağı olarak kullanılabilir.¹⁶

Metanın enerji eşdeğeri 9.94 kWh/m³ olup bu değer doğal gazın enerji değerine (10.36 kWh/m³) oldukça yakın olduğu görülmektedir. Metan gazı uygun işlemlerden sonra yakılarak, küçük yerleşim birimlerinin enerji ihtiyacının karşılanması mümkündür. Kapsamlı bir enerji üretiminin bu yöntemle yapılması reel şartlara uygun değildir. Yerel imkanların kullanılarak enerji kaynakları ithalatında ancak cüzi oranda tasarrufun yapılması mümkündür.

Türkiye'nin 1995 yılı itibariyle elektrik enerjisi üretimi 84521 GWh/yıl, ülke nüfusunun yaklaşık 63 milyon olduğu göz önüne alınırsa, birim kişi başına enerji tüketimi 1051 kWh/kişi'dir.¹⁷ Türkiye'de üretilen elektrik enerjisinin yaklaşık %40'ı konutlarda tüketilmektedir.

Dokuz Eylül Üniversitesi öğretim üyelerinden Yrd. Doç. Dr. Hikmet Toprak'ın yaptığı araştırmalar sonucu Almanya'da bulunan Sesimbra artıksu arıtma tesislerinden elde edilen metan gazından elde edilecek elektrik enerjisinin enerji içeriği 818.46 kWh/gün olarak hesaplanmıştır. Bu verilerden hareket eden öğretim üyesi 374 kişinin enerji ihtiyacını karşılayabilecek bir enerji çevrim sisteminin mümkün olduğunu göstermektedir.¹⁸

Söz konusu inceleme ve araştırmadan hareketle küçük yerleşim birimlerinin enerji gereksinimlerinin karşılanabilir oluşu, nüfusu binlerle ifade edilen kentler için biyogaz enerjisinin yetersiz olduğunu göstermektedir.

7. 5. Biyogaz Enerjisi — Çevre İlişkisi

Dünyamızın hızla kirlendiği, global ısınmanın giderek arttığı bilinen bir gerçektir. Endüstri toplumlarında ortaya çıkan bu olgu dünya uluslarının da ortak sorunu olmaktadır. Üretilen, katı ve sıvı atık maddelerin uygun şartlarda rehabilite edilmesi ve bu işlemlerden geri dönüşüm yolu ile enerji ve hammadde tasarrufu, sosyal bir sorumluluktur. Bu nedenle başta çöpün oluşturduğu zararının ortadan kaldırılması yetkili kurumların görevidir. Oluşan zararlı gazların uygun koşullarda meşalelendirme yapılarak yakılması ve filtrasyona tabi tutulması, sera etkisini ve ozon tabakasının tahrifatını azaltacaktır.

Dönüşüm sistemlerinin ilk yatırım masraflarının fizibil olup olmadığı araştırılmalıdır. Biyogaz enerjisinden elektrik enerjisi üretimi henüz teorik çalışmalar düzeyindedir. Önümüzdeki yıllarda bu yönde yapılacak somut projelerin var oluşu güzel bir gelişmedir.

¹⁶ Hikmet Toprak, yagm, s 537.

¹⁷ Teknik Eleman Dergisi, Temmuz 1996, TEAŞ APK-366, 1995 yılı değerleri, s. 20.

¹⁸ Hikmet Toprak, yagm, s. 544.



SEKİZİNCİ BÖLÜM

DALGA ENERJİSİ

8. 1. Dalga Enerjisi

Dalga enerjisi, denizlerde, rüzgâr, gelgit, deprem vb. etkilerle oluşan su hareketliliğinin taşıdığı dönüştürebilir enerjidir. Bir dalganın enerjisi, su parçacıklarının çembersel dönüşünden kaynaklanan hız enerjisi ile, parçacıkların denge konumundan ayrıldıkları potansiyel enerjilerinin toplamından oluşur.¹

Bir dalganın birim uzunluğundaki bir kesintinin toplam enerjisi, dalga yüksekliğinin karesiyle doğru orantılıdır. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda, dalgalardan elde edilecek enerjide, seçilecek bölgelerin dalga yüksekliklerinin tesbiti önem arz etmektedir.

Denizlerdeki faydalanılabilir dalga enerjisi farklı iki formda kendisini gösterir. Birincisi güneş ve ayın çekimi ile oluşan gelgit enerjisidir. Diğeri ise rüzgarların etkisi ile oluşan dalga enerjisidir. Her iki enerji, yenilenebilir enerji kaynakları olmakla beraber enerji elde etmede geliştirilen sistemleri birbirlerinden farklıdır.²

8.2. Türkiye’de Dalga Enerjisi Potansiyeli

Okyanusa kıyısı olmayan ülkemiz için, gelgit enerjisi söz konusu değildir. Üç tarafı denizlerle çevrili olan ülkemiz önemli bir dalga enerjisi potansiyeline sahiptir. Teorik olarak ülkemiz için Deniz Kuvvetleri Komutanlığı’nın 1984 yılındaki verileri kullanılarak E. Taşdemiroğlu tarafından hesaplanan brüt potansiyel 28 GW olarak hesaplanmıştır.³ Dalga enerjisinin teknik potansiyeli de 0.18 EJ/yıl (50 TWh/yıl) olarak hesaplanmaktadır.⁴

Ülkemiz kıyı uzunluğunun 6831 km’lik bölümünden 2600 km’sinin kullanılabilir olduğu öngörüldüğünde; toplam 245 Milyar kWh’lik bir dalga enerjisi potansiyeli olduğu hesaplanmıştır. Batı Akdeniz kıyıları metre-kıyı uzunluğu başına 129 MWh/yıl değerle en yüksek enerji potansiyeline sahip olduğu hesaplanmıştır.⁵

¹ Demir İnan, “Denizlerdeki Enerji”, *Bilim ve Teknik*, TÜBİTAK, Haziran 1996, sayı: 343, s. 73.

² Murat Ergin, “Dalga Enerjisinden Faydalanma”, *Bütün Yönleriyle 21. YY.’da Enerji Sempozyumu*, Nisan 1994, İstanbul, s. 399.

³ Murat Ergin, yagm, s. 399.

⁴ M. Özcan Ültanır, M. Özcan Ültanır, “Türkiye’nin Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Planlaması”, *Bütün Yönleriyle 21. Yüzyılda Enerji Sempozyumu*, İstanbul, 1994, s. 225.

⁵ Murat Ergin, yagm, s. 399.

Ülkemiz açısından teorik düzeyde ele alınan deniz-dalga enerjisi kullanımı, pratik olarak şu an için uygulaması olmayan, fakat enerji projeksiyonlarında söz konusu edilen bir alandır. 7. Beş Yıllık Kalkınma Plânı Genel Enerji Özel İhtisas Komisyonu Raporu'nda söz konusu enerji için herhangi bir hedef belirtilmemiştir.⁶ Adı geçen raporda dalga enerjisi konvertörleriyle oluşturulacak santrallerin fizibilite çalışmalarının ele alınması istenmiştir.

8.3. Deniz ve Okyanus Dalgaları

Denizlerden enerji elde etme genelde üç yolla olmaktadır. Bunlar:

1. Deniz ve okyanus dalgalarından,
2. Deniz ve okyanus akıntılarından,
3. Okyanuslardaki düşey sıcaklık farkındandır.

Denizlerdeki dalgalar temelde üç etki sonucu oluşmaktadır.⁷

1. Denizlerde oluşan depremlerin ve deniz dibi çökmelerinin yol açtığı dalgalar,
2. Rüzgarların ve fırtınaların oluşturduğu dalgalar,
3. Gelgit nedeniyle oluşan dalgalar.

8. 3. 1. Deprem Dalgaları

Denizlerde oluşan deprem ve çöktüntülerin oluşturduğu dalgalar uzun periyodlu olup, derin okyanuslarda hızla yol alırlar. Bunların genlikleri derin okyanuslarda düşüktür. Kıyıya ulaştıklarında hızları azalır ancak, dalgadaki enerji aynı kaldığı için dalga yüksekliği artar. Bu dalgalardan enerji elde etme imkanı bugün için yoktur.⁸

8. 3. 2. Rüzgarların Oluşturduğu Dalgalar

Enerji elde etmede üzerinde durulan dalgalar rüzgarların oluşturduğu dalgalardır. Derin sulardaki dalgalar çok büyük enerji yoğunluğuna sahiptir. Dalgadaki güç, dalga genliğinin karesiyle ve dalga periyodu ile doğru orantılıdır.⁹ Uzun periyodlu büyük genlikte bir dalganın, birim genişliğindeki enerji akışı 50-70 kW dolaylarında olabilmektedir. Bu nedenle özellikle, Japonya, İngiltere, A.B.D. ve Norveç'te yapılagelen geniş kapsamlı çalışmalar sayesinde, birkaç kW'tan birkaç yüz MW'a kadar güç üretimi ekonomik olarak gerçekleştirebilen sistemler kullanır durumdadır.¹⁰

⁶ M. Özcan Ültanır, yagm, s. 226.

⁷ Demir İnan, "Denizlerdeki Enerji", *Bilim ve Teknik*, TÜBİTAK, Haziran 1996, sayı: 343, s. 73.

⁸ Demir İnan, yagm, s. 73.

⁹ Demir İnan, yagm, s. 73.

¹⁰ Murat Ergin, "Dalga Enerjisinden Faydalanma", *Bütün Yönleriyle 21. YY.'da Enerji Sempozyumu*, Nisan 1994, İstanbul, s. 399.

8. 3. 3. Rüzgarla Dalga Oluşumu

Deniz yüzeyi üzerinde bulunan hava, rüzgâr etkisi ile belli bir yönde yol almaya başladığında deniz yüzeyinde bir sürtünme kuvveti meydana getirir. Bu kuvvet ile deniz yüzeyindeki su molekülleri, denge konumlarından ayrılma eğilimine girerler. Böylece deniz yüzeyi kıpraşır. Bu şekilde oluşan dalgalara “Kılcal Dalgalar” denir.¹¹

Kılcal dalgalar oluşuktan sonra rüzgâr esmeye devam ederse daha büyük dalgalar oluşmaya başlar. Dalga oluşumu; dengeden ayrılma ve dengeye dönme devinimi olarak sinüsoidal bir hareket modeli üretir.¹²

Dalga oluşumunda, rüzgâr hızı, esme süresi ve bunlara bağlı değişimler ile denizlerdeki engeller önemli faktörlerdir. Buna bağlı olarak denizlerde farklı büyüklükteki dalgalardan oluşmuş “dalga tarlaları” ortaya çıkar.

8. 4. Gelgit Dalgaları

Gelgit dalgaları, hem oluşum nedeni hem de özellikleri açısından farklıdır. Gelgit olayı, dünya, ay ve güneş arasındaki etkileşimden kaynaklanan periyodik bir döngüdür.

Bugün yeterli düzeyde yararlanılamayan bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Enerji gereksiniminin konvansiyonel kaynaklardan giderek bağımsızlaştığı süreçte bu enerji kaynağından daha çok yararlanılacağı açıktır. Söz konusu enerji türünün ülkemiz için dikkate değer bir yönü yoktur. Okyanusa kıyısı olan ülkelerin bu enerjiyi verimli bir şekilde kullanmak amacıyla elektrik üretim tesisleri kurmuşlardır. Fransa’nın kuzey batısında Rance Irmağı ağzında kurulan 10 MW’lık La Rance Gelgit Santrali (1966’dan beri yılda 550×10^6 kWh elektrik üretmektedir) kuruludur. ABD’de Kislanya Körfezi’nde 1970’ler de kurulan 400 kW’lık santral de elektrik üretmektedir.¹³ Teknik ve ekonomik açıdan gelgitten elektrik enerjisi elde etmede ortalama su yüksekliğinin 5 m ve daha yüksek olması gerekmektedir.¹⁴

8. 5. Deniz Akıntıları

Akıntıları oluşturan etkenler; rüzgârlar, tuzluluk oranı, sıcaklık farklılıklarıdır. Ülkemiz açısından bakıldığında, boğazlardaki tuzluluk farkından kaynaklanan akıntı dikkate değerdir. Bu akıntıdan enerji elde etmek için yıllar önce tasarımlar yapılmış ancak, bu tasarımlar gerçekleştirilememiştir.¹⁵

¹¹ Demir İnan, “Denizlerdeki Enerji”, *Bilim ve Teknik*, TÜBİTAK, Haziran 1996, sayı: 343, s. 73.

¹² Demir İnan yagm., s. 73.

¹³ Demir İnan, yagm., s. 76-77.

¹⁴ Demir İnan, yagm., s. 77.

¹⁵ Demir İnan, yagm., s. 77.

8. 6. Dalga Enerjisinden Yararlanma İmkanları

Dalga gücünden yararlanmak, dalgalardaki büyük enerji potansiyelini üretime katmaktır. Bu amaçla çeşitli düzenekler tasarlanmıştır.

Stephen Salter'in (İskoçya) "ördek"leri adıyla anılan sistem ile İskoçya'nın batı kıyısı açıklarında 100 MW'lık bir elektrik üretim düzeneği tasarlanmıştır.¹⁶

Başka bir tasarım türü de denizde yapılacak ve altında bir delik bulunan kulelerdir. Bu kulelerin içine giren dalgalar kule içinde düşey bir hava akımı oluşturacaklar ve bu hava akımıyla çalışan türbin aracılığıyla elektrik enerjisi elde edilebilecektir. Bu yöntemle çalışan sistemler Japonya'da ve İrlanda'da satılmaktadır. Norveç'te 500 kW'lık güç santralı elektrik ağına bağlanan ve dalgadan elektrik üreten ilk santraldir.¹⁷

Dalga enerjisinden yararlanmada tasarlanan bir başka sistemde, setler oluşturarak, dalgaların bu setleri aşarak, suyun setin öbür tarafına depolanması düşünülmüş; suların yeniden dışarı akıtılırken bir türbini çevirmesi ile elektrik enerjisi üretimi tasarlanmıştır.¹⁸



¹⁶ Demir İnan, "Denizlerdeki Enerji", *Bilim ve Teknik*, TÜBİTAK, Haziran 1996, sayı: 343, s. 74.

¹⁷ Demir İnan, *yagm.*, s. 74.

¹⁸ Demir İnan, *yagm.*, s. 74.



DOKUZUNCU BÖLÜM: SONUÇ

9.1. Hidrolik Enerji

Türkiye Avrupa'da Norveç'ten sonra en fazla yıllık hidroelektrik enerji üretimi potansiyeline sahiptir. Avrupa ülkelerinin hidroelektrik potansiyelinin %16'sı ülkemizdedir.¹ Ülkemizde inşası devam eden santraller bittiğinde 11.775.7 MW kurulu güçle 41.768 GWh'lık enerji üretmek mümkün olacaktır. Türkiye'nin 2010 yılında ihtiyacı olacağı hesaplanan toplam 63 486 MW güç ve buna karşılık 363 545 MWh enerjinin 35 309.2 MW kurulu güçle 124 568 MWh'lık kısmını hidrolik enerjiden karşılamak mümkündür.

Yenilenebilir enerji kaynağı olarak hidrolik enerji ülkemizde yaygın bir kullanıma sahip olup elektrik enerjisi üretiminde termik kurulu güçten sonra ikinci büyük enerji kaynağıdır. Çevreye etkisi en az düzeyde olup işletme ve bakım maliyetleri düşüktür. En önemlisi ulusal bir kaynaktır. Güvenilir bir enerji arzı sağlamaktadır. 20 952 MW kurulu güç içinde 9933 MW ile %47'lik bir paya sahiptir. 1995 yılı sonu itibariyle tesis birim yatırım maliyeti 1200 \$/kW dır. Doğalgaz 680 \$/kW, linyit santralleri 1600 \$/kW, ithal kömür santralleri 1450 \$/kW, nükleer santraller 2700 \$/kW'dir. Görüleceği üzere hidroelektrik santralden sadece doğalgaz santrali ucuzdur. Yatırım maliyeti ucuz olarak görünse de ithal doğalgazın 1 kWh enerji fiyatı 110 \$ dır.² Bu durum hidroelektrik santrallerin önemini arttırmaktadır. HES'lerin ekonomik ömrü 40-50 yıldır. Buna karşılık kömür yakıtlı santraller ile kombine çevrimli gaz santrallerin ekonomik ömürleri 25 yıldır.

Türkiye'de hidrolik potansiyelin %2.23 kadarı küçük HES'lerdir. DSİ tarafından yapılan etüdlerde ülkemizde 3948 MW toplam güçte küçük HES bulunduğu bunlardan 13.9 Milyar kWh/yıl kadar enerji elde edilebileceği hesaplanmıştır. Yakıt masrafı olmadığına göre enerji maliyetini işletme ve bakım masrafları belirler. Güç azaldıkça birim tesis bedeli artmaktadır. Küçük HES'lerde 0.1 - 10 MW arası güçte birim tesis bedeli aşağıda gösterilmiştir.

500 kW	2000	\$/kW
200 kW	3100	\$/kW
100 kW	4000	\$/kW
50 kW	5000	\$/kW

¹ I. Hakkı Altun, "Türkiye'nin Hidrolik Enerji Potansiyeli ve Durumu", Türkiye Enerji Sempozyumu, EMO, Aralık 1996 Ankara, s.13.

² I. Hakkı Altun, yagm., s.13.

HES'ler nükleer santraller gibi sermaye yoğun santrallerdir. HES'lerin yatırım masrafı büyük ölçüde su toplama havzasının büyüklüğüne, inşaatın tipine bağlı olarak 1000 - 1500 \$/kW arasında olmaktadır. İşletme ve bakım masrafları ülkeden ülkeye değişmekte olup 10 \$/kW yıl gibi ortalama bir değere sahiptir.³ Bütün enerji üretim maliyetleri karşılaştırıldığında hidrolik enerjinin maliyeti diğer enerji kaynaklarının üretim maliyetlerinden %50 daha ucuzdur. Temiz ve ucuz enerji kaynağı olması, öncelikli olarak bu enerjiden optimum şekilde yararlanmayı gerekli kılmaktadır.

9.2. Jeotermal Enerji

Türkiye'de jeotermal kaynaklı 4500 MW elektrik ve 3100 MW ısı enerjisi bulunmaktadır. jeotermal kaynaklarımızın 2000 yılında değerlendirilmesi ile toplam 1.020.000 ton petrol eşdeğeri enerji üretilecek dolayısıyla döviz tasarrufu sağlanacaktır. bu değer %85'i istmadan %15'i de elektrik enerjisi üretiminden gelecektir. Türkiye'de imalatı olmayan, jeotermal santraller ve merkezi ısıtma sistemlerinde kullanılacak makine ve cihazların ithalatı, işletme ve yatırımı için 5 yılda 200 milyon \$ gerekmektedir. Bu değer petrol ikamesi 1 milyar \$ tutmaktadır. Bunu takip eden 5 yılda ise 10 milyon \$ ithalata karşın 1 milyar \$ petrol ikamesi olacaktır. Türkiye'de 2000 yılında ısı üretimi 2520 MW, elektrik üretimi 125 MW, 2100 yılındaki ısı üretimi 6500 MW ve elektrik üretimi ise 258 MW olarak tahmin edilmektedir. Jeotermal kaynaklardan elektrik enerjisi üretimi ve ısıtmanın maliyeti ucuzdur. Çevreye olan zararı kontrol altına alındığında çevre dostu bir kaynaktır. Bu kaynakların kullanılması ülkemiz açısından önemli ölçüde ekonomik ve sosyal katkı sağlayacaktır. Jeotermal elektrik santrallerinde toplam maliyetin yaklaşık %70'ini santral kurma, %30'unu ise sondaj maliyeti oluşturmaktadır.⁴

Yapılan etüdlere göre 75 MW gücündeki jeotermal kaynaklı bir santralin birim tesis bedelinin 2053 \$/kW olarak hesaplanmıştır. Jeotermal enerjinin birim maliyeti 4 \$/kWh'tir. Bunda en büyük etken jeotermal enerjide işletme giderlerinin çok düşük olması ve enerjinin yenilenebilir olmasıdır. Bu değer dünya ölçeğinde sunulan birim maliyettir. Bununla beraber jeotermal kaynak geliştirme maliyetleri çok karmaşık ve değişken faktörlere bağlı olduğu için bu konuda tahmin yapmak güç görünmektedir.⁵

Jeotermal kuyularda kazının maliyeti petrol kuyularına göre %40 ile %100 arasında değişmektedir. Jeotermal sistemlerin işletme ve bakım maliyetleri, genelde toplam maliyetin küçük bir bölümünü oluşturmaktadır. Jeotermal akışkanın klorürler gibi aşındırıcı silika karbonatlar gibi çökelme eğilimi taşıyan bileşenler içermesi veya çözünemeyen CO₂ ve H₂S gibi gazlar içermesi maliyetleri büyük ölçüde artırmaktadır.

³ Nejat Aybers-Bahri Şahin, "Enerji Maliyeti", YTÜ, İstanbul 1995, s.187

⁴ Orhan Mertoğlu, "Jeotermalin Geçmişte ve Gelecekte Türkiye'deki Yeri Önemi ve Uygulamaları" Türkiye 6. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliğleri-I, 17-22 Ekim 1994, İzmir, s. 131.

⁵ Orhan Mertoğlu, yagm, s. 131.

Jeotermal rezervuar-santral sisteminin ömrünü önceden kestirebilmek zordur. Santralin ömrü 25 yıl olabilir fakat rezervuar ömrü bundan çok uzun olabilir.

Jeotermal enerjiyi güneş ve rüzgâr enerjisinden ayıran en büyük fark elektrik ve ısı üretimi fiyatlarının ticarî açıdan kabul edilebilir olmasıdır. Enerji üretiminde ünitelerdeki dış maliyet çevrenin etkilenebilir maliyeti olarak kabul edilmektedir. Jeotermal enerjiden elektrik üretimi sırasında ortaya çıkan sosyal maliyet oldukça olumlu gözükmemektedir. Yalnız bu maliyet atık suların nehirlerle, kullanılmayan CO₂'nin havaya bırakılması durumunda çok artacaktır. Uzaklığın jeotermal sistemlerden yararlanmayı etkileyen bir faktör olduğunu düşünürsek, bu konunun çözümü için, üretilen elektrik uygun bir maliyetle enterkonnekte şebekeye aktarılmalıdır.

9.3. Güneş Enerjisi

Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlisi güneş enerjisidir. Dünya kabuğu üzerine düşen radyasyon enerjisinin %30 kadarı kullanılabilir potansiyel olarak kabul edilir. Bu potansiyel 24×10^7 milyar kWh'e tekabül eder ve hidrolik potansiyelin 10.000 katına eşdeğerdir. Güneş enerjisinden büyük ölçüde faydalanılabilmek, ancak elektrik enerjisi üretiminde kullanılması ile mümkün olabilecektir. Bu enerji kaynağını elektrik enerjisine dönüştürebilmek için şu teknikler kullanılmaktadır: Fotoelektrik dönüşüm, termoelektrik jeneratörleri, fotovoltaiik güneş pilleri, termodinamik dönüşüm. Bugün büyük ölçüde ve daha yüksek verimle elektrik üretmek için kullanılması mümkün görünen sistem Rankine Çevrimi esaslı termodinamik dönüşüm tekniğidir.⁶

Fotovoltaiik dönüşüm tekniğinde güneş pilleri (SiO₂) kullanılmaktadır. Bir fotovoltaiik petekten 1 m² alanda 110 V gerilim altında 1 Amp. akım elde edilebilir ve bu enerji ile bir deniz feneri çalıştırılabilir. Bir PV trafik ikaz lambası sisteminin ilk yatırım maliyeti 1246 \$'dır. Ekonomik analizinde birim enerji maliyeti 1.19 \$/kWh olarak hesaplanmıştır. Konvansiyonel trafik sisteminin birim enerji maliyeti 2 \$/kWh'tir.⁷ PV su pompası sisteminin ilk yatırım maliyeti 7588 \$'dır. Sistemin birim su maliyeti 0.17 \$/m³'dür. Bu sistem uzay araçlarında kullanılmaktadır. Dünyada ise uzak yerlerde TV gibi benzeri cihazları çalıştırmak, su pompalamak, hava alanları aydınlatmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu sistemin birim güç başına yatırım maliyeti 12.500 \$/kW'tir. Bu değer klasik enerji üretim sistemlerine göre oldukça yüksektir. Uzun uygulamalarında maliyet kabul edilebilir, fakat pratik kullanım açısından önemlidir. Maliyetin düşürülmesi için araştırma - geliştirme çalışmaları sürmektedir.

Termodinamik dönüşüm tekniğinde, heliostat adı verilen parabolik aynalar kullanılarak, güneş ışınları 200 m yükseklikteki bir kule üzerinde bulunan kazana yönlendirilerek buhar üretilir. Elde edilen buhar Rankine çevrimi tekniği kullanılarak klasik bir turbo jeneratör sistemi çalıştırır. Bu sistem 10 - 200 MW arası kullanılabilir.

⁶ Nejat Aybers - Bahri Şahin, "Enerji Maliyeti", YTÜ, İstanbul 1995, s.194.

⁷ Birsan Alaçakır, "ELE Güneş Pilleri Araştırma Geliştirme Kapsamında Yapılan Çalışmalar", Türkiye 6. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliğleri-I, 17-22 Ekim 1994, İzmir, s. 283-284.

Bu sistemin sakıncası çok büyük yer işgal etmesidir. 7000 m²/MW ayna yüzeyine ve 50.000 m²/MW heliostat park alanına ihtiyaç vardır. Gücü MW mertebesinde olan bir santralde, heliostat fiyatı 100 ile 150 \$/m² olduğu zaman, birim tesis bedelinin 3000 ila 3500 \$/kW arasında olacağı tahmin edilmektedir. Güneş santrallerinde güç arttıkça birim tesis bedeli düşüş gösterir. 100 kW gücündeki bir santralin birim tesis bedeli 5000 \$/kW iken 1000 kW gücündeki bir santralin birim tesis bedeli 3500 \$/kW kadardır.⁸

9.4. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisi bir kulenin üzerine yerleştirilen rüzgar makinası (RM) ya da rüzgar türbini vasıtasıyla toplanır, türbin vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Şu anda piyasalarda bulunan RM'leri çalıştırmak için gerekli minimum rüzgar hızı 3 m/s'dir.

Ülkemizde rüzgar enerjisinden yararlanmak için uygun yerler: Bozcaada, Bandırma ve Antakya'dır. Bozcaada'da RM ile üretililecek elektrik enerjisi için yıllık tüketim 500.000 kWh olarak alınarak yapılan hesaplamalarda, 3 adet uygun tipte RM kullanılarak, adanın elektrik ihtiyacının karşılanacağı görülmüştür. Bu makinaların maliyeti yaklaşık 500.000 \$'dır.⁹ Rüzgar gücü düştükçe makina sayısı artacağından maliyette artacaktır. Eğer yerli RM üretimi yapılırsa maliyet düşecek ve rüzgardan elektrik enerjisi üretmek cazip olacaktır.

Halen dünyadaki yaklaşık 2500 MW'lık rüzgar enerjisi üretiminin %70'i ABD'de yapılmakta olup 2000'li yılında enerji ihtiyacının % 10'unu rüzgar enerjisinden karşılayacaktır. İngiltere'de termik santrallerden elde edilen elektrik enerjisinin maliyeti yaklaşık 0.06 ECU/kWh'dir. Konvansiyonel kaynaklara kıyasla rüzgardan üretilen elektrik enerjisi birim maliyeti biraz fazladır. Bununla birlikte dış maliyetler göz önüne alınırsa (yaklaşık 0.03 ECU/kWh) denge rüzgar enerjisinden yanadır.¹⁰

Gelecek on yıl içerisinde fosil kaynaklı yakıtlardan elde edilen elektriğin maliyetinin düzenli olarak artacağı, buna karşılık rüzgar enerjisi maliyetinde % 20 ila % 25 arasında azalma beklenmektedir. Rüzgar enerjisi toplam yatırım maliyetleri 400-500 \$/m² veya 1000-1200 \$/kW, 400-600 ECU/m² yada 900-1100 ECU/kW (1000-1300 \$/kW) olarak tahmin edilmektedir. Bu rakamlar 100-400 kW arasındaki türbinler için geçerlidir. Rüzgar santrallerinin toplam maliyeti Rüzgar Enerjisi elektrik üretiminde türbin olmadan kullanılmayacağı için enerjinin belli bir maliyeti vardır. Ekonomik

⁸ Nejat Aybers-Bahri Şahin, yage., s. 195.

⁹ Tayfun Babadağlı, "Türkiye'deki Potansiyel Jeotermal ve Rüzgar Enerjisinin Bölgesel Kullanım Olanaklarının İncelenmesi ve Kıyaslanması", Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I, İzmir 1994, s. 183.

¹⁰ Gürkan Ural, "Rüzgar Enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye'deki Durumu", Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I, İzmir 1994, s. 378.

analizlerde sistemin amortisman süresi ortalama 20 yıl olarak hesaplanmaktadır.¹¹ Ancak bugün en iyi makinanın ömrü yaklaşık 10 yıl civarındadır. Rüzgar çiftliği kurulduktan sonra yapılan harcama sadece işletme ve bakım masraflarıdır. İşletme ve bakım maliyetleri Avrupa yapımı türbinler için 0.005 \$/kWh'dir. Bu harcamalar da son derece düşüktür.¹²

Tablo 9.1 Rüzgar Makineleri Birim Fiyatları (\$)

Üretici Firma	RM Maliyeti	Ek Masraflar
A1	3500	6000
A2	16000	29000
A3	2000	2500
B1	1500	3500
B2	2000	4500
B3	4500	3500
C1	14000	?
C2	7000	?
D	60000	?
E	132000	6300

Kaynak : Türkiye 6. Enerji Kongresi, *Teknik Oturumlar Tebliğleri I*, İzmir 1994, s.194.

9.5. Biyokütle Enerjisi

Günümüzde biyokütlenin dünya enerji tüketimi içindeki payı %15'dir. Bu oran gelişmekte olan ülkelerde ise %43'dür. Güneş enerjisinin metre kareye düşen enerji miktarı, ılıman ve yarı tropikal bölgeler için yaklaşık 100-150 W ve 250-300W olarak verilmekte ve buna bağlı olarak da bu bölgeler için ortalama fotosentez verimi %0.5-1.3 ve %0.5-2.5 arasında değişmektedir.¹³ Dünya nüfusunun %80'inin 35° kuzey ve 35° güney enlemleri arasında yaşadığı göz önüne alınırsa fotobiyolojik faydalanma sonucu elde edilecek biyokütle enerji potansiyelinin büyüklüğü ve önemi açıkça görülmektedir.

Üçüncü petrol krizi öncesinde de ticarî anlamda yaygın olarak değerlendirilen biyokütle enerjisi, gerek hayvansal ve bitkisel atıklar, gerekse şehir çöpleri bağlamında, söz konusu süreçte de elektrik enerjisi eldesi amacıyla yaygın olarak değerlendirmeye devam edilmiştir.¹⁴

¹¹ Ferdi Türksoy, "Rüzgar Enerjisi: Dünyadaki Yeri ve Türkiye İçin Önemi", Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I, İzmir 1994, s. 439.

¹² Ferdi Türksoy, "Rüzgar Enerjisi:Dünyadaki Yeri ve Türkiye İçin Önemi",Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri-I, İzmir 1994, s. 439.

¹³ Engin Türe, "Alternatif Enerji Kaynağı Biyokütle", TÜBİTAK,s. 1

¹⁴ Gülnur Şenocak, "Üçüncü Petrol Krizi Sürecinde Dünyada ve Türkiye'de Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Enerjisi Üretimine Yönelik Gelişmeler", Bütün Yönleriyle 21. Yüzyılda Enerji Sempozyumu, İstanbul 1994, s. 214.

Tipik bir örnek olarak, Kanada’da yakıtı ağaç yongaları/doğalgaz karışısı olan 105 MW gücünde bir bileşik ısı-güç santrali kurulmuştur. Brezilya’da şeker kamışı atıklarının değerlendirilerek birkaç milyon nüfuslu bir şehrin elektrik enerjisinin karşılanabileceği ve yakıt giderinden %30 civarında tasarruf edilebileceği hesaplanmıştır.¹⁵ Pakistan, Tayland, Kuala Lumpur, Singapur, Malezya, Sri Lanka, Filipinler ve Tayvan güney ülkeleri olup buralarda mevcut çöp santralleri söz konusu süreçte genişletilmiştir. Kuzey ülkesi olan Hollanda’nın başkenti Amsterdam’da yakma kapasitesini 3.000 ton/gün, nominal gücü 2x45 MW bir çöp santralının tesisine başlanmıştır.¹⁶

Biyokütleyle dayalı çöp santralleri konusunda Türkiye’de yapılan kayda değer ilk ve tek çalışma 1990-1991 tarihleri arasında 250 milyon TL. toplam bedelle Çukurova Üniversitesi’nde yapılan “Katı Atıkların Dönüşüm Mekanizmaları” konulu teknolojik araştırma sonucu Yap-İşlet-Devret modeli ile sözleşmesi imzalanan Adana Çöp Santrali’dır.

Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Genel İhtisas Komisyonu Raporu’na göre biyokütle enerji konusunda, ticarî olmayan odun ve tezeğe dayalı geleneksel biyokütle yerine alçak ve yüksek modern biyokütle tekniklerinden yararlanılması istenerek hedefler gösterilmiştir. Buna göre: 1995’de 4.28 TWh, 2000’de 24.4 TWh, 2005’de 27.5 TWh, 2010’da 30.6 TWh modern biyokütle enerjisi üretimi hedeflenmiştir.¹⁷ Hazırlanan plana göre 2010 yılında güneş, rüzgar ve jeotermal enerji kaynaklarından üretilecek enerji, toplam talebin %3.9’udur. Modern biyokütle enerjisi ile birlikte bu oran %5.2’ye çıkmaktadır.

Biyokütleden üretililecek elektriğin ülke koşullarında yakma yolu ile elektrik enerjisi üretimi; teorik olarak yapılan fizibilite çalışmalarında 1 MW (7000 Saat/yıl) kapasiteli bir santral baz alındığında kuru tatlı sorghum için birim maliyetinin en çok 7 cent/kWh olduğu görülmüştür.¹⁸ Yine yapılan çalışmada elektrik enerjisi birim maliyetinin yakın gelecekte tatlı sorghum için en düşük olacağı ve bu maliyetin sırasıyla doğal gaz, linyit ve ithal kömür kullanımına doğru gidildikçe 10-12 cent/kWh’a kadar artacağı saptanmıştır. Bugün sanayi tesislerinin kullandığı elektrik enerjisi birim fiyatı 6.5-7.5 cent/kWh olup söz konusu bitki, düşük kapasiteli tesislere göre rekabet edecek durumda olduğu görülecektir.

¹⁵ Gülnur Şenocak, “Üçüncü Petrol Krizi Sürecinde Dünyada ve Türkiye’de Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Enerjisi Üretimine Yönelik Gelişmeler”, *Bütün Yönleriyle 21.yy’da Enerji Sempozyumu*, İstanbul, 1994, s. 214.

¹⁶ Gülnur Şenocak, *yagm*, s. 214.

¹⁷ M. Özcan Ültanır, “Türkiye’nin Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Planlaması”, *Tüm Yönleriyle 21. Yüzyılda Enerji Sempozyumu*, Nisan 1994, İstanbul, s. 227.

¹⁸ Engin Türe, “Alternatif Enerji Kaynağı: Biyokütle”, *TÜBİTAK*, s. 5.

Ülkemizdeki bozuk orman alanlarının 50.000 km²'ye ulaştığı ve bunların yaklaşık %20'sinin verimli arazi olduğu göz önüne alınırsa 1 MW (7x10⁶ kWh/yıl) düzeyinde üretim için 1-1.5 km² tatlı Sorghum ekim alanı gerekmektedir.¹⁹

9.6. Biyogaz Enerjisi

Ülkemizde 1980'li yıllarda alternatif enerji arayışları içinde gündeme gelen biyogaz, yaygın olmamak üzere bazı bölgelerimizde tezekten elde edilerek evsel kullanıma yönelik uygulamalarla gündeme girmiştir. Tezeğin fermantasyonu sonucu elde edilen biyogaz ufak çapta olsa yemek pişirmede kullanılmıştır. Halen ülkemiz için ticarî anlamda gelişmemiş olan biyogaz üretimi ile ilgili pilot çalışmalar sürdürülmektedir. Ülkemiz biyogaz potansiyeli 2.8-3.9 milyar m³; 1.4-2 milyon TEP/yıl olarak hesaplanmıştır.²⁰

Genel enerji istatistiklerinde Türkiye'nin enerji üretimi ve tüketimi verilerinde biyogaz kullanımı henüz bir veri olarak yer almış değildir.²¹ Ülkemiz Beş Yıllık Kalkınma Planları'ndan 7. Beş Yıllık Kalkınma Planı'nda elektrik enerjisi üretimine yönelik yenilenebilir enerji kaynakları verileri ve hedefleri arasında 1999 yılında İstanbul'da 4x25 MW, Ankara'da 2x20 MW'lık kurulu güçlerde çöp santrallerinin kurulması öngörülmektedir.²² Bu santrallerin kombine santral olacağı ve çöplerin yakılması ile beraber çöplüklerden elde edilecek biyogazın da enerji üretiminde rol alacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

Türkiye'de insanın ürettiği deponigazı 600 milyon m³ CH₄/yıl olarak kabul edilebilir. Bu miktar büyük kentlerde 25-30 m³ CH₄/Nüfus. yıl, Orta büyüklükte 20-25 m³ CH₄/Nüfus. yıl, küçük kentlerde 15-20 m³ CH₄/Nüfus. yıl olarak kabul edilebilir. Türkiye geneli için emniyetli sahada kişi başına metan gazı üretimi 10 m³ CH₄/Nüfus. yıl alınabilir. Türkiye'de deponi metan gazı 600 milyon m³ CH₄/yıl olarak kabul edildiğinde bunun \$ olarak enerji eş değeri; 384 milyon \$/yıldır.

9.7. Dalga Enerjisi

Okyanuslara kıyısı olmayan ülkemiz için, gelgit enerjisi söz konusu değildir. Üç tarafı denizlerle çevrili olan ülkemiz önemli bir dalga enerjisi potansiyeline sahiptir. Teorik olarak ülkemiz için Deniz Kuvvetleri Komutanlığı'nın 1984 yılındaki verileri

¹⁹ Engin Türe, yağm, s. 5.

²⁰ Türkiye 6. Enerji Kongresi, Türkiye Enerji Sektörünün Gelişimi ve Arz Talep Projeksiyonları, (1970-2010), s. 103

²¹ M. Özcan Ültanır, "Türkiye'nin Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Planlaması", Bütün Yönleriyle 21. Yüzyılda Enerji Sempozyumu, İstanbul, 1994, s. 226.

²² Gülnur Şenocak, "Üçüncü Petrol Krizi Sürecinde Dünyada ve Türkiye'de Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Enerjisi Üretimine Yönelik Gelişmeler", Bütün Yönleriyle 21. Yüzyılda Enerji Sempozyumu, İstanbul, 1994, s. 218

kullanılarak E. Taşdemiroğlu tarafından hesaplanan brüt potansiyel 28 GW olarak hesaplanmıştır. Dalga enerjisinin teknik potansiyeli de 0.18 EJ/yıl (50 TWh/yıl) olarak hesaplanmaktadır.²³

9.8. Konvansiyonel ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Teknik Olarak Karşılaştırılması

Konvansiyonel enerji kaynakları olarak; yaygın bir biçimde kullanılan odun, kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtlar'dan, akarsulardan, uranyum ve toryum gibi fizyonluk elementlerden oluşan nükleer yakıtlardan bahsedilebilir. Bu enerji kaynaklarının ortak ve önemli özelliği, şimdiye kadar geliştirilmiş ve uygulamaya konulmuş olan teknolojiler sayesinde: (1) Üretim düzeyi isteğe göre kontrol altında tutulabilen; (2) sürekli üretilen; (3) üretilmiş olan enerjinin depolanmasını gerektirmeyen bir enerji üretimini mümkün kılmalardır.²⁴

Yenilenebilir enerji kaynakları olarak: Güneş, rüzgâr, deniz dalgaları, gelgit olayı, jeotermal, biyokütle ve hidrolik enerjiyi sayabiliriz. Yenilenebilir enerji kaynaklarının konvansiyonel enerji kaynaklarına göre sürekli, üretim düzeyi isteğe göre kontrol altında tutulabilen bir enerji üretimi mümkün değildir.²⁵

Bugün dünyanın enerji talebi, daha çok hem endüstrinin sürekli faaliyetini hem de ulaşım ve haberleşme sistemlerinin büyük bir bölümünün işlemlerini sağlayan elektrik enerjisine yöneliktir.²⁶ Bu özellikler göz önüne alındığında kullanılabilirlik açısından pratik fayda elde etmede dalga enerjisinin, maliyet ve teknik imkanlar açısından ülkemiz için şu an uygulama alanı yoktur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının, elektrik enerjisi üretimine katkılarının ne olduğunu ve ne olabileceğini belli bir önem sırasına göre incelemiş bulunuyoruz. Söz konusu kaynakların dününü, bugününü ve potansiyellerini ülkemiz açısından değerlendirdik.

Hidrolik enerji ve jeotermal enerji dışında halen elektrik enerjisi talebini karşılayabilecek yenilenebilir enerji potansiyeli işletmede değildir. Bu yönde proje ve yatırımlar, teorik olarak gündemdedir. Güneş, rüzgâr, biyokütle, biyogaz ve dalga enerjileri, konvansiyonel enerji kaynaklarına alternatif olarak, enerji arzında yerlerini almalıdırlar. Önümüzdeki yıllarda, konunun, ülkemiz enerji politikasında ciddi olarak ele alınacağını umuyoruz. Ekonomik olarak sınırlı imkânlarla sahip olsak da çevre ve insan sağlığı yönünden, temiz enerji kaynaklarına olan ihtiyaç gün geçtikçe önem arz etmektedir.

²³ M. Özcan Ültanır, M. Özcan Ültanır, "Türkiye'nin Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Planlaması", *Bütün Yönleriyle 21. Yüzyılda Enerji Sempozyumu*, İstanbul, 1994, s. 225.

²⁴ A. Yüksel Özemre, "Konvansiyonel ve Alternatif Enerji Kaynakları Açısından Dünyanın Geleceği", *Bütün Yönleriyle 21. YY.'da Enerji Sempozyumu*, Nisan 1994, İstanbul, s. 425.

²⁵ A. Yüksel Özemre, *yagm.*, s. 425.

²⁶ A. Yüksel Özemre, *yagm.*, s. 426.



KAYNAKÇA

- AKSOY, A. Şemi; "Biyomastan Enerji Eldesinde Yeni Bir Enerji Bitkisi: Miscanthus Sinesis", *Türkiye 6. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- AKSOY, Süleyman; "Türkiye'de Elektrik Üretimi: Tüketimi, Geçmişi, Bugünü ve Geleceği", *Elektrik Mühendisliği*, EMO, Sayı: 1, İstanbul, 1994.
- ALAÇAKIR, F. Birsen; "Yeni Enerji Kaynaklarının Çeşitli Uygulamalara Katkıları", *EİE*, 1992.
- ALAÇAKIR, F. Birsen; "EİE Güneş Pilleri Araştırma Geliştirme Projeleri Kapsamında Yapılan Çalışmalar", *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- ALKAN, Hakan; "Türkiye'deki Küçük Yerleşim Bölgelerinde Jeotermal ve Rüzgar Enerjisinin Kullanım Olanaklarının Değerlendirilmesi ve Kıyaslanması", *Bütün Yönleriyle 21. Yüzyılda Enerji Sempozyumu*, İstanbul, Nisan 1994.
- ALPTÜRK, Teoman; "Elektrik Enerjisi Sisteminde Üretim-Tüketim Durumumuz", *Elektrik Mühendisliği*, Cilt: 39, Sayı: 396, 1996.
- ALTAN, Metin; "Görünür Işık Kullanılarak Yarı İletken Bölme Duvarlı Elektro Kimyasal Fotovoltaik Hücre İle Sudan Hidrojen Eldesi", *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- ALTUN, İsmail Hakkı; "Türkiye'nin Hidrolik Enerji Potansiyeli ve Gelişim Durumu", Türkiye Enerji Sempozyumu, EMO, 12-14 Kasım 1996, Ankara.
- ALTUNTAŞOĞLU, Zerrin; "EİE Rüzgâr Potansiyeli Belirleme Çalışmaları", *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- AYAZDIR, Behram; "Enerji Maliyetleri", *Teknik Eleman*, Sayı: 12, 1996.
- AYBERS, Nejat; "Türkiye Elektrik Sektörünün Gelişmesi ve Nükleer Enerji", *İTÜ Vakıf Dergisi*, Sayı: 18. Kış 1996.
- BABADAĞLI, Tayfun; "Türkiye'deki Potansiyel Jeotermal ve Rüzgâr Enerjisinin Bölgesel Kullanım Olanaklarının İncelenmesi ve Kıyaslanması", *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- BAYER, İlker; "Enerji Teknolojisi Yeni Bir Boyut Kazanıyor", *Bilim ve Teknik*, TÜBİTAK, Sayı: 342, 1996.
- ÇELEBİ, Emel; FİKRET, Hanife; Macide ALTAŞ; Türkiye Enerji sektörünün Gelişimi ve Arz Talep Projeksiyonları, *Türkiye 6. Enerji Kongresi*, İzmir, Ekim 1994.
- DEMİRCİ, İlyas; "Türkiye'nin 2000'li Yıllardaki Enerji Politikası Ne Olmalıdır?" *Teknik Eleman Dergisi*, TEK-DER, sayı: 12, 1996.
- DİLMAÇ, Şükran; "İstanbul İçin Ultraviyole Işınının Belirlenmesi", *TÜBİTAK*, Gebze 1994.
- DOĞAN, Muhsin; "Türkiye Enterkonnete Sistemi", Türkiye Enerji Sempozyumu, EMO, 12-14 Kasım 1996, Ankara.
- ELAGÖZ, Ayşe; "Türkiye'de Güneş Enerjisinin Enerji Tüketimindeki Yeri ve Yakın Gelecekte Beklenen Gelişmeler", *Dünya Enerji Konferansı Türk Milli Komitesi Türkiye 4. Enerji Kongresi*, İzmir, Kasım 1986.

- ERCAN, Tuncay; "Anadolu'daki Sıcak Sularda Bulunan Doğal Gazların İzotopik Bileşimleri ve Karbondioksit Gazının Enerji Açısından Önemi", *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- , "Erciyes Dağı (Orta-Anadolu) Pliyo-Kuvoterner Volkanizmasına İlişkin Yeni Jeokimyasal, İzotopik, Radyometrik Veriler ve Jeotermal Enerji Açısından Önemi", *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- ERGİN, Murat; "Dalga Enerjisinden Faydalanma", *Bütün Yönleriyle 21. Yüzyılda Enerji Sempozyumu*, İstanbul, Nisan 1994.
- ERDİN, Ertuğrul; "Çöplüklerde (Deponilerde) Deponigazı Bilançosu", *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- , "Yakma Teknolojisinde Son Gelişmeler ve Özellikle Thermoselect Katı Atık Yakma Tesisinin İrdelenmesi", *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- ERİŞTİ, Osman; "Güneş Pilleriyle Güç Sistemi ve Mobil PV Sistemi", *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- ERSOY, Ayşe; KÜÇÜKBAYRAK, Sadriye; Enerji Çevre İlişkisi, *Bütün Yönleriyle 21. Yüzyılda Enerji Sempozyumu*, İstanbul, Nisan 1994.
- ESMER, Oğuz; "Enerji Politikaları", *Türkiye Enerji Sempozyumu*, EMO, 12-14 Kasım 1996, Ankara.
- EŞDER, Tuncer; "Cumalı-Tuzla (Seferihisar-İzmir) Sektöründe Jeotermal Enerji Potansiyeli ve Elektrik Dışı Uygulamalar Üzerine Çalışmalar", *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- EŞİYOK, Yrd. Doç. Engin; "Çöp Enerjisi", *Elektrik Mühendisliği*, Cilt: 39, Sayı: 399, 1996.
- FİLİZ, Mümin; "Jeotermal Kaynakların Seralarda Alternatif Enerji Sistemi Olarak Kullanımının Uygulamaya Yönelik Geliştirilmesi", *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- GÖNÜLLÜ, Doç. Talha; "Enerji Kaynaklarına Genel Bakış", *Teknik Eleman*, Sayı: 12, 1996.
- GÜNERHAN, Hüseyin; "Sıvılı Düzlemsel Güneş Kollektörleri Termik Verim Analizleri", *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- GÜNEY, Prof. Dr. İrfan; "Rüzgâr Enerjisi Teknolojileri ve Kullanımının Türkiye'deki Gelişimi", *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- GÜNGÖR, Ali; "Aktif, Yeniden Dolaşım, Kabinet Tipi Güneş Enerjili Hava Isıtıcılı Bir Kurutucuda Elma Kurutulması", *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- İNAN, Demir; "Geçmişten Günümüze İnsan ve Enerji", *Bilim ve Teknik*, TÜBİTAK, Sayı: 337, 1995.
- , "Denizlerdeki Enerji", *Bilim ve Teknik*, TÜBİTAK, Sayı: 343, 1994.
- KADIOĞLU, Sedat; "Enerji Kaynaklarının Kullanımı ve Çevreye Etkileri", *Türkiye Enerji Sempozyumu*, EMO, 12-14 Kasım 1996, Ankara.

- KARAMANDERESİ, İ. Hakkı; "Tuzla (Ayvancık-Çanakkale) Jeotermal Sistemi Jeolojisi, Potansiyeli ve İmkanları", *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- KARAOSMANOĞLU, Filiz; "Kullanılmış Kızartma Atık Yağının Seyreltme Yöntemi İle Alternatif Yakıt Olarak Değerlendirilmesi", *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- KASAPOĞLU, İsmet; "Enerji Tüketiminde İthalatın Yeri ve Etkileri", *Türkiye Enerji Sempozyumu*, EMO, 12-14 Kasım 1996, Ankara.
- KAYMAKÇIOĞLU, Fatih; "Elektrik Enerjisinin Sanayide Verimli Kullanılması", *Türkiye Enerji Sempozyumu*, EMO, 12-14 Kasım 1996, Ankara.
- KIZILTAN, Dr. Gülşen—KAPTANOĞLU, Dilek, "Gelişmekte Olan Ülkelerde Enerji Modellemesi", *TÜBİTAK*, Ekim 1983.
- KOÇAK, Ali; "Türkiye'de Jeotermal Enerji Potansiyeli ve Kullanımı", *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- KÜÇÜK, İsmail; "Türkiye'de Hidroelektrik Potansiyeli Üzerine Bir Değerlendirme", *Türkiye Enerji Sempozyumu*, EMO, 12-14 Kasım 1996, Ankara.
- MENDİLCİOĞLU, Mustafa; "Enerji Politikalarımız ve Enerji Sektörümüzdeki Gelişmeler", *Türkiye Enerji Sempozyumu*, EMO, 12-14 Kasım 1996, Ankara.
- MERTOĞLU, Orhan—MERTOĞLU, Murat—BAŞARIR, Nilgün, "Yenilenebilir Bir Enerji Kaynağı Olan Jeotermal Verimliliği ve Çevre İle Olan İlişkisi", *Bütün Yönleriyle 21. Yüzyılda Enerji Sempozyumu*, İstanbul, Nisan 1994.
- , "Balçova Jeotermal Alanının (İzmir) Görünür Termal Potansiyeli ve Kullanım Alanları", *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- RENDİ, Yaprak; "Türkiye'nin Enerji Sorunu ve Nükleer Enerji", *Bilim ve Teknik*, TÜBİTAK, Sayı: 328, Mart 1995.
- ÖNAL, Güven; "Türkiye'nin Enerji Politikası Ne Olmalıdır?", *İTÜ Vakıf Dergisi*, Sayı: 18, 1996.
- ÖZEMRE, Prof. Dr. A. Yüksel; "Konvansiyonel ve Alternatif Enerji Kaynakları", *Elektrik Mühendisliği*, EMO, Sayı: 3, İstanbul, 1995.
- , "Konvansiyonel ve Alternatif Enerji Kaynakları Açısından Dünyanın Geleceği", *Bütün Yönleriyle 21. Yüzyılda Enerji Sempozyumu*, Nisan 1994, İstanbul.
- ÖZER, Zühal; "Bitkilerdeki Gizil Güç Biyokütle Enerjisi", *Bilim ve Teknik*, TÜBİTAK, Sayı: 342, 1996.
- ÖZİL, Dr. Eralp; "Making of An R and D Program in Solar Energy For A Developing Country", *TÜBİTAK*, MAK-3.
- , "New and Renewable Energy Resources Research and Applications Project", *TÜBİTAK*, 1985.
- ÖZİL, Dr. Eralp; ARIKOL, Mahir; "An Overview of Renewable Energy R and D in Turkey", *TÜBİTAK*, Gebze, MAK-28.

- ÖZİL Dr. Eralp (Proje Direktörü); KIZILTAN, Gülseren; ARIKOL, Mahir; “Proses Isısı Üretiminde Güneş Enerjisinden Yararlanma”, *TÜBİTAK, MAK-1*.
- SARAÇOĞLU, Nedim; “Enerji Ormancılığı Projelerinin Türkiye’nin Enerji Potansiyeline Katkı Olanakları”, *Türkiye Enerji Sempozyumu*, EMO, 12-14 Kasım 1996, Ankara.
- SERPEN, Ümrân; “Sarayköy İlçesinin Jeotermal Su İle Isıtılması”, *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- , “Türkiye’deki Yüksek Entalpili Jeotermal Sahaların Genel Değerlendirmesi”, *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- SÜLÜN, Şen; “Hidrolik Enerjinin Gelişimi ve DSİ”, *İTÜ Vakıf Dergisi*, Sayı: 18, Kış 1996.
- ŞEN, S. Mehmet; “Zilan Sahası (Erciş-Van), Jeotermal Kaynağının Seracılıkta Kullanılabilme İmkanları”, *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- ŞEN, Zekai; “Enerji Meteorolojisi ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları”, *İTÜ Vakıf Dergisi*, Sayı: 18, Kış 1996.
- ŞENOCAK, Gülnur; “Üçüncü Petrol Krizi Sürecinde Dünya’da ve Türkiye’de Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Enerjisi Üretimine Yönelik Gelişmeler”, *Bütün Yönleriyle 21. Yüzyılda Enerji Sempozyumu*, İstanbul: Nisan 1994.
- , “Türkiye’de Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Enerjisi Üretimi ve 2000 Yılı Hedefleri”, *Elektrik Mühendisliği*, Cilt: 39, Sayı: 396, 1996.
- TAŞDEMİROĞLU, E.; “Development of Small Hydropower in Turkey”, *Energy*, C. 18, 1993.
- , “Hydroelectric Power Potential and its use in Turkey”, *Energy*, C. 13, 1988.
- , “Solar Energy R and D, Technology and Economics in Turkey”, *Energy*, C. 15, 1990.
- , “Sustainability of Fossil Fuels and Alternative Energies For Turkey”, *Energy*, C. 13, 1988.
- , “Geothermal Energy Potential And Utilization in Turkey”, *Energy*, C. 13, 1988.
- TIRIS, Çiğdem; “Tarımsal Ürünlerin Kurutulması İçin Geliştirilmiş Küçük Ölçekli Bir Güneşli Kurutma Sistemi”, *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- , “Güneş Enerjisi Kollektörlerinin Dizayn Parametrelerinin Bilgisayar Yardımı İle Belirlenmesi”, *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- TIRIS, Mustafa; “Türkiye’de Enerji Kaynaklarının Rezerv ve Potansiyelleri”, *İTÜ Vakıf Dergisi*, Sayı: 18, Kış 1996.
- TOLUN, Süleyman; “Gökçeada Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Tahmini ve Bundan Elektrik Enerjisi Üretimi”, *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- TOPRAK, Hikmet; “Alternatif Enerji Kaynağı: Anaerobik Stabilizasyon Havuzlarından Kaynaklanan Metan Gazı”, *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.

- TÜRE, Engin; "Alternatif Enerji Kaynağı: Biyokütle", *TÜBİTAK, MAM*
- TÜRE, Semra; "Biyokütleden Enerji Üretimi", *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- TÜRKSOY, Ferdi; "Rüzgar Enerjisi ve Teknolojileri Ar-Ge Projesi Sonuç Raporu", *TÜBİTAK*, Aralık 1994.
- , "Rüzgâr Enerjisi: Dünya'daki Yeri ve Türkiye İçin Önemi", *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- URAL, Gürkan; "Rüzgâr Enerjisinin Dünya'daki ve Türkiye'deki Durumu", *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- UYAR, Tanay S.; "Rüzgar Enerjisi Sistemleri", *TÜBİTAK*, Haziran 1985.
- , "Rüzgar Enerjisi Uygulama Sahaları", *TÜBİTAK*, Haziran 1985.
- , "Modern Rüzgâr Türbinleri", *Türkiye Enerji Sempozyumu*, EMO, 12-14 Kasım 1996, Ankara.
- UYAR, Tanay S.— ERDALLI, Yücel; "Wind Measurements In Turkey European Wind Energy Association Conference", *TÜBİTAK*, Ekim 1986.
- UYAR, Tanay S.— FIĞLALI, Alpaslan; "Wind Potential at Gebze And Production Estimates For 55 kW Wind Turbines International Congress on Renewable Energy Sources", *TÜBİTAK*, Mayıs 1986.
- UYAR, Tanay S.— ERDALLI, Yücel; FIĞLALI, Alpaslan; "Türkiye'de Rüzgar Enerjisi Kullanım Seçeneklerinin Belirlenmesi", *Türkiye 4. Enerji Kongresi*, TÜBİTAK, Kasım 1986.
- ÜLTANIR, Mustafa Özcan; "The Policy of Alternative Energy Sources In Turkey", *Alternative Energy Sources IV*, 1988.
- , "21. Yüzyılın Eşiğinde Güneş Enerjisi", *Bilim ve Teknik*, Sayı: 340, Mart 1996.
- , "Yel Değirmenlerinden Günümüze Rüzgar Enerjisi", *Bilim ve Teknik*, Sayı: 341, Nisan 1996.
- , "Türkiye'nin Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Planlaması", *Bütün Yönleriyle 21. Yüzyılda Enerji Sempozyumu*, İstanbul, Nisan 1994.
- , "Batı ve Kuzey-Batı Anadolu'nun Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli", *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- , "Türkiye'nin Biyokütle Enerji Stratejisi Nasıl Olmalıdır?" *Bilim ve Teknik*, TÜBİTAK, Sayı: 342, Mayıs 1996.
- ÜNALAN, Güner; "Türkiye'nin Enerji Üretimi-Tüketimi ve Yeni Kaynak İmkanları", *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- YALÇIN, Hayri; "Fotovoltaik Pillerle İzmir Çamaltı Tuzlası Salamura Suların Elektrolizi Yoluyla Hidrojen ve Brom Üretimi", *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- YILDIZ, Mesut; "Ülkemiz Güneş Enerjisi Potansiyelinin Değerlendirilmesi", *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.

- YILMAZER, Yılmaz; “Kurşunlu Jeotermal Alanının (Salihli-Manisa) Jeolojisi ve Jeotermal Potansiyeli”, *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- , “Balçova Jeotermal Alanının (İzmir) Görünür Termal Potansiyeli ve Kullanım Alanları”, *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- , “Kuşadası-Davutlar (Aydın) Arasının Jeolojisi ve Jeotermal Olanaklarının Değerlendirilmesi”, *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- YORGUN, Sait; “Statik Retortda Ayçiçek Pres Küspesinin Pirolizisi”, *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir.
- YÜCEL, Behçet; “Yarının Dünyası İçin Enerji”, *EMO Dergisi*, 1994.
- , “21. Yüzyıla Girerken Türkiye’nin Enerji Geleceği Üzerine Temel Düşünceler”, *Bütün Yönleriyle 21. Yüzyılda Enerji Sempozyumu*, İstanbul, Nisan 1994.

Prof. Kemal HALICI, *Elektriğin Sanayiye Uygulanması*, İDMM, İstanbul 1985.

Prof. Hüseyin ÇAKIR, *Elektrik Şebeke Kayıpları*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul 1985.

Prof. Nejat AYBERS—Prof. Bahri ŞAHİN, *Enerji Maliyeti*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul 1995.

Bilim ve Teknik, TÜBİTAK, Sayı: 327, 1995.

Bilim ve Teknik, TÜBİTAK, Sayı: 328, 1995.

Bilim ve Teknik, TÜBİTAK, Sayı: 337, 1995.

Bilim ve Teknik, TÜBİTAK, Sayı: 339, 1996.

Bilim ve Teknik, TÜBİTAK, Sayı: 340, 1996.

Bilim ve Teknik, TÜBİTAK, Sayı: 341, 1996.

Bilim ve Teknik, TÜBİTAK, Sayı: 342, 1996.

Bilim ve Teknik, TÜBİTAK, Sayı: 343, 1996.

Elektrik Mühendisliği, EMO, Ankara, Sayı: 399, 1996.

Elektrik Mühendisliği, EMO, İstanbul, Sayı: 1, 1994.

Elektrik Mühendisliği, EMO, İstanbul, Sayı: 3, 1995.

Elektrik Mühendisliği, EMO, İstanbul, Sayı: 8, 1997.

Elektrik Mühendisliği, EMO, Ankara, Sayı: 396, 1996.

Elektrik Mühendisliği, EMO, Ankara, Sayı: 401, 1997.

İstanbul Bülteni, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Sayı: 73, 1997.

İTÜ Vakıf Dergisi, İTÜ, İstanbul, Sayı: 18, 1996.

Teknik Eleman, TEK-DER, İstanbul, Sayı: 12, 1996.

2000'li Yıllarda Türkiye'nin Enerji Politikası, MÜSİAD, Şubat 1996, İstanbul.

An Overview of Renewable Energy R and D in Turkey, TÜBİTAK, MAM, Mak-28, Gebze.

Dünya Enerji Konseyi Türk Millî Komitesi Türkiye 6. Enerji Kongresi Enerji İstatistikleri, *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir, (Ankara: 1995).

Dünya Enerji Konseyi, Türk Millî Komitesi Türkiye 6. Enerji Kongresi, Türkiye Enerji Sektörünün Gelişimi ve Arz Talep Projeksiyonları (1970-2010), *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri—I*, 17-22 Ekim 1994, İzmir (Ankara: 1995).

Dünya Enerji Konseyi, Türk Millî Komitesi, *1993 Enerji Raporu*, Aralık 1994, Ankara.

Enerji Sektöründe Geleceğe Bakış Arz Talep ve Politikalar, TÜSİAD, Kasım 1994, İstanbul.

Gelişmekte Olan Ülkelerde Enerji Modellemesi, TÜBİTAK.

Making of An R and D Program in Solar Energy For A Developing Country, TÜBİTAK, MAM, Mak-3.

New And Renewable Energy Resources Research And Application Project NATO-TU-ENERGY, TÜBİTAK, Gebze, 1985.

Proses-Isısı Üretiminde Güneş Enerjisinden Yararlanma, TÜBİTAK, MAM, Mak-1.

Rüzgâr Enerjisi Sistemleri, TÜBİTAK, Haziran 1985.

Rüzgâr Enerjisi ve Teknolojileri Ar-Ge Projesi Sonuç Raporu, TÜBİTAK, MAM, Gebze, Aralık 1994.

Türkiye Enerji Sempozyumu, EMO, 12-14 Kasım 1996, Ankara.



ÖZ GEÇMİŞ

1966 yılında Zonguldak-Kilimli’de doğdu. İlk öğrenimini İnağzı İlkokulu’nda tamamladıktan sonra Zonguldak İmam Hatip Lisesi Orta kısmını 1980 yılında bitirdi. Aynı yıl Zonguldak Mehmet Çelikel Lisesi’ne girdi ve 1983 yılında buradan mezun oldu. Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği bölümünü 1988 yılında bitirdi.

Türk Telekom A.Ş. İstanbul Yakası Telekom Baş Müdürlüğü R/L Grup Baş Mühendisliği servisinde **Elektrik Mühendisi** olarak görev yapmaktadır.

