

121944-5

**TÜRKİYE'DE ENERJİ SORUNUNUN
ÇÖZÜMÜNDE RÜZGAR ve GÜNEŞ
ENERJİSİNİN YERİ ve ÖNEMİ**

Temel TÜCCAR
(Yüksek Lisans Tezi)
Eskişehir-1997

T.C.
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE'DE ENERJİ SORUNUNUN ÇÖZÜMÜNDE RÜZGAR VE
GÜNEŞ ENERJİSİNİN YERİ VE ÖNEMİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Danışman
Prof.Dr. Nüvit OKTAY

Hazırlayan
Temel TÜCCAR

ESKİŞEHİR-1997

Anadolu Üniversitesi
Merkez Kütüphane

ÖZET

Günümüzde kullanılan mevcut fosil kökenli enerji kaynaklarının büyük bir kısmının tükenebilir nitelikte olması ve tükenmeye yüz tutması dünyayı oldukça etkilemektedir. Bunun yanısıra, petrole bağımlılığın getirmiş olduğu başka problemler de bulunmaktadır. 1973-1974 petrol krizi buna bir örnek olarak gösterilebilir. Bu kriz, yenilenebilir enerji kaynaklarına ilişkin araştırmaların hızla başlatılmasına neden olmuştur. Bugün, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi arttıran diğer önemli bir etken de çevre kirliliği faktörüdür.

Rüzgar ve güneş enerjilerinin yeni enerji kaynakları arayışı çalışmalarında öncelik kazanmasının başlıca nedeni, tükenmez ve temiz olmasının yanısıra, ekonomik kriterlere dayanmalarındır. Türkiye, coğrafi konumu nedeni ile rüzgar ve güneş enerjilerinden faydalanmak için büyük avantaja sahiptir.

Bu çalışmada, Dünya'da ve Türkiye'de mevcut rüzgar ve güneş enerjisi teknolojileri hakkında bilgi verilmiş, her iki enerji potansiyelimiz, uygulamaları ve ekonomisi konuları ülkemiz için açıklanmıştır.

ABSTRACT

The fossil based energy sources which still were important and useable tend to exhaust or the reason of exhaustion effecting the world in a great manner. Besides these dependence to petroleum brings other problems. The petroleum crisis in the years of 1973-1974 was an example for this manner. This crisis gave rise to researches on an alternative and renewable energy sources and another important factor which also gives rise to renewable energy sources is pollution.

The main reasons which gave priority for the research or wind and solar energies as an alternative new energy sources besides of being inexhaustible and clean also the economical criterions are important. Because of her geographical condition, Turkey has great advantages on the use of wind and solar energies.

In this study, knowledge about the technologies of wind and solar energies in the world and Turkey were given and potential of each source and the subject of their applications and economical situations were explained.

ÖNSÖZ

Enerji sorunu, tüm dünya ülkelerinde etkisini giderek daha fazla hissettiren bir fenomene dönüşmüştür. Bir tarafta gün geçtikçe azalan enerji kaynakları, öbür tarafta hiç tükenmez gibi görülen güneş ve rüzgar enerjisi yeni alternatif enerji kaynaklarının Türkiye şartlarında uygulanabilirlik alanlarını araştırmaya yönlendirdiler.

Bu çalışmamda; öncelikle büyük yardımlarından dolayı danışman hocam Prof.Dr. Nüvit OKTAY'a, yurt dışından kaynak temini konusunda değerli arkadaşlarım Alfred WEIDNER, Garbi FABER, Theo GROB ve eniştem Mustafa ÇINAR'a, Türkiye Elektrik Kurumu Genel Müdürlüğü görevlilerinden Selver DEMİREL'e, ayrıca tezimin yazılması hususunda emeği geçen sayın Filiz DUTDİBİ ve bana verdikleri destekten dolayı sevgili aileme ve mesai arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunuyorum.

Eskişehir-1997

Temel TÜCCAR

İÇİNDEKİLER

TABLolar	x
KISALTMALAR	xii
GİRİŞ	1

Birinci Bölüm

DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE ENERJİ SEKTÖRÜ

1. ENERJİ TANIMI VE KAYNAKLAR	3
1.1. Enerji Tanımı	3
1.2. Enerji Kaynakları	4
1.3. Alternatif Enerji Kaynakları	6
1.3.1. Rüzgar Enerjisi	6
1.3.2. Güneş Enerjisi	9
1.3.3. Yerısısısı (Jeotermal) Enerjisi	11
1.3.4. Biyokütle (Biomass) Enerjisi	13
1.3.5. Katı Atık (Çöp) Enerjisi	15

1.3.6. Nükleer Enerji	17
2. DÜNYADA ENERJİ SEKTÖRÜNÜN GELİŞİMİ	19
2.1. Dünya Kaynak Varlığı	19
2.2. Dünya Enerji Üretimi ve Arzı	22
2.3. Dünya Enerji Tüketimi Yapısı	24
3. TÜRKİYE'DE ENERJİ SEKTÖRÜNÜN GELİŞİMİ VE YAPISI	26
3.1. Enerji Üretimini Gelişimi	28
3.2. Enerji Tüketimi Gelişimi	29
3.3. Elektrik Sektörünün Gelişimi	32
3.4. Elektrik Santralleri	35
3.5. Enerji Yoğunluğu	35
3.6. Elektrik Enerjisi-Gayri Safi Yurt İçi Hasıla	38

İkinci Bölüm

ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARINDAN RÜZGAR VE GÜNEŞ ENERJİSİ UYGULAMALARI VE MALİYET ANALİZİ

A. ENERJİ SORUNUNA ALTERNATİF ÇÖZÜM OLARAK RÜZGAR ENERJİSİ UYGULAMALARI	45
1. RÜZGAR ENERJİSİNİN DÜNYA'DAKİ DURUMU	45
1.1. Dünya Rüzgar Enerjisi Potansiyeli	46
1.2. Rüzgar Türbinleri ve Uygulama Alanları	47
1.3. Ekonomik ve Çevresel Etkiler	49
2. RÜZGAR ENERJİSİNİN TÜRKİYE'DEKİ DURUMU	53
2.1. Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli	53
2.2. Türkiye'de Rüzgar Enerjisi ile İlgili Çalışmalar	55

B. GÜNEŞ ENERJİSİ UYGULAMALARI	58	+
1. DÜNYA GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ VE UYGULAMALARI	58	+
1.1. Güneş Enerjisinden Yararlanan Sistemler	60	+
1.2. Güneş Enerjisinin Elektriğe Dönüştürülmesi	63	
2. TÜRKİYE'DE GÜNEŞ ENERJİSİ İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR	64	
2.1. Aydınlatmada Güneş Pillerinin Kullanımı	66	
2.2. Güneş Evi PV (Photovoltaic) Sistemi	68	
C. RÜZGAR VE GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNİN MALİYET ANALİZLERİ	68	
① RÜZGAR ENERJİSİ DÖNÜŞÜM SİSTEMLERİNİN MALİ DURUMU	68	
2. GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİNİN MALİ DURUMU	74	
2.1. Aydınlatmada Kullanılan Güneş Pillerinin Maliyet Analizi	74	
2.2. Güneş Evi PV Sisteminin Maliyet Analizi	77	
2.2.1. Talebin PV Sistemi ile Karşlanması	77	
2.2.2. Talebin Enerji Nakil Hattı ile Karşlanması	80	
2.2.3. Talebin Dizel Motor-Jeneratör Grubu ile Karşlanması	84	
2.2.4. Talebin Yerli Lombardini Dizel Motor ve Jeneratör Grubu ile Karşlanması	85	
✓ 3. RÜZGAR VE GÜNEŞ ENERJİSİ ALTERNATİFLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	89	
✓ 4. TÜRKİYE'DE RÜZGAR ENERJİSİNİN EKONOMİK ANALİZİ İÇİN ÖRNEK BİR UYGULAMA	92	
SONUÇ	94	
KAYNAKLAR	98	

TABLOLAR

Tablo 1	: Dünya Fosil Yakıt Rezervleri (1992 Yılı)	20
Tablo 2	: Dünya Ticari Enerji Arzı (1975-1991)	22
Tablo 3	: Dünya Enerji Üretiminin Kıtalara Göre Dağılımı (milyon TEP) (1980-1991)	23
Tablo 4	: Dünya Birincil Enerji Tüketimi ve Kaynak Paylaşımları (milyon TEP), (%)	25
Tablo 5	: Türkiye'nin Birincil Enerji Üretimi (1960-1993)	28
Tablo 6	: Türkiye'nin Enerji Tüketimi (1960-1993)	30
Tablo 7	: Türkiye Elektrik Enerjisi Kurulu Gücünün Kaynakları İtibariyle Gelişimi (mW)	33
Tablo 8	: Değişik Ülkelerde Enerji Yoğunluk Değerleri	36
Tablo 9	: Gayri Safi Yurt İçi Hasıla ve Elektrik Tüketimi (1987 Üretici Fiyatlarıyla)	40
Tablo 10	: Elektrik Esnekliği	41
Tablo 11	: Rüzgar Potansiyelince Zengin Bölgeler	54
Tablo 12	: Weibull Dağılımını Temel Alan ve Yılda Üretilen Enerji	72
Tablo 13	: Güneş Pilleri Aydınlatma Biriminin Maliyet Analizi	76

Tablo 14	: Elektrik İhtiyacı Güneş Pilleriyle Karşılanaan Evin Maliyet Analizi	79
Tablo 15	: Enerji Nakil Hattının Değişik Uzunluk ve Yüklerde Birim Enerji Maliyetleri	83
Tablo 16	: Motor-Jeneratör Grubunun Farklı Yüklenmeler Durumunda Birim Enerji Maliyeti	87
Tablo 17	: Enerji Alternatiflerinin Karşılaştırılması	88
Tablo 18	: Elektrik Üretiminin Maliyet Karşılaştırması (Cent/kwh)	91
Grafik 1	: Bozcaada'ya Kurulan 250 kw Gücünde Bir Rüzgar Türbini İçin Gider, Gelir ve Net Kazancın Yıllara Göre Dağılımı	93

KISALTMALAR

TEP	: Ton Eşdeğeri Petrol
BDT	: Bağımsız Devletler Birliği
OECD	: Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı
BT	: Bin Ton
GW	: Giga-vat= 10^9 W
kW	: Kilovat= 10^3 W
kWh	: Kilovatsaat
MW	: Mega-vat= 10^6 W
TW	: Tera-vat= 10^{12} W
LNG	: Likit Doğal Gaz
LPG	: Likit Propan Gaz
TEAŞ	: Türkiye Elektrik Anonim Şirketi
Kcal	: Kilokalori
Gcal	: Giga-kalori
GBEY	: Gelir Başına Enerji Yoğunluğu
KBGY	: Kişi Başına Enerji Yoğunluğu
GSYİH	: Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
EWEA	: Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği
RED	: Rüzgar Enerjisi Dönüşüm

PV	: Fotovoltaik
DC	: Doğru Akım
EİEİ	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu
rtg	: rüzgar türbo-generatörü
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
TET	: Ton Eşdeğeri Taşkömürü
taek	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
s	: sayfa

GİRİŞ

Ekonomik ve sosyal kalkınmanın vazgeçilmez girdilerinden biri olan enerji, özellikle yerli kaynakları kıt olan ülkeler için kritik bir öneme sahiptir. Yerli üretim, yurtiçi talebinin ancak yarısına yakın bir bölümünü karşılayan ülkemizde enerji sektörü özellikle kamu yatırımları içerisinde öncelikli sektörlerden biri olarak ele alınmaktadır. Sektörde geçmiş yıllarda karşılaşılan çeşitli sorunlar, zaman zaman ekonomik gelişmeyi etkileyecek boyutlara ulaşmıştır.

Kalkınmanın gerektirdiği miktar ve kalitede enerjinin sağlanmasında güçlüklerle karşılaşmış, politikalar yeniden gözden geçirilmiş, ekonomik ve sosyal gelişmenin gerektirdiği kalite ve miktarda enerjinin en uygun maliyetle ve emniyetli olarak karşılanması prensibine göre politikalar ve programlar geliştirilmiş ve uygulamaya konmuştur.

Ülke enerji kaynaklarının araştırılıp bulunması, geliştirilmesi, enerji üretim tesislerinin talebi karşılayacak şekilde zamanında kurulması, işletmeye alınması uzun zaman almakta ve büyük finansman kaynaklarına ihtiyaç göstermektedir.

Bu çerçevede, çeşitli analiz ve modellerde ortaya konan enerji açığının karşılanması için öngörülen alternatifler arasında, rüzgar ve güneş enerjileri; dünyadaki kaynak potansiyeli ve teknolojisine yeterince hakim olunması nedeniyle, gereksinim duyulan enerjinin uzun yıllar boyunca sağlanabileceği, bir imkan olarak görülmektedir.

Bu çalışmanın amacı, gelişmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılan rüzgar ve güneş enerji sistemlerinin ekonomik ve çevresel önemini belirtmek ve ülkemizde bu sistemlerin uygulanabilirliğini araştırmaktır. Çalışmamız başlıca iki ana başlık altında inceleyebileceğimiz bölümlerden oluşmaktadır.

Birinci bölümde; Dünya’da ve Türkiye’de enerji sektörünün gelişimi, üretim ve tüketim yapısı ile kısaca alternatif enerji kaynaklarına değinilmiştir. İkinci bölümde; enerji sorununa alternatif çözüm olarak rüzgar ve güneş enerjisi uygulamalarının Dünya’daki ve Türkiye’deki durumu incelenmiştir. İkinci bölümün son kısmında ise, rüzgar ve güneş enerji sistemlerinin maliyet analizleri ve alternatiflerin karşılaştırılması ile Türkiye’de rüzgar enerjisinin ekonomik analizi için örnek bir uygulamaya yer verilmiştir.

Birinci Bölüm

DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE ENERJİ SEKTÖRÜ

1. ENERJİ TANIMI VE KAYNAKLAR

1.1. Enerji Tanımı

Enerji, bir madde ya da maddeler sisteminin iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanır.¹ Termodinamikde enerji, “bir tesir meydana getirebilme kapasitesi, kabiliyeti” olarak tanımlanır. Enerji maddenin bir özelliğidir ve madde enerjiye sahiptir. Günlük hayatta “enerji” terimi ile enerjinin geçebilen şekilleri olan iş ve ısı kastedilmektedir.²

¹ BERBEROĞLU, C.Necat; **Türkiye'nin Ekonomik Gelişmesinde Elektrik Enerjisi Sorunu**, E.İ.T.İ.A. Yayını No. 245/165, Eskişehir, 1982, s.9.

² KILIÇ, Abdurrahman -ÖZTÜRK, Aksel; **Güneş Enerjisi**, Kipaş Dağıtımçılık, İstanbul, 1980, s.1.

Isı, suyu kaynatır ve bundan elde edilen buhar türbinleri çevirerek elektrik üretilir. Görüldüğü gibi ısı, enerjidir.³ Isı enerjisinden termodinamiğin ikinci kanununa göre ancak belirli bir verimle mekanik enerji elde edilebilir. Nakil ve kullanma kolaylığı nedeniyle mekanik enerji elektrik enerjisine ve başka enerji şekillerine dönüştürülür.⁴

Başka bir enerji türü ise, kimyasal enerjidir. Kimyasal enerji, kömürde depolanmış bir enerji türüdür. Sadece bir kimyasal tepkime sonucu ortaya çıkar. Örneğin, yanma diye bilinen olay, oksijen ve kömürün ısı altında birleşmesidir.

Elektrik enerjisi ise, daha başka türden bir enerjidir. Bazı kimyasal tepkimeler sonucu açığa çıkan elektronlar bir elektrik akımı oluşturur. Pil, bu yolla üretilen elektriğin bir kaynağıdır.

Görüldüğü gibi, enerjinin pek çok çeşidi vardır. Toplumlar geliştikçe, enerjinin elde edilme biçimleri ve kullanım alanları da gelişme gösterir.⁵

1.2. Enerji Kaynakları

Enerji kaynakları, niteliklerinin değiştirilip değiştirilmemesi açısından “birincil” ve “ikincil enerji kaynakları” olarak ikiye ayrılmaktadır. Birincil enerji kaynakları, doğada buldukları biçimde değiştirilmeden kullanılabilen kaynaklardır. İkincil enerji kaynakları ise, birincil kaynakların belli işlemlerden geçirilmesi ile elde edilen enerji türleridir.⁶

³ BOCKRIS, O'M John-VEZİROĞLU, T.Nejat-SMITH, Debbi; **Güneş Enerjisi**, Yeni Yüzyıl Kitaplığı, İletişim Yayınları, İstanbul, 1993, s.8.

⁴ KILIÇ, Abdurrahman-ÖZTÜRK, Aksel; s.1.

⁵ BOCKRIS, O'M John-VEZİROĞLU, T.Nejat-SMITH, Debbi, s.9.

⁶ BERBEROĞLU, C.Necat; s.11.

Birleşmiş Milletler ise enerji kaynaklarını; “yenilenebilir” ve “yenilenemez enerji kaynakları” olmak üzere iki ana grupta sınıflandırmaktadır. Yeni enerji kaynakları genelde birinci grupta yer almaktadırlar. Bu enerji şekilleri; güneş, rüzgar, biomass, su gücü, dalga gücü, okyanus akıntıları, jeotermal enerjidir. Yenilenemez enerji, maddenin tekrar kullanılmayacağı bir enerji şekli olarak tanımlanır. Böylece; kömür, petrol, doğal gaz ve uranyum bu kategoriye dahil olmaktadır.⁷

Enerji kaynaklarının bir diğer sınıflaması ise, “ticari” ve “ticari olmayan enerji kaynakları” şeklindedir. Ticari enerji kaynaklarını, taşkömürü, linyit, petrol, doğalgaz, akarsular, nükleer yakıt olarak sıralayabiliriz. Ticari olmayan enerji kaynakları ise; odun, tezek ve tarım artıklarıdır.⁸

Ticari enerjinin kullanımı, ülkeden ülkeye çeşitlilik göstermektedir. Bu farklılıklar; enerji kaynaklarının varlığı, endüstriyel yapı, iklim, coğrafik durum, sosyal ve ekonomik gelişmeye bağlıdır. Ticari enerji tüketimi, genellikle kentsel bölgelerde yoğunlaşmaktadır.⁹

Birleşmiş Milletler’in sınıflandırmasında yer alan ve çevre korumada yol ayrımı diyebileceğimiz alternatif enerji kaynaklarını tek tek inceleyelim.

⁷ TAŞDEMİROĞLU, Ersoy; **Solar Energy Utilization: Technical and Economic Aspects**, Mechanical Engineering Department, Middle East Technical University, Ankara, May 1988, s.1.

⁸ CEYHAN, Haluk ve Diğerleri. “Türkiye’de 1970-80’lerde Enerji İhtiyacı ve Arzı”, **Türkiye’nin Enerji Sorunu ve Enerji İhtiyacı**, Çeltüt Matbaacılık Koll.Şti., İstanbul, 1973, s.3.

⁹ TAŞDEMİROĞLU, Ersoy, s.5.

1.3. Alternatif Enerji Kaynakları

Alternatif enerji kaynakları, özellikle 1973 ve 1979 petrol krizleri sonrasında, sıfır yakıt maliyetleri, az bakım gerektirmeleri ve çevre dostu olmalarından ötürü gerek Kuzey ülkelerinde, gerekse Güney ülkelerinde elektrik üretiminde artık yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kaynakların kullanımıyla elde edilen elektrik enerjisi birim maliyetlerini iyileştirme çalışmaları Kuzey ülkelerinde devlet tarafından desteklenmektedir. Yakın bir gelecekte bu yeni enerji kaynaklarının dünya çapında yaygın olarak kullanılacağını tahmin etmek hiç de zor değildir.

Hem ar-ge çalışmaları bazında, hem ticari işletmede yaygın olarak kullanılan bu kaynaklardan elde edilen enerji, mevcut yöntemlerle elde edilen enerjiden daha pahalı gibi gözükmektedir. Ancak mevcut kaynakların özellikle uzun vadede yarattıkları çevresel kayıplar ve bu kayıpları minimize etmek için gerekli finansmanı dikkate alacak olursak, global kullanımda alternatif enerji kaynaklarının belki de daha avantajlı oldukları görülecektir.¹⁰

Alternatif enerji kaynaklarını inceleyecek olursak, bunların bir kısmının eskiden bilinip, kullanıldığını görebiliriz.

1.3.1. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar gücü, insanların yararlandıkları en eski enerji kaynaklarından biridir. Bilindiği gibi yel değirmenleri, rüzgar enerjisini mekanik enerjiye

¹⁰ ŞENOCAK, Gülnur; "Çevre Korumada Yol Ayrımı-Alternatif Enerji Kaynakları", **Türkiye Elektrik Kurumu Dergisi**, Sayı: 70, Mayıs-Ekim 1991, s.19.

çevirmektedir ve halâ bazı ülkelerde kullanılmaktadır. Diğer yandan yaşanan enerji krizleri, bilim çevrelerini rüzgar enerjisini elektrik enerjisine çevirme çalışmalarına sevk etmiştir. Böylece rüzgar türbinleri birçok ülkede kullanılmaya başlanmıştır.¹¹

Avrupa'da üretilen türbinlerin kapasiteleri, birkaç kilowattan başlayıp birkaç megawata kadar ulaşmaktadır. Elektrik üretiminde modern dizaynlar 1930-1955 yılları arasında kullanılmaya başlanmıştır. 100 kW gücündeki birkaç eski makine, 1957 yılında Danimarka'da inşa edilmiş ve halâ kullanılmaktadır.¹²

Ekim 1990 itibariyle dünyada rüzgar türbini alanında hizmet veren firma sayısı 50 civarındadır. Bugüne kadar üretilen rüzgar türbini ünite gücü ile 50 ile 3000 kW arasında değişmektedir. 1991 yılı itibariyle ticari alanda işletmede olan rüzgar türbini güçleri ise 50 ile 500 kW arasındadır. Türbinlerin birim maliyetini iyileştirme çalışmaları hızla sürmektedir. Bu maliyet düştükçe doğal olarak kurulan birim türbin gücü de artacaktır.

Amerika Birleşik Devletleri'nde 1981'de 25 cent/kWh olan rüzgar türbini maliyeti, 1989'da 5 cent/kWh'a düşürülmüştür. Kaliforniya'da 225 kW'lık 15114 adet rüzgar türbini ile 1398 MW'lık bir güç elde edilmektedir.

Avrupa Topluluğu, rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi elde etmede dünyada önde gelmektedir. Yüzyılın sonunda ulaşacağı maksimum rüzgar türbini gücünün 4800 MW olacağı tahmin edilmektedir.

¹¹ BERBEROĞLU, C.Necat, s.47.

¹² TWIDELL, John W.-WEIR, Anthony D.; **Renewable Energy Resources**, ELBS, Cambridge, 1987, s.204.

Danimarka, Avrupa Topluluğu'nun sahip olduğu rüzgar türbini gücünün büyük bir kısmına aittir. 200 adet türbin ile toplam 200 MW'lık güce yani toplam gücün yaklaşık %1'ine sahip olan Danimarka, 2000 yılına kadar elektrik enerjisinin %10'unu rüzgar enerjisinden sağlamayı hedeflemektedir. Bu da 1600-1800 MW'lık bir kapasiteye karşı gelmektedir.

1990 sonu itibariyle 100-150 MW'lık rüzgar türbini kurmuş olan Hollanda, yüzyılın sonunda ise toplam rüzgar türbini gücünü 1000 MW'a çıkarmayı öngörmektedir.

İngiltere'de yakın zamanda, fosil olmayan yakıt kullanma yükümlülüğü kapsamında, 5'i rüzgar çiftliğinden, gerisi ise tek rüzgar türbininden oluşan, toplam 28,4 MW gücünde; 9 adet rüzgar enerjisi projesi kabul edilmiştir.

Almanya'da son yıllarda rüzgar türbini ar-ge çalışmalarında gözle görülür bir artış gözlenmekte ve bu çalışmalar devletçe desteklenmektedir. Rüzgar enerjisi potansiyelinin yaklaşık 50.000 Twh (teravatsaat) olduğu belirtilen Almanya'nın, 2000 yılına kadar bu kapasitenin %20'sini kullanmasının gerçekçi bir yaklaşım olacağı ifade edilmektedir.

Yunanistan'da, 2000 yılına kadar rüzgar türbinleri yoluyla 400 MW güç elde etmenin olası olduğu belirtilmektedir. Bu gücün 100 MW'lık bölümünün devlet sektörünce, geri kalan bölümünün ise özel sektörce sağlanması beklenmektedir.

Hindistan'da 12 rüzgar çiftliğinden elde edilen toplam güç 31.4 MW'tır. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Dairesi; 200'er kW kapasiteli 50 türbinden oluşan 10 MW'lık bir rüzgar çiftliği kurmaktadır. Bu çiftlik,

muhtemelen Asya'nın en büyük rüzgar çiftliği olacaktır. Diğer taraftan, toplam 1000 MW olarak kurulması öngörülen rüzgar türbini gücü, Sekizinci Planda 300 MW olarak karara bağlanmış bulunmaktadır.¹³

Görüldüğü gibi rüzgar enerjisinin önemi pek çok ülke tarafından kabul edilmiş ve bu yöndeki yatırımlara hız verilmiştir.

1.3.2. Güneş Enerjisi

Dünya'da en görkemli ve canlılara yaşam veren enerji kaynağı güneştir. Diğer birçok enerji kaynağının varlığı da güneşe bağlıdır. Rüzgar, deniz dalgası, okyanusta sıcaklık farkı ve biyokütle enerjileri, güneş enerjisinin değişim geçirmiş biçimleridir. Güneş enerjisi, doğadaki su döngüsünün gerçekleşmesinde de rol oynayarak, akarsu gücünü yaratmaktadır. Fosil yakıtların da, biyokütle niteliğindeki materyallerde birikmiş güneş enerjisi olduğu kabul edilmektedir. Doğal enerji kaynaklarının pek çoğunun kökeni olan güneş enerjisinden, ısıtma ve elektrik elde etme gibi amaçlarla doğrudan yararlanılmaktadır. Güneş enerjisi çevre açısından temiz bir kaynak özelliği taşıdığından da, fosil yakıtlara alternatif olabilecektir.¹⁴

Dünya, güneşten sürekli olarak 1.73×10^{14} kW enerji almaktadır. Bu yıllık 1.5×10^{18} kWh enerji anlamına gelmektedir. Yani 1986 yılı itibariyle dünyanın yıllık enerji tüketiminin 10.000 kat fazlasıdır.¹⁵

¹³ ŞENOCAK, Gülnur; s.22.

¹⁴ ÜLTANIR, Mustafa Özcan; "21.Yüzyılın Eşiğinde Güneş Enerjisi", **Bilim ve Teknik Dergisi**, Sayı: 340, Mart 1996, s.50.

¹⁵ AHMET, Kulsum; **Renewable Energy Technologies**, The World Bank Washington, D.C. 1994, s.31.

Dünyaya yansıyan 1 yıllık güneş enerjisinin, dünyadaki çıkarılabilir fosil yakıt rezervlerinin tamamının enerjisinin yaklaşık 15-20 katına eşdeğer olduğu bilinmektedir. Güneş enerjisi, şu an için güneş santralleri ve güneş pilleri (fotovoltaik) olmak üzere iki yolla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir.

Güneş santralleri yoluyla elde edilen elektrik enerjisinin birim maliyetinin giderek iyileştirilmesi çalışmaları birçok ülke tarafından sürdürülmektedir. Örneğin; ABD Kaliforniya'da kurulan tamamı 6 üniteli güneş santralında, elektrik enerjisi maliyetinin %66'dan daha fazla düşürüldüğü iddia edilmektedir. 1991 yılı rakamlarıyla birim maliyet yaklaşık 8 cent/kWh'tir. Bu santralın kapasitesi 680 MW olup, yaklaşık bir milyon nüfusun enerji gereksinimini karşılayabilmektedir. Bu kaynağın bir avantajı da, tesis süresinin kısa olmasıdır. Yukarıda belirttiğimiz güneş santralının; finansman, yapım ve işletmeye alma süresi toplam 7,5 aydır.

Güneş pilleri (fotovoltaikler), güneş ışınlarının doğrudan doğruya elektrik enerjisine dönüştürüldüğü sistemlerdir. Güneş pillerinin ticari pazarı, dünya çapında her yıl ortalama %20 oranında büyümektedir. Bu oran, kırsal kesimde %35'i bulmaktadır. Özellikle şebekeden uzak yerleşim bölgelerinde, ekonomik bir şekilde kullanılan bir sistemle, kırsal kesimdeki bir konutun aydınlatma, TV gibi enerji gereksinimi karşılanabilmektedir. Bu sistem için, 1991 yılı fiyatları ile 400 dolarlık bir ön yatırım yeterli olmakta ve fazla bakım da gerektirmemektedir.

Pakistan'da köy elektrikleştirilmesinde kullanılmak üzere 5 kW'lık bir güneş pili sistemi kurulmuştur. Bu güçle, 30 aydınlatma armatürü, köyün su pompası ve köy odasında 2 televizyon alıcısının enerji gereksinimi karşılanmaktadır. Brezilya'da damlatma yoluyla günde 23.000 litre su basan

bir sistem güneş piliyle enerjilendirilmektedir. Meksika'da şebekeden uzak birkaç kliniğin elektrik enerjisi gereksinimi, güneş modülleriyle doldurulan 12 V'luk akülerden sağlanmaktadır.¹⁶

Yukarıdaki örneklerde de görüldüğü gibi, güneş pilleri özellikle şebekeden uzak tüketicilerin elektrik enerjisi gereksinimlerini karşılamak üzere; şimdilik küçük güçlerde üretilen sistemlerdir.

1.3.3. Jeotermal (Yerısı) Enerji

Yerin merkezi, yeryüzüne göre sıcak olup, her 100 metrede bir sıcaklık 3°C artmaktadır. Jeotermal enerji ise yerkabuğu içerisinde bulunan yüksek basınç altındaki sıcak suyun içerdiği enerjidir. Yeryuvarının merkezindeki ısı enerjisi kötü bir iletken olan yerkabuğundan gayet yavaş bir kondüksiyonla yeryüzüne doğru akmaktadır. Bu yavaşlığa rağmen yeryuvarı her yıl ısısından 250×10^{15} Kcal kadarını bu yolla kaybetmektedir.¹⁷

Jeotermal ısı genellikle düşük niteliklidir ve 50-70 °C ısı gerektiren işlemler veya binaların direkt ısıtılmasında, en iyi kullanılmaktadır. Sıklıkla jeotermal ısı, 150°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda uygundur; böylece tribünlerden elektrik gücü üretimi seyrini tamamlayabilir. Birçok önemli jeotermal elektrik gücü kompleksleri; İtalya, Yeni Zelanda ve ABD'de kurulmuştur.¹⁸

Türkiye, önemli jeotermal potansiyele sahip ülkelerden birisidir. Elektrik üretimi için kullanılacak, yaklaşık 4500 MW'lık jeotermal enerji

¹⁶ ŞENOCAK, Gülnur; s.23.

¹⁷ GÜNAY, Serpil; "Enerji ve Çevre Sorunları", *Verimlilik Dergisi*, 1982/1, Cilt: 11, s.155.

¹⁸ TWIDELL, John W.-WEIR, Anthony D.; s.372.

bulunmaktadır. Buna ilaveten 31.000 MW'lık potansiyel, termal uygulamalarda kullanılabilir.¹⁹

Bugün dünyada 20'den fazla ülkede jeotermal enerji, elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. 1987 yılı verilerine göre; jeotermal enerjiden elde edilen elektrik enerjisi dünya kurulu gücü, 5136 MW'dır. Bu enerji kaynağının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımında 2212 MW ile ABD başı çekmektedir. ABD'yi 894 MW ile Filipinler, 700 MW ile Meksika, 548 MW ile İtalya, 215 MW ile Japonya, 167 MW ile Yeni Zelanda, 95 MW ile El Salvador ve 88 MW ile Endonezya takip etmektedir.²⁰

Jeotermal enerjinin yarattığı çevre sorunları ile enerji kaynağı çok yakında elde edilebildiğinden lokalize edilebilmektedir. Enerji üretimi sırasında çıkan sıcak su, yüksek konsantrasyonlarda madeni tuzları içermektedir. Ayrıca bor ile aşındırıcı ve zehirli bir etkiye sahip olan hidrojen sülfür sorun yaratmaktadır.

Jeotermal enerji üretim kuyularında, atık suyun yaratacağı çevre sorunlarını önlemek amacıyla, suyun açılacak sondaj deliklerinden tekrar yeraltına verilmesi denenmektedir. Bu arada yeraltından çıkan akışkanın debisine ve bileşimine bağlı olarak hava, su ve toprak kirliliği yanında zemin hareketleri de meydana gelebilmektedir.²¹

¹⁹ TAŞDEMİROĞLU, Ersoy; s.11.

²⁰ ŞENOCAK, Gülnur; **Türkiye Elektrik Kurumu Dergisi**, Kasım- Aralık 1991, Sayı: 71, s.23.

²¹ GÜNAY, Serpil; s.156.

1.3.4. Biomass (Biyokütle) Enerjisi

Biyokütle enerjisi, bitki atık ve artıkları ile insan ve hayvan dışkılarının içerdiği enerjidir. Canlı bitkiler, her zaman kömür, petrol ve gaz gibi bugüne kadar denenmiş hidrokarbon rezervlerinin tümünde mevcut bulunan miktarda enerji biriktirebilmektedirler. Biomass deyimi, ister bitkiler gibi ana kaynaklardan, ister çöp ve hayvan gübresi gibi işlem görmüş bitkisel maddelerden sağlanmış olsun, karbon kapsayan tüm elemanlar için kullanılabilir.

Yeryüzünün 15 milyar hektarlık bölümü, biyokütle üretmekte olup, yıllık biyokütle verimliliği 75×10^9 ton olarak tahmin edilmektedir. Bu ise günde 1500 milyon varil petrole eşdeğer gelmektedir.²²

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında biyokütle, en umut verici olan enerji türüdür, çünkü Türkiye’de toplam enerji tüketiminde %22’lik bir paya sahiptir.²³

Ayrıca, hayvan ve bitki atıklarının, havasız bir ortamda bırakılması sonucu birtakım bakterilerin etkisi ile metan gazı oluşmaktadır. Bu bakteriler metanı oluştururken çıkan azotu da kendi bünyelerinde hapsettiklerinden, azot bakımından çok zengin bir artık meydana gelmektedir. Basit bir üreteçle kolayca elde edilmesi mümkün olan biogaz Çin’de çok uzun yıllardır kullanılmaktadır. Bir tarım ve hayvancılık ülkesi olan Türkiye’de de biogazın yaygın olarak kullanılması mümkündür. Biogazın ısı değeri 5000-6000 Kcal/m³ dolayında olup, bir ton gübreden yaklaşık olarak 40-60 m³ biogaz

²² GÜNAY, Serpil; s.153.

²³ TŞDEMİROĞLU, Ersoy; s.11.

üretilebildiği kabul edilmektedir. Ülkemizde yaklaşık 80 milyon büyük ve küçükbaş hayvan olduğu düşünülürse bigogazdan elde edilebilecek enerjinin miktarı oldukça önemli olmaktadır.²⁴

Özellikle Güney ülkelerinin kırsal bölgelerinde elde edilen bitkisel atık ve artıklar, yakıt olarak kullanılmaları halinde kırsal kesimin ısı ve elektrik enerjisi gereksinimi büyük ölçüde karşılayacak nitelik ve niceliktedir. Kaldı ki, bir Kuzey ülkesi olan ABD’de bile, toplam enerjinin %4’ü bu kaynaktan sağlanmaktadır.

Bitki kökenli biyokütle enerjisinden ısı ve elektrik enerjisi elde etmede kullanılan atık ve artıklar, genel olarak; tahıl kabuk ve artıkları, hindistan cevizi kabukları, palmye gövdesi kabuk ve yaprakları, kahve ağacı kabukları, şam fıstığı kabukları, pamuk sapı atıkları, şeker kamışı atıkları, orman atıkları ve benzeri bitki atıklarıdır.

Biyokütle enerji kaynakları, bir kısım yenilenebilir kaynaklar gibi; şimdilik, küçük güçlü 5 MW’a kadar olan enerji üretim tesislerinde değerlendirilmektedir. Örneğin; Kanada, yakıtı ağaç yongaları ve doğalgaz olan, 105 MW gücünde bir bileşik ısı-güç tesisi kurmaktadır. Bu tesisten 85 MW’ın üzerinde elektrik enerjisi üretilmekte, bunun yanında elde edilen ısı civardaki bir gölün pis su arıtma tesisinin geliştirilmesinde kullanılmaktadır.

Hindistan’da, ekonomik ömrünü doldurmuş uçak makineleri ve kanalizasyondan elde edilen biyogaz, elektrik üretiminde kullanılıyor. Yenilenerek kullanılabilir duruma getirilen uçak motorları ile, 1 MW elektrik enerjisi üretilmektedir.²⁵

²⁴ GÜNAY, Serpil; s.155.

²⁵ ŞENOCAK, Gülnur; *Türkiye Elektrik Kurumu Dergisi*, Kasım-Aralık 1991, Sayı: 71, s.23.

1.3.5. Katı Atık (Çöp) Enerjisi

Şehir çöpleri ve bazı sanayi atıkları, biyokütle enerjisindeki metan gazı gibi yakıt haline getirilerek, dolaylı bir yolla buhar veya elektrik enerjisi elde etmekte kullanılmaktadırlar. Bilindiği üzere çöp, özellikle büyük şehirlerde oluşmaktadır. Çöpten yanıcı gaz elde edilebilmesi için, çöpün belli bir alanda yığılması (landfill) gerekmektedir. Oysa günümüzde, bugün şehirdışı kabul edilerek çöp yığılan bir alan, yarın şehir içinde kalmaktadır. Bu çözüm, yer sorunuyla birlikte sağlık risklerini de getirmektedir. Oysa çöp santrali uygulamasında böyle bir durum söz konusu değildir. Çünkü santrale gelen çöp sürekli olarak yakılmaktadır. Yakma işlemi sonunda oluşan kül ise, gelen çöp miktarı ile karşılaştırılmayacak düzeyde olmaktadır. Bu da, ek bir tesisle yan ürün olarak değerlendirilmektedir.

Çöp santralleri, çöpün kapasitesi günde 300 tonun üzerinde olan yerleşim merkezleri için uygun görülmektedir. Kaldı ki, birbirine yakın yerleşim birimlerine eşit uzaklıkta uygun bir yer seçimiyle, bu çözüm için yeterli çöp miktarı elde edilebilir. Santraldan elde edilecek buhar veya elektrik enerjisi kapasitesini, çöpün niteliği ve niceliği belirlemektedir.

Çöp santralleri, önceleri sadece çöprü sağlıklı bir şekilde yok etmek için düşünülmüştür. Ancak, giderek çöpün nitelik ve niceliğinde meydana gelen artış nedeniyle, elektrik şebekesine destek veren bir işleve sahip olmuşlardır. Bugün dünyada, ünite güçleri 3-5 MW ile 60 MW arasında değişen yüzlerce ünite çöp santrali bulunmaktadır. Ancak, çöpten oluşturulan yakıtta doğalgaz ya da yüksek kalorili kömür ilavesiyle, çok daha büyük kapasiteli bileşik ısı-güç santralleri tesis etmek mümkündür. Böylece bütün bir bölge bir

merkezden ısıtılıp, hava kirliliği binlerce nokta yerine, bir merkezde kontrol altına alınmış olmaktadır.

Kuzey ülkelerinde yaklaşık 20 yıldır ticari işletmede olan çöp santralleri, Güney ülkelerinde de kurulmaya başlanmışlardır. Pakistan, Tayland, Singapur, Malezya, Sri Lanka, Filipinler ve Tayvan çöp santrallerine sahip ülkeler arasında yer almaktadırlar. Günümüzde, bu pazarda iş yapan firma sayısı 50 civarındadır. Kuzey ülkelerinden İsveç, katı atığın yaklaşık olarak yarısını ısı ve elektrik enerjisine dönüştürmektedir.

1990 yılı itibariyle, dünyada çöp santralleri ile ilgili örnekler şöyledir. Hollanda'nın başkenti Amsterdam'da, yakma kapasitesi 3000t/gün, nominal gücü 2x45 MW olan bir çöp santrali bulunmaktadır. ABD-Palm Beach'te, 1989 yılında işletmeye alınan santralin gücü 55 MW, yakma kapasitesi ise ortalama haftada 12.000 tondur.

İngiltere-Hampshire'da yap-sahiplen-işlet modeli ile kurulan çöp santralının gücü 38 MW olup, yılda 350.000 ton evsel atık tüketmektedir. Santral, 20 yıllık bir sözleşme ile dizayn, yapım ve sahipliğini üstlenen konsorsiyum tarafından işletilmektedir. Güney Londra'da 1994 yılında işletmeye alınan çöp yakıtlı bileşik ısı-güç santrali ile yılda 400.000 ton çöp yakılarak 33 MW'lık elektrik enerjisi üretilmekte ve 7000 konutu ısıtacak şekilde ısı enerjisi elde edilmektedir.

İtalya Verona'da 1992 yılında devreye giren santralin yıllık elektrik enerjisi üretim kapasitesi 70.000 GWh, ısı enerjisi üretim kapasitesi 107.000 GCal'dir. Yakıtın içerisinde bulunan biyogaz, bileşik ısı-güç santralının iç ihtiyacı için kullanılmaktadır. Projenin maliyeti 1991 yılı fiyatları ile yaklaşık 75 milyon dolardır.²⁶

²⁶ ŞENOCAK, Gülnur; **Türkiye Elektrik Kurumu Dergisi**, Kasım-Aralık 1991, Sayı: 71, s.24.

1.3.6. Nükleer Enerji

İlk ticari, nükleer güç istasyonları, 1950'lerde İngiltere ve ABD'de tamamlandı. Her iki ülkede geliştirme programları 1960'lı yıllar boyunca devam etti, böylece 1970'de ABD yaklaşık 6 GW ve İngiltere yaklaşık 5 GW nükleer kapasiteye sahip oldular. Bu dönemlerde Avrupa ülkeleri toplam 4 GW, Japonya 1 GW, Kanada 0,2 GW ve Hindistan 0,4 GW'lık nükleer kapasiteye sahip tesisler kurdular.²⁷

Nükleer uzmanlığa sahip 30 kadar ülke son 40 yılda nükleer jeneratörlerden toplam elektriğin %15'ini üretmektedir. Fakat bu gücün ucuz enerji sağlaması beklentileri gerçekleşmemiştir. 1986 yılında 66 reaktör çalışmakta ve 140 reaktör planlama aşamasında bulunuyordu. 10 ülke kurulu kapasitenin %90'ına sahiptir. Bu ülkelerden ABD, Almanya, İngiltere, Fransa, Japonya ve Rusya ile bazı Doğu Avrupa ülkeleri nükleer programlarını sürdürmüş, diğer ülkeler ise gerilemiştir.²⁸

1992 yılı sonu itibariyle dünyada nükleer fisyonu dayalı, toplam 330.651 MW kurulu güce sahip 424 nükleer reaktör bulunmaktadır. Bu kurulu gücün, halen inşa edilmekte olan yaklaşık 60.000 MW kapasiteli, 72 nükleer reaktör ile 390.651 MW güce ulaşması beklenmektedir. Dünyada elektrik enerjisi üretiminde nükleer reaktörlerden yararlanan ülkelerin, toplam enerji üretimlerindeki nükleer enerjinin payı %17'ye erişmiştir. Litvanya, Fransa, Belçika'da bu oran %50'yi aşmaktadır.²⁹

²⁷ EDEN, Richard-POSNER, Michael-BENDING, Richard-CROUCH, Edmund-STANISLAW, Joe; "Energy Economics", **Growth, Resources and Policies**, USA, 1982, s.147.

²⁸ AKALIN, Melih; "Enerji ve Çevre", **Türkiye 5.Enerji Kongresi**, Genel Raportör Raporları, 22-26 Ekim 1990, Ankara, s.93.

²⁹ ALAT, Ali-YÜCEL, Aysun- AKTÜRK, Serpil; "Türkiye'nin Genel Enerji Programı İçinde Nükleer Enerji Politikası Ne Olmalıdır?", **Türkiye 6.Enerji Kongresi**, Cilt: 4, s.118.

Nükleer risklerle ilgili olarak; 26 Nisan 1986'da Chernobyl nükleer santralında meydana gelen kaza Japonya, Fransa ve İngiltere dışında tüm batı ülkelerinde nükleer programların durdurulmasına yol açmıştır. Yoğun araştırma ve çalışmalar, Chernobyl kazası ve sonuçlarının daha gerçekçi olarak değerlendirilmesini sağlamıştır. Batı ülkelerinde geliştirilmiş olan nükleer santral tiplerinin, Chernobyl'de olduğu gibi bir nükleer patlamaya yol açmasının mümkün olmadığını, reaktör koruyucu binasının, bir kaza halinde radyoaktif maddelerin çevreye yayılmasını sınırlayacağı daha iyi anlaşılmıştır. Ayrıntılı araştırmalarda, Chernobyl kazası sonucu çevreye yayılan radyoaktif maddeler dolayısıyla, komşu ülkelerde halkın doğrudan veya yiyeceklerle almış olduğu dozların genellikle sağlığı etkilemeyecek seviyede kaldığı belirlenmiştir.

Türkiye'de nükleer santral fizibilite etüdüleri ve kuruluş yeri ile ilgili araştırmalar, 1972-1974 yıllarında değişen şartlara göre revize edilmiştir. Yapılan ön değerlendirmelerin sonucunda 1976 yılında Silifke'nin 45 km. batısındaki Akkuyu yöresi ilk nükleer santralin kuruluş yeri olarak seçilmiştir. O tarihten beri Akkuyu'da son derece ayrıntılı jeolojik, deprem, zemin, hidrolojik ve meteorolojik ölçümler yapılmış, buna dayanılarak projelendirme esasları belirlenmiştir. İkinci nükleer santralin kuruluş yeri olarak seçilen Sinop yöresindeki ön araştırmalar 1980 yılında başlatılmış ve belirli bir düzeye gelmiştir. Ancak, Akkuyu santralının ihalesinde ortaya çıkan belirsizlikler ve araştırmalara ödenek ayrılmaması sonucu çalışmalar durdurulmuştur.

Hükümetimizin nükleer santral tesisinin Yap-İşlet-Devret modeli kapsamında yürütülmesi hususundaki prensip kararı güncelliğini muhafaza etmektedir. Yabancı konsorsiyumlardan gelecek teklifler değerlendirmeye alınacaktır. TEK Genel Müdürlüğü'nce yürütülen Uzun Dönem Elektrik

Enerjisi Üretim Planlaması çalışmasında 3x1000 MW gücündeki nükleer santralin 2008 yılında işletmeye alınması öngörülmektedir.

Nükleer santralin kurulması için Türkiye teknolojik açıdan belirli ölçüde hazırdır. İlk santrallerini kuran gelişmekte olan ülkelerde (Arjantin, Brezilya, Hindistan vb.) başlangıçta yerli katkı çok az olmuş fakat zaman içinde giderek artmıştır.³⁰

Buraya kadar örneklendirmeye çalıştığımız alternatif kaynakların yanısıra; gel-git (tidal), okyanus ısısı, hidrojen, dalga (wave) enerji kaynakları üzerinde de çalışmalar yürütülmektedir. Ancak bunlar ülkemiz şartlarında fizibl olmadığından üzerinde durulmamaktadır.

2. DÜNYA'DA ENERJİ SEKTÖRÜNÜN GELİŞİMİ

2.1. DÜNYA KAYNAK VARLIĞI

Dünya'da halen geniş oranda kullanıma giren enerji kaynaklarının başlıcaları, kömür, petrol ve doğalgazdır. Konvansiyonel enerji kaynakları varlığı Tablo:1'de özetlenmiştir.

³⁰ "Genel Enerji Planlaması Çalışmalarının İlk Sonuçları", Türkiye 5. Enerji Kongresi, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yayını, 22-26 Ekim 1990, Ankara, s.135.

Tablo 1
Dünya Fosil Yakıt Rezervleri (1992 Yılı)

	Kömür		Petrol		Doğalgaz	
	Milyar Ton	(%)	Milyar Ton	(%)	Trilyon m ³	%
Afrika	62.1	6.0	8.3	6.1	9.7	7.0
Latin Amerika	11.4	1.1	17.5	12.8	7.3	5.3
Kuzey Amerika	249.2	24.0	5.0	3.7	7.4	5.4
Asya	212.9	20.5	5.7	4.2	8.9	6.5
Avustralya	91.1	8.8	0.2	0.1	0.6	0.4
Orta-Batı Avr.	315.4	30.3	2.2	1.6	5.3	3.8
Doğu Avrupa	96.9	9.3	8.1	5.9	55.6	40.3
Orta Doğu	0.2	–	89.5	65.6	43.1	31.3
Dünya	1039.2	100	136.5	100	137.9	100

Kaynak: Enerji Kaynakları Taraması, DEK- 1992, BP İstatistikleri, 1993.

Tablo 1'den de görüldüğü gibi, dünya konvansiyonel enerji varlığının en büyük bölümü taşkömürüdür. Bunu linyit, petrol ve doğalgaz takip etmektedir. 1039 milyar ton civarında olan dünya kömür rezervinin 521 milyar tonu taşkömürü, geri kalan kısmı linyit ve yarı bitümlerdir. Toplam kömür rezervinin üçte biri Orta Avrupa'da bulunmaktadır. Bunu %24'lük pay ile Kuzey Amerika ve %21'lik pay ile Asya izlemektedir.

136,5 milyar ton olan dünya petrol rezervinin %66'sı Orta Doğu Bölgesinde bulunmaktadır. Doğalgaz rezervinin en büyük bölümü %35'lik payla Rusya'da olup, bunu %14 ile İran takip etmektedir.³¹

Dünya fosil enerji kaynakları toplam rezerv olarak yaklaşık 900 milyar ton petrol eşdeğeri civarındadır. Bu değer in yüzde 75'ini kömürler oluşturmakta, geri kalanı petrol ve doğalgaz tarafından paylaşılmaktadır.³²

Dünya Enerji Konferansı'nın hazırladığı istatistiklere göre enerji rezervleri, yarının enerji talebini 100 yıl rahatça karşılayabilecek miktardadır. Dolayısıyla uluslararası toplulukların enerji alanındaki endişeleri, zengin toplumlar ve gelişmekte olan toplumlar için farklılaşmaktadır. Zengin toplumların problemleri, daha çok çevre ve iklim sorunları, kömür, doğalgaz ve nükleer enerjinin gelecekteki rolleri, sosyal ve çevre maliyetlerinin enerji fiyatlarına entegrasyonu gibi uzun dönemli konuları kapsamaktadır. Gelişmekte olan toplumlar ise, daha çok kısa dönemde enerji kaynak kapasitelerinin yetersizliği ve güvensizliği, çevre koruması teknolojilerinin gerektirdiği dış para sorunları gibi problemlerle uğraşmaktadır.³³

Dünya
enerji
sorunları

Dünya enerji rezervlerine ve toplumların enerji konusundaki endişelerine kısaca değindik. Şimdi de dünya enerji üretimi ve arzı ile tüketim yapısı konularını inceleyelim.

³¹ "Türkiye Enerji Sektörünün Gelişimi ve Arz-Talep Projeksiyonları (1970-2010)", **Türkiye 6. Enerji Kongresi**, Teknik Oturum Tebliğleri, Cilt: 4, 17-22 Ekim 1994, İzmir, s.9.

³² ŞAHİN, Vedat; **Enerji Sektöründe Geleceğe Bakış**, TÜSİAD Yayını, No.TÜSİAD-T/94, 11-168, Kasım 1994, İstanbul, s.75.

³³ ARIKAN, Yıldız; "Enerji Sektörü ve Ekonomi", **Türkiye 5. Enerji Kongresi**, Genel Raportör Raporları, 22-26 Ekim 1990, Ankara, s.6.

2.2. Dünya Enerji Üretimi ve Arzı

1991 yılı itibariyle dünya ticari enerji arzı 7.9 milyar ton petrol eşdeğeridir. 0,6 milyar TEP civarında olduğu tahmin edilen gayri ticari kaynaklar ile birlikte toplam birincil enerji arzı 8,5 milyar TEP'e ulaşmaktadır. Bugün dünya ticari enerji arzına en büyük katkıyı, yüzde 39 pay ile petrol yapmaktadır. Kömür yüzde 29, doğalgaz yüzde 22, nükleer enerji yüzde 7 ve hidrolik enerji yüzde 3 oranında paylara sahiptirler.³⁴

Tablo 2
Dünya Ticari 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: ŞAHİN, Vedat; s.76.

³⁴ ŞAHİN, Vedat; s.76.

Tablo 2’de görüldüğü gibi toplam enerji arzı; 1975 yılında yaklaşık 5,5 milyar TEP, 1985 yılında artarak yaklaşık 7 milyar TEP’e ve 1991 yılında ise yaklaşık 8 milyar TEP’e ulaşmıştır.

Ancak dünya ticari enerji üretim hızında, talep değerlerine bağlı olarak belirgin bir düşme sözkonusudur. Bu düşme çeşitli nedenlerden kaynaklanabilir. Enerjinin verimli kullanılması, kaynakların korunması ve arz limitleri, çevrenin korunması bu nedenler arasında sayılabilir.

Tablo 3

Dünya Enerji Üretimine Kıtalar Göre Dağılımı (Milyon TEP)

	1980	1985	1990	1991
Afrika	404	401	483	510
Asya (*)	1703	1556	2233	2254
Avrupa (*)	887	974	1058	1059
Rusya ve BDT	1345	1543	1647	1552
Kuzey Amerika	1772	1835	2094	2113
Güney Amerika	236	254	327	347
Okyanusya	84	125	159	164
DÜNYA	6431	6688	8001	7999

Kaynak: Türkiye Enerji Sektörünün Gelişimi ve Arz-Talep Projeksiyonları (1970-2010); s.67

(*) Rusya ve BDT Hariç

Dünya üretiminin en büyük bölümü, Asya, Kuzey Amerika ile Rusya ve Bağımsız Devletler Topluluğu'ndan sağlanmaktadır. Bu üç bölge dünya enerji arzının dörtte üçünü sağlamaktadır.³⁵

2.3. Dünya Enerji Tüketimi Yapısı

Halen dünya ticari enerji tüketiminin yüzde 52'si gelişmiş OECD ülkelerinde gerçekleştirilmektedir. Dünya nüfusunun yaklaşık yüzde 5'ine sahip ABD kendi başına, dünya enerji arzının dörtte birini tüketmektedir.

Önümüzdeki yirmi yıllık dönemde dünyada yıllık ortalama yüzde 3 oranında bir ekonomik büyüme sağlanacağı tahmin edilmektedir. Bu dönemde ekonomik büyüme hızının OECD ülkelerinde yüzde 2,4, gelişmekte olan ülkelerde yüzde 5 düzeyinde gerçekleşmesi beklenmektedir. Aynı dönemde dünya nüfusunun yılda yüzde 1,5 oranında artış göstereceği; bunun OECD ülkelerinde yüzde 0,8 gelişmekte olan ülkelerde yüzde 2,2 düzeyinde gerçekleşeceği düşünülmektedir.

Bu genel beklentiler çerçevesinde yapılan enerji talep projeksiyonları, dünya birincil enerji talebinin 2010 yılına kadar yılda ortalama yüzde 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 yüzde 7,5 gibi bir hızla artacaktır. Diğer bir yenilenebilir kaynak olan hidrolik enerji üretimi de yüzde 2,9 oranında büyüyecektir.

³⁵ Türkiye Enerji Sektörünün Gelişimi ve Arz-Talep Projeksiyonları (1970-2011); s.64-67.

Fosil yakıtlar içinde talebi en hızlı artan kaynak, yıllık yüzde 2,5 ile doğalgaz olacaktır. Diğer kaynaklara olan talep, ortalama değer altında gelişme gösterecektir. Çevre sorunlu olmasına rağmen, önümüzdeki dönemde kömüre olan talep yüzde 1,8 oranında artmaya devam etmektedir.³⁶

Dünya birincil enerji tüketimini bir de Tablo 4 yardımı ile inceleyelim.

Tablo 4
Dünya Birincil Enerji Tüketimi ve Kaynak Payları (Milyon TEP), (%)

	Katı		Sıvı		Gaz		Birincil		Dünya	%
	Yakıtlar	%	Yakıtlar	%	Yakıtlar	%	Elektrik	%		
1970	1502	34.0	1925	43.5	889	20.1	106	2.4	4422	100
1980	1836	30.5	2684	44.6	1285	21.4	210	3.5	6015	100
1985	2173	33.7	2522	39.1	1455	22.6	299	4.6	6449	100
1990	2274	29.9	2825	37.2	1770	23.3	733	9.6	7602	100
1991	2274	29.2	2846	37.1	1825	23.7	763	9.9	7676	100

Kaynak:Türkiye Enerji Sektörünün Gelişimi ve Arz Talep Projeksiyonları.S.72

Tablo 4'e göre toplam tüketim 1970 yılında 4422 milyon TEP'den yılda ortalama %3,1 oranında artarak 1980 yılında 6015 milyon TEP'e, %1,4 oranında artarak 1985 yılında 6449 milyon TEP'e, %3,3 oranında artarak 1990 yılında 7602 milyon TEP'e ulaşmıştır. 1970-1991 dönemi yıllık tüketim artış oranı %2.7'dir. Üretim düşmeleri büyük oranda petrolde olmuştur. 1979 ikinci petrol krizi, dünya enerji dengelerini büyük ölçüde etkilemiştir.

³⁶ ŞAHİN, Vedat; s.77.

Kaynaklar itibariyle tüketim paterninin 1970 yılından itibaren gelişimi, üretim paternine paraleldir. Dünya katı yakıt ağırlıklı bir tüketim paterninden, petrol ve gaz yakıtlara doğru yönelmiştir. Petrol ve gazın 1950 yılında toplam tüketim içindeki payı %37 iken, bu pay 1970 yılında %64'e yükselmiş ve 1991 yılında %61 olmuştur. Ancak 1980'li yıllarda petrol aleyhine değişen yapı, kömür ve birincil elektrik lehine gelişmiştir.³⁷

Mevcut kaynakların üretim ve tüketiminin bu düzeyde sürdürülmesi halinde petrol kaynaklarının 40, doğalgaz kaynaklarının 60 ve kömür kaynaklarının 240 yıl daha hizmet verebileceği hesaplanmaktadır. Ancak enerji talebi, özellikle OECD ülkeleri dışında büyük bir hızla artmaktadır. Yeni rezervler bulunmadığı takdirde, bu kaynakların çok daha kısa sürede tükenmesi muhtemeldir.³⁸

Dünyada enerji sektörünün gelişimi, üretim ve tüketim yapısını 1970-1991 yılları arasında kısaca irdeledik. Şimdi de Türkiye'de enerji sektörünün gelişimi ve yapısı konularına değinelim.

3. TÜRKİYE'DE ENERJİ SEKTÖRÜNÜN GELİŞİMİ VE YAPISI

Enerji, 1970 öncesi dönemde bol ve ucuz olması nedeniyle ülke ekonomilerine büyük oranda girmiştir. 70'li yıllarda gözlenen petrol şokları, ekonomilerin ne denli enerjiye bağımlı olduklarını ortaya koymuştur. Artan fiyatlar, özellikle talebini ithalatla karşılayan ülkeler için enerjiyi kritik bir hammadde haline getirmiştir.

³⁷ Türkiye Enerji Sektörünün Gelişimi ve Arz-Talep Projeksiyonları (1970-2010); s.72.

³⁸ ŞAHİN, Vedat; s.76.

Ülkemiz enerji ihtiyacının yaklaşık yarısını ithalatla karşılamaktadır. Kalkınmanın gereksinim duyduğu ölçü ve kalitedeki enerjiyi karşılamada zaman zaman güçlükler yaşanmıştır. Özellikle elektrik enerjisi nedeniyle enerji sektörü bir dönemde ülke ekonomisinde darboğaz yaratmıştır. Sektördeki mevcut sorunlar belirlenmiş ve alınan önlemler sonucu çözümlere kavuşulmuştur. Neticede enerji sektörü, kalkınmada itici bir rol oynamaya başlamıştır.

Son yıllarda özellikle elektrik ve linyit üretiminde sağlanan artışlar ihtiyacımıza cevap verecek seviyelere ulaşmıştır. Böylece elektrik enerjisinde kesinti ve kısıntılar sona erdiği gibi ihraç eder duruma gelinmiştir. Petrol, yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları dahil, arama ve üretim faaliyetleri artarak sürdürülmektedir.

Enerji sektörü yatırımları, çok büyük miktarlarda finansman gerektirmektedir. Günümüzde kamunun yanısıra özel sektörün de enerji yatırımlarında yerini alması amacıyla, özendirici ve teşvik edici önlemler alınmaktadır. Ayrıca 1970'li yılların ortalarında tüketime sunulan doğalgazın kullanımı, temiz yakıt olması nedeniyle hızla gelişmiştir. Bugün için çok kısıtlı yerli üretimimize ilaveten, Rusya ve Cezayir'den doğalgaz ithal edilmektedir.³⁹

Bütün bu gelişmelere rağmen ülkemizde kullanılan kişi başına birincil enerji ve elektrik enerjisi değerleri, gelişmiş ülkeler ortalamalarının oldukça altında bulunmaktadır.⁴⁰

³⁹ Türkiye Enerji Sektörünün Gelişimi ve Arz-Talep Projeksiyonları (1970-2010), s.1.

⁴⁰ ŞAHİN, Vedat; s.43.

3.1. Enerji Üretimini Gelişimi

Ülkemizde enerji üretiminin gelişimini Tablo 5 yardımı ile inceleyelim.

Tablo 5
Türkiye'nin Birincil Enerji Üretimi

	1960	1970	1980	1990	1991	1992	1993
Taşkömürü (BT)	3653	4573	3598	2745	2762	2830	2789
Linyit (BT)	2689	5818	14469	43571	43278	48388	45289
Petrol (BT)	375	3542	2330	3717	4451	4281	3892
Doğalgaz (milyon m ³)	–	–	23	212	203	198	200
Hidrolik (GW)	1001	3033	11348	23148	22683	26568	33963
Jeotermal (GW) (Elektrik)	–	–	–	80	81	70	78
Jeotermal (BTEP) (Isı)	–	–	–	16	16	30	30
Güneş (BTEP)	–	–	–	9	12	32	38
Odun (BT)	13000	12816	15765	17870	17970	18070	18171
Hayvan ve Bitki Artıkları (BT)	8643	9253	12839	11080	11000	10922	10842

Kaynak: ÜNALAN, Güner; "Türkiye'nin Enerji Üretimi-Tüketimi ve Yeni Kaynak İmkanları", **Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri**, Cilt: 1, s.10,ŞAHİN, Vedat; s.45.

Tablo 5’de üretimi yapılan enerji kaynakları ve bunların yıllara göre üretim miktarları görülmektedir. 1960 yılından bu yana olan dönem dikkate alındığında, hidrolik enerji ve linyit üretiminde önemli artışlar olmuştur. 1991 yılında petrol üretimi, en yüksek değeri olan 4,45 milyon ton seviyesine ulaştıktan sonra, 1993’te 3,9 milyon tona düşmüştür. Doğalgaz ve taşkömürü üretimimizde ise, önemli bir değişiklik olmamıştır.⁴¹

1960 yılında birincil enerji üretimi, 9,5 milyon ton petrol eşdeğeri (TEP) iken bu değer, 1970 yılında 14,9 milyon TEP’e, 1980 yılında 18,9 ve 1990 yılında 28,8 milyon TEP’e ulaşmıştır. Bu dönemde üretimde artış hızı, yıllık ortalama yüzde 3,8 olmuştur.

Yurtiçi birincil ticari enerji üretiminde linyit, yüzde 47 oranı ile en önemli kaynak durumundadır. Toplam üretimin, yüzde 28’ini hidrolik enerji, yüzde 16’sını petrol ve yüzde 8’ini taşkömürü karşılamaktadır.⁴²

Ülkemiz enerji üretimini özet olarak vermiş olduk. Şimdi de sırasıyla enerji tüketimi ve elektrik sektörünün gelişimi konularını inceleyelim.

3.2. Enerji Tüketimi Gelişimi

Türkiye’nin yıllara göre enerji tüketimi orjinal birimlerle Tablo 6’da görülmektedir.

⁴¹ ÜNALAN, Güner; “Türkiye’nin Enerji üretimi-Tüketimi ve Yeni Kaynak İmkanları”, **Türkiye 6.Enerji Kongresi**, Teknik Oturum Tebliğleri, Cilt: 1, 17-22 Ekim 1994, İzmir, s.9.

⁴² ŞAHİN, Vedat; s.44.

Tablo 6
Türkiye'nin Enerji Tüketimi

	1960	1970	1980	1990	1991	1992	1993
Taşkömürü (BT)	3898	4727	4630	8135	8794	8841	8544
Linyit (BT)	2663	5772	15243	43928	48836	50659	47340
Petrol (BT)	1828	7579	15309	22680	22096	23729	27097
Doğalgaz (milyon m ³)	–	–	23	3418	4205	4612	5088
Hidrolik (GW)	1001	3033	11348	23148	22683	26568	33963
Jeotermal (GW) (Elektrik)	–	–	–	80	81	70	78
Jeotermal (BTEP) (Isı)	–	–	–	16	16	30	30
Güneş (BTEP)	–	–	–	9	12	32	38
Odun (BT)	13000	12816	15765	17870	17970	18070	18171
Hayvan ve Bitki Artıkları (BT)	8643	9253	12839	11080	11000	10922	10842

Kaynak: ÜNALAN, Güner; s.12-ŞAHİN, Vedat; s.45.

Tablo 6'dan izlendiği gibi, hayvan ve bitki artıkları hariç, diğer enerji kaynaklarının tüketiminde sürekli bir artış söz konusudur. Özellikle 1987 yılından itibaren doğalgazın Rusya Federasyonundan ithal edilmeye başlaması ile birlikte, tüketimi hızla artmaktadır.

Geçmiş kırk yılda enerji tüketimimiz yıllık ortalama yüzde 5,3 oranında artış göstermiştir. 1950 yılında 6,9 milyon TEP olan tüketim, 1960'da 11,0,

1970’de 18.6, 1980’de 32,4 ve 1990 yılında 52.9 milyon TEP’e yükselmiştir. Tüketimde artış hızı son yirmi yılda bir önceki döneme göre az da olsa bir büyüme göstermiştir.

1960 yılında enerjinin yüzde 65’i konutlarda, yüzde 15’i ulaştırma sektöründe, yüzde 10’u sanayi sektöründe tüketilmiştir. Sonraki dönemlerde sanayi ve santrallerin tüketim içindeki payları çok hızlı büyümüş, konutların payı düşmüştür. 1990 yılında enerji tüketiminde konutlar, yine ilk sırayı ancak yüzde 28 gibi çok daha düşük oranla almaktadır. Santraller yüzde 27, sanayi yüzde 20 ve ulaştırma sektörü yüzde 17’lik paylarla konutları takip etmektedir.⁴³

1993 yılında toplam enerji tüketimi ile yerli üretim arasındaki fark 34 milyon TEP olarak gerçekleşmiştir. Bu fark ithalatla karşılanmaktadır. Açığın kapatılması için 1993 yılında 23 milyon ton ham petrol, 4.9 milyar m³ doğalgaz ve 5.8 milyon ton taşkömürü ithal edilmiştir.

Kalkınma ve nüfus artışına paralel olarak toplam enerji tüketimimiz hızla artarken, üretim aynı hızla artmamaktadır. Dolayısıyla tüketim-üretim farkı yıl geçtikçe büyümektedir. Bu fark 1980 yılında 15 milyon TEP iken, 1985’te 17 milyon TEP’e, 1990’da 27 milyon TEP’e ve nihayet 1993’te 34 milyon TEP’e ulaşmıştır. Bu demektir ki, enerji açığımız son 13 yılda iki kattan daha fazla artmıştır. 1993 yılında yerli üretimin, tüketimi karşılama oranı yüzde 44’tür.⁴⁴

43 ŞAHİN, Vedat; s.46.

44 ÜNALAN, Güner; s.13.

3.3. Elektrik Sektörünün Gelişimi

Ülkemizde ilk defa 15.9.1902 tarihinde Tarsus'taki su değirmeni milinden transmisyona çevrilen 60 kW'lık bir dinamodan elektrik enerjisi üretimine başlanmıştır.⁴⁵

1900'lü yılların başında elektrikleştirilme faaliyetleri, finansman güçlüğü, yetişmiş eleman sorunları gibi sorunlar nedeniyle yabancı şirketlere imtiyaz verilmek suretiyle gerçekleştirilmiştir. Bu uygulama, Cumhuriyetin ilk yıllarında terkedilmiş, 1950'li yıllarda özel şirketlerin sektöre girmesi ile tekrar başlatılmıştır. Konu bölgesel olarak ele alınmış ve çeşitli bölge şirketleri kurulmuştur. Daha sonra bu uygulama tekrar terkedilmiş, ancak Çukurova ve Kepez şirketleri, varlıklarını günümüze dek sürdürmüşlerdir. Daha sonra elektrik enerjisi ile ilgili tüm faaliyetlerin tek yönetim altında toplanmasına çalışılmıştır. Bu amaçla 1970 yılında TEK Genel Müdürlüğü kurulmuştur.

1984 yılında, 3096 sayılı kanun ile özel sektöre elektrik üretme yetkisi tanınmıştır. Bu uygulama ile devletin yanında özel sektörün de elektrik sektörüne katkısının artırılması amaçlanmıştır. Uygulanan Yap-İşlet-Devret Modeli ile hidrolik tesislerin yapımları başlatılmış ve 1993 yılı sonu itibariyle toplam 35.2 MW kurulu gücünde 3 adet hidrolik santral üretime başlamıştır. Bunlara ilaveten ithal kömüre, yerli kömüre, LNG ve LPG'ye dayalı santrallerin yapımı ile ilgili çalışmalar devam etmektedir.

Türkiye'nin elektrik enerjisi kurulu gücünün 1970 yılından itibaren gelişimi Tablo 7'de görülmektedir.

⁴⁵ DPT; Elektrik Enerjisi, "IV. Beş Yıllık Kalkınma Planı Özel İhtisas Komisyonu Raporu", Mart 1977, Ankara, s.1.

Tablo 7

**Türkiye Elektrik Enerjisi Kurulu Gücünün Kaynaklar İtibariyle
Gelişimi (MW)**

	1970	1975	1980	1985	1990	1991	1992	1993
Taşkömürü	350	350	323	220	332	353	353	353
Linyit	307	609	1069	2886	4896	5072	5450	5450
Fuel Oil	656	966	1047	1396	1552	1541	1520	1520
Motorin	192	470	536	627	546	546	394	394
Jeotermal	–	–	–	15	15	15	15	15
Doğalgaz	–	–	–	100	2210	2555	2595	2701
Diğer	5	12	12	–	–	11	11	10
Toplam Termik	1510	2407	2987	5244	9551	10093	10335	10443
Hidrolik	725	1780	2131	3875	6764	7114	8379	9682
Genel Toplam	2235	4187	5118	9119	16315	17207	18714	20125

Kaynak: Türkiye Enerji Sektörünün Gelişimi ve Arz-Talep Projeksiyonları (1970-2010), s.38.

Tablo 7’de görüldüğü üzere 1970 yılında 2235 MW olan elektrik enerjisi kurulu gücü 1980 yılında iki katından fazla artarak 5118 MW’a, 1980 yılına göre yaklaşık dört kat artarak 1993 yılında 20125 MW’a ulaşmıştır. 1970 yılında yüzde 68 oranında termik ağırlıklı olan kurulu güç, 1993 yılında da bu ağırlığını korumuş, ancak yüzde 52’ler seviyesine düşmüştür.

1970 ve 1980 yıllarında termik kurulu güç kapasitesi petrol ağırlıklı iken (%56, %53), bu oran 1993 yılında %18 seviyesine düşmüştür. Bu oranın halâ %18'ler seviyesinde olmasının nedeni TEAŞ (TEK) Genel Müdürlüğü'nce yapımları uzun süreden beri durdurulan petrole dayalı santrallerin özellikle otoprodüktörler tarafından tercih edilmelerinden kaynaklanmaktadır.

1970 yılında 350 MW olan taşkömürü santrallerinin kurulu gücü toplam termik kapasite içerisinde %23'lük pay alırken, 1993 yılında kurulu gücün hemen hemen aynı seviyede olduğu ancak payının %3'lere indiği görülmektedir.

1970 yılında 307 MW (%20) olan linyit santrallerinin kurulu gücünde büyük bir artış gerçekleşerek, 1980 yılında 1069 MW'a (%36), 1993 yılında ise 5450 MW'a (%52) ulaşılmıştır.

Doğalgazın enerji sektörümüze girmesi ile ilk doğalgaz santrali 100 MW'lık bir kapasite ile 1985 yılında devreye alınmış ve bu kaynağın konut, sanayi gibi sektörlerin yanısıra elektrik sektöründe de kullanımı hızla gelişmiştir. 1993 yılı sonu itibariyle doğalgaz santrallerinin kurulu güç kapasitesi 2701 MW'a ulaşmıştır.

1970-1993 döneminde kurulu güç kapasitesi hızla artan diğer santraller da hidrolik santrallerdir. 1970 yılında 725 MW olan hidrolik santrallerin kurulu gücü 1980 yılında 2131 MW'a, 1993 yılında ise 9682 MW'a ulaşmıştır. 1984 yılında işletmeye alınan ilk jeotermal santral olan Denizli Kızıldere Santrali 15 MW'lık kurulu güç kapasitesi ile 1993 yılında da işlemededir.⁴⁶

⁴⁶ Türkiye Enerji Sektörünün Gelişimi ve Arz-Talep Projeksiyonları (1970-2010), s.36.

3.4. Elektrik Santralları

Halen inşaatları sürdürülen termik santral projelerinin toplam kurulu gücü 241 MW'dır. Talebi karşılamak amacıyla uzun vadede devreye girecek termik santral projeleri ile birlikte termik kurulu güç mevcut 9200 MW'dan 47300 MW'a ulaşacaktır.

Termik kurulu gücümüz, uzun vadeli programda yeralan projelerle 2000 yılında 20.000 MW, 2010 yılında 47.300 MW'a çıkmaktadır. Üretim kapasitemiz ise mevcut 55 milyar kWh'dan 2000 yılında 117 milyar kWh'a, 2010 yılında 290 milyar kWh'a ulaşmaktadır.

Hidrolik kurulu gücümüz mevcut 6700 MW'dan 2000 yılında 18.300 MW'a, 2010 yılında 27.600 MW'a ulaşacaktır. Hidrolik üretim kapasitemizin ise ortalama enerji bazına göre mevcut 24 milyar kWh'den 2000 yılında 62,2 milyar kWh'e, 2010 yılında da 93,2 milyar kWh'e ulaşacağı planlanmaktadır.⁴⁷

3.5. Enerji Yoğunluğu

Her ülkenin sanayi yapısına ve coğrafi durumuna bağlı olarak milli gelir ve kişi başına birincil enerji ve elektrik tüketim değerleri yani enerji yoğunlukları değişmektedir. Enerji yoğunluk değeri aşağıya çekilebilir. Bu enerji tüketim yapısında, kullanılan teknolojilerde, kişilerin yaşama şekillerinde değişikliğe gidilerek ve enerji tasarruf edilerek sağlanabilir. Tasarruftan amaç aynı mal ve hizmet üretimi için daha az enerji kaynağı kullanılmasıdır. Böylece doğal kaynakların ömrü uzamış, üretim ve tüketim sırasındaki çevre problemleri

⁴⁷ "Genel Enerji Planlaması Çalışmalarının İlk Sonuçları", s.125.

azalacaktır. Böylece enerji kaynakları için daha az finansal kaynak kullanılmış olacaktır.

Enerji yoğunluğunda düşüş, enerji verimliliğinde iyileşmeye işaret eden en iyi göstergedir. Gelişmekte olan ülkelerde mevcut teknoloji düzeyi ve cari enerji fiyatlarıyla, ticari enerji kullanımında yüzde 20 oranında tasarruf edilebileceği belirtilmektedir.

Tablo 8’de gelişmekte olan ülkelerle, OECD ülkeleri arasındaki enerji yoğunlukları karşılaştırılmakta ve bu değerlerin 1973 ile 1989 yılları arasındaki değişimi gösterilmektedir.

Tablo 8
Değişik Ülkelerde Enerji Yoğunluk Değerleri

	1973		1989	
	GBEY	KBEY	GBEY	KBEY
OECD	0.52	4.62	0.40	4.79
Türkiye	0.83	0.62	0.83	0.89
Cezayir	0.16	0.30	0.45	1.08
Nijerya	0.04	0.05	0.16	0.14
Hong Kong	0.28	0.88	0.25	1.90
Endonezya	0.26	0.09	0.38	0.23
Pakistan	0.53	0.11	0.64	0.21
Singapur	0.56	1.86	0.43	3.50
G.Kore	0.65	0.64	0.65	1.89
Tayvan	0.51	0.84	0.50	2.19
Tayland	0.54	0.22	0.47	0.44
Arjantin	0.60	1.34	0.77	1.43
Brezilya	0.41	0.47	0.40	0.66

GBEY: TEP/1000 1985-ABD Doları GSYİH; KBEY: TEP/Kişi

Kaynak: ŞAHİN, Vedat, s.81

Tablo 8'den de izlendiği gibi, OECD'de kişi başına enerji yoğunluğu 4.62'den 4.79'a çıkarken, gelir başına enerji yoğunluğu 1985 fiyatlarıyla 0.52'den 0.40'a düşmüştür. OECD dışı gelişmekte olan ülkelerde enerji yoğunlukları aynı dönemde genellikle artış göstermektedir. Gelişmekte olan ülkelerde kişi başına enerji yoğunlukları OECD ortalaması olan 4.8'in oldukça altındadır. Bunun yanısıra aynı ülkelerdeki gelir başına enerji yoğunlukları OECD ortalaması olan 0.4'ün genellikle üzerindedir.

Gelir başına enerji yoğunlukları, gelişmekte olan ülkeler arasında sadece yeni sanayileşmiş ülkeler sayılan Tayvan, Hong Kong, Singapur, G.Kore gibi ülkelerde azalma göstermektedir. 1973-1989 döneminde Brezilya ve Tayland'da da gelir başına enerji yoğunluğu oranı aşağıya çekilebilmiştir.

Türkiye'de ise aynı dönemde kişi başına enerji yoğunluğu 0.62'den 0.89'a çıkarken, gelir başına enerji yoğunluğu 0.83 gibi çok yüksek bir oran olan değerini korumuştur. Düşük kişi başına enerji tüketim değerlerine karşılık, gelir başına değerlerin ykseklilđi, enerjinin sanayide aşırı şekilde israf edildiğini göstermektedir. Nitekim aynı dönemde sanayi enerji yoğunluğu 0.69'dan 0.75'e yükselmiştir.

Gelişmekte olan ülkelerdeki düşük kişi başına enerji yoğunluk değerlerine karşılık gelir başına yüksek enerji değerleri, bu ülkelerde önemli bir tasarruf potansiyeli olduğunu göstermektedir.

OECD lkeleri ortalaması hedef alındığında ülkemizde de gelir başına enerji yoğunluklarının yarı yarıya aşağıya çekilebileceği düşünülebilir. Sanayide yapılan enerji analizleri, herhangi bir teknoloji değişikliği veya

büyük yatırım gerektirmeksizin, sadece işletmede alınacak tedbirlerle yüzde 20 oranında tasarruf sağlanabileceğini göstermektedir.⁴⁸

3.6. Elektrik Enerjisi-Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYİH)

Elektrik enerjisi alt sektörü, sınırlı sayıdaki diğer kesimlerden girdi alırken kendisi de dahil olmak üzere bütün kesimlere dolaylı ya da dolaysız şekilde girdi sağlar.

Ülkemizde 1973-1992 yılları arasında GSYİH, Tarım/Sanayi/Hizmet sektörlerindeki katma değerler ile tüketilen elektrik enerjisi serileri Tablo 9’da verilmiştir. Elektrik enerjisi tüketimi (E) bağımlı, GSYİH ve sektörel katma değerler (I) bağımsız değişken alınarak aralarında $E = a.I^b$ şeklinde bir bağ olduğu varsayılmıştır. $E_t = a_t.I_t^{b_t}$ modeli, logaritma işlemiyle; “ $\ln E_t = a_t + b_t \ln I_t$ ” şeklinde doğrusallaştırılmış ve regresyon analizi ile katsayılar, $a_t = -25.805$ ve $b_t = 2.01067$ şeklinde bulunmuştur. Modelde korelasyon katsayısı ise (basit korelasyon) $R = 0.994675$ olarak bulunmuştur. Bu durumda GSYİH ile elektrik tüketimi arasında kuvvetli bir ilişki olduğu söylenebilir.

Bilindiği gibi a_t katsayısı, ekonominin yapısal özelliklerine bağlı olmakla beraber, b_t katsayısı birimlerden bağımsız olup elektrik enerjisi tüketiminin GSYİH’na karşı esnekliğini gösterir. Bu esneklik katsayısının 1’den büyük olması, bir birimlik gelir “artışının”, bir birimden daha büyük bir elektrik “artışı” ile sağlanabileceğini gösterir. 1973-1992 yılları arasında, elektrik enerjisi tüketimi ile GSYİH arasındaki ilişkiyi açıklayan b_t ’nin 2.0 civarında olması, GSYİH’nın %1 artması için elektrik tüketiminin yaklaşık %2 artmış

⁴⁸ ŞAHİN, Vedat; s.79.

olduğunu işaret etmektedir. Kalkınma ekonomisine sahip ülkemizde büyüme oranı $g > 0$ olacağı ve esneklik bt yaklaşık 2.0 olduğundan, elektrik enerjisi verimliliği ($V=I/E$) artış hızı $V < 0$ olur. Bu ise elektrik enerjisi verimliliğinin giderek azalacağı anlamına gelir. Başka bir ifadeyle elektrik tüketiminin GSYİH'ya karşı esnekliği 1.0'dan büyük olduğu sürece elektrik enerjisi yoğunluğu (intensity, E/I) giderek artacaktır. R^2 'nin 1'e çok yakın bir değerde bulunması nedeniyle bt katsayısının kararlılığını korumaya çalıştığı söylenebilir.

Ülkemizde 1973-1983 ve 1983-1992 dönemleri için ayrı ayrı esneklik katsayıları bulunacak olursa; milli gelirin %1 oranında artması için 1973-1983 döneminde elektrik enerjisi tüketimi %2.367 oranında, 1983-1992 döneminde ise %1.905 artması gerekmiştir.

Aynı şekilde, tüketilen elektrik enerjisi ile, en önemli üretim sektörü olan sanayi arasındaki ilişki (Tablo 9) $E_i = a_i \cdot I_i^{b_1}$ şeklinde varsayılır. Bu denklem doğrusallaştırılır ve regresyon ile a_i , b_i katsayıları çözümlenirse 1973-1983 periyodu için $a_i = -27.956$, $b_i = 2.264$, 1983-1992 periyodu için $a_i = -10.703$, $b_i = 1.223$ ve 1973-1992 periyodu için $a_i = -14.740$, $b_i = 1.461$ şeklinde bulunur. Korelasyon katsayıları $R(73-83) = 0.962$, $R(83-92) = 0.991$, $R(73-92) = 0.979$ olarak bulunmuştur.

Tablo 9
Gayri Safi Yurt İçi Hasıla ve Elektrik Tüketimi (1987 Yılı Üretici Fiyatlarıyla)

Y I L L A R	GSYİH		Toplam Arz Edilen Elektrik (GWh) Et	GSYİH Yoğun- luk KWh/ bin TL (cari)	TARIM				SANAYİ (İnşaat Dahil (1))					HİZMETLER (Diğer (2))			
	İthalat Vergisi Hariç				Değer (milyon TL) Ia	Sektör Payı (%)	Gelişme Hızı (%)	Arz Edilen Elekt. (GWh) (Ea)	Değer (milyon TL) Iı	Sektör Payı (%)	Gelişme Hızı (%)	Arz Edilen Elekt. (GWh) (E1)	Yoğun- luk kWh/ bin TL (cari)	Değer (milyon TL) Is	Sektör Payı (%)	Gelişme Hızı (%)	Arz Edilen Elekt. (GWh) (Es)
	Değer (milyon TL) It	Gelişme Hızı (%)															
1973	38,194,950.6		10,530.1	0.276	10,565,935.5	25.0		54.3	11,477,240.1	27.1		7,105.4	0.619	16,151,775.0	47.9		3,370.4
1974	40,566,478.7	6.2	11,358.7	0.28	11,231,456.2	25.7	6.3	57.4	12,143,829.0	27.8	5.8	7,578.6	0.624	17,191,193.5	46.5	6.4	3,722.7
1975	43,348,206.9	6.9	13,491.7	0.311	11,583,227.8	25.0	3.1	74.6	13,027,213.4	28.1	7.3	8,745.3	0.671	18,737,765.7	46.9	9.0	4,671.8
1976	47,542,407.8	9.7	16,078.9	0.338	12,391,862.7	24.6	7.0	104.9	14,304,769.6	28.3	9.8	10,505.1	0.734	20,845,775.5	47.1	11.3	5,468.9
1977	49,421,435.7	4.0	17,968.8	0.364	12,162,374.7	23.4	-1.9	128.9	15,071,395.3	29.1	5.4	11,983.1	0.795	22,187,665.7	47.5	6.4	5,856.8
1978	50,236,488.5	1.6	18,933.8	0.377	12,500,379.7	23.8	2.8	130.5	14,946,460.0	28.4	-0.8	12,406.1	0.83	22,789,648.8	47.8	2.7	6,397.2
1979	49,853,436.3	-0.8	19,663.1	0.394	12,493,125.6	23.9	-0.1	149.0	14,432,952.0	27.5	-3.4	12,542.5	0.869	22,927,358.7	48.6	0.6	6,971.6
1980	49,687,133.9	-0.3	20,398.2	0.411	12,636,075.8	24.8	1.1	160.3	14,293,598.3	28.1	-1.0	13,008.0	0.91	22,757,459.8	47.1	-0.7	7,229.9
1981	50,060,390.9	4.8	22,030.0	0.423	12,398,475.1	23.3	-1.9	168.9	15,385,166.3	28.8	7.6	14,241.9	0.926	24,276,749.5	47.9	6.7	7,619.2
1982	53,948,957.7	3.6	23,586.8	0.437	12,786,158.5	23.3	3.1	187.7	15,686,472.5	28.5	2.0	15,197.6	0.969	25,476,326.7	48.2	4.9	8,201.5
1983	56,352,608.1	4.5	24,465.1	0.434	12,666,920.5	22.1	-0.9	224.1	16,992,870.6	29.7	8.3	15,575.7	0.917	26,692,817.0	48.2	4.8	8,665.3
1984	60,129,955.1	6.7	27,635.2	0.46	12,727,499.2	20.7	0.5	260.1	18,736,527.4	30.5	10.3	18,027.1	0.962	28,665,928.5	48.8	7.4	9,348.0
1985	62,275,339.7	3.6	29,708.6	0.477	12,669,498.2	19.8	-0.5	311.4	20,181,582.8	31.6	7.7	19,607.7	0.972	29,424,258.7	48.6	2.6	9,789.5
1986	66,180,506.1	6.3	32,209.7	0.487	13,254,659.7	19.4	4.6	325.7	22,411,997.5	32.8	11.1	20,885.9	0.932	30,513,848.9	47.8	3.7	10,998.1
1987	72,070,283.8	8.9	36,697.3	0.509	13,314,271.3	17.8	0.4	397.5	24,727,358.4	33.1	10.3	23,872.9	0.965	34,028,654.1	49.1	11.5	12,426.9
1988	73,927,046.1	2.6	39,721.5	0.537	14,356,431.9	18.9	7.8	424.9	24,777,175.6	32.6	0.2	25,257.6	1.019	34,793,438.6	48.5	2.2	14,039.0
1989	74,181,312.9	0.3	43,120.0	0.581	13,272,219.6	17.2	-7.6	464.1	26,000,384.6	33.6	4.9	27,602.7	1.062	34,908,708.7	49.2	0.3	15,053.2
1990	80,142,720.2	8.0	46,820.0	0.584	14,176,792.5	16.8	6.8	575.1	27,713,573.1	32.8	6.6	29,211.8	1.054	38,252,354.6	50.4	9.6	17,033.1
1991	80,776,768.0	0.8	49,282.9	0.61	14,048,842.6	16.5	-0.9	711.8	28,381,373.1	33.4	2.4	28,511.8	1.005	38,346,552.3	50.1	0.2	20,059.3
1992	85,418,868.7	5.7	53,984.7	0.632	14,651,065.7	16.2	4.3	859.4	30,082,696.0	33.3	6.0	31,535.7	1.048	40,685,107.0	50.5	6.1	21,589.6

Kaynak: TÜRKÖĞLU, M.-ÖNAL, E.-YILDIRIM, N.; s.72.

It= Ia + Iı + Is Et = Ea + e1 + es

- (1) Maden Kömürü ve Linyit üretimi, Maden kömürü ve Linyit dışı diğer ürt. Gıda, Meşrubat, İçki, Tütün Sanayii, Tekstil, Deri ve Giyim Sanayii, AÇağ işleri ve Kağıt Sanayii, Kauçuk, Lastik ve Plastik sanayii, Kimya Sanayii, Toprak ve Çimento Sanayii, Demir, Çelik Üretimi ve İşletme Sanayii, Makina Elekt. Aleti. ve ulaşım Araç Yapımı, Organize ve Diğer Fabrikasyon Sanayii, İnşaat Bayındırlık toplamıdır.
- (2) İdare ve Kamu Hizmet Sektörü, Ticaret, El Sanatları, turizm ve Diğer Hiz., Ulaşım, Haberleşme, Genel Aydınlatma, Mesken İçi Hizmetler toplamıdır.

Gerek GSYİH seviyesinde gerekse sanayi sektöründe elektrik enerjisi tüketiminin GSYİH'na karşı esnekliği incelenen bütün periyotlarda 2'ye yakın ve değişkenler arasındaki ilişkiyi açıklayıcılık oranı (R) 1'e çok yakın olduğu gözönüne alınarak, çıktının (GSYİH), girdiye (elektrik tüketimi) karşı esnekliği 1/2 olduğu ve dolayısıyla Türkiye ekonomisinin elektrik enerjisi kullanımında azalan getiri süreci içerisinde bulunduğu söylenebilir.⁴⁹ Elektrik esnekliği Tablo 10'da verilmektedir.

Tablo 10
Elektrik Esnekliği

	1973-1983			1983-1992			1973-1992		
	a	b	R	a	b	R	a	b	R
Elektrik-GSYİH	-32.111	2.367	0.988	-23.912	1.905	0.994	-25.805	2.011	0.995
Elektrik-San.									
Kat.Değ.	-27.956	2.264	0.962	-10.703	1.223	0.991	-14.740	1.461	0.979

Kaynak: TÜRKOĞLU, M.-ÖNAL, E.-YILDIRIM, N.; s.73.

⁴⁹ TÜRKOĞLU, M.-ÖNAL, E.-YILDIRIM, N.; "Ekonomide Elektrik Enerjisi Girdisi ve Tahminler", Türkiye 6.Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri, Cilt:6, 17-22 Ekim 1994, İzmir, s.61.

İkinci Bölüm

ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARINDAN RÜZGAR VE GÜNEŞ ENERJİSİ UYGULAMALARI VE EKONOMİK ANALİZİ

Ülkemizde kalkınma ve nüfus artışına paralel olarak toplam enerji tüketimimiz hızla artarken, üretim aynı hızla artmamaktadır. Dolayısıyla tüketim-üretim farkı yıl geçtikçe büyümektedir. Bu fark 1980 yılında 15 milyon TEP iken, 1985'te 17 milyon TEP'e, 1990'da 27 milyon TEP'e ve 1993'te 34 milyon TEP'e ulaşmıştır. Bir başka deyişle enerji açığımız son 13 yılda iki kattan daha fazla artmıştır. 1993 yılında yerli üretimin, tüketimi karşılama oranı %44'tür.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yapılan tahminlere göre, 1993 yılında yaklaşık 61 milyon TEP olan birincil enerji talebimizin 2000 yılında 90, 2010 yılında 155 milyon TEP olması beklenmektedir. Buna karşılık, yine 1993'te 27 milyon TEP olan toplam üretimimiz 2000 yılında 39, 2010 yılında ise 59 milyon TEP'e ulaşacaktır. Buna göre, 2000 yılındaki enerji açığı

51 milyon, 2010 yılındaki açık ise 96 milyon TEP seviyesinde olacaktır. 2010 yılında yerli üretimimiz, toplam tüketimin ancak %38'ini karşılayabilecektir.

1993 yılında 34 milyon TEP dolayındaki enerji açığı, yaklaşık 3 milyar dolarlık kaynak ithalatı ile kapatılmıştır. Önümüzdeki 14 yıl boyunca fiyatların artmayacağı varsayılsa bile, 2010 yılında enerji kaynağı ithalatı için yaklaşık 10 milyar dolar ödenmesi gerekecektir. Kaldı ki dünyadaki rezervleri giderek azalan petrol ve doğalgaz gibi kaynakların fiyatlarının gelecek yıllarda önemli ölçüde artması muhtemeldir. Çünkü her iki kaynağın bugünkü tüketim hızıyla dünyaya ancak 50 yıl yeterli rezervleri bulunmaktadır.⁵⁰

Birincil enerji üretim ve tüketimimizdeki açıkları kısaca dile getirdik. Elektrik sektöründe yaşanabilecek muhtemel sorunlara gelince...

Türkiye'de faaliyette olan 99 hidroelektrik santralının kurulu gücü 9 bin 933 megavat olurken, elektrik üretimi ise 36 milyar 354 milyon kilovatsaattir. Buna inşaatı devam eden ve ileriki yıllarda programa alınan santraller eklendiğinde kurulu potansiyel güç 35 bin 455 megavata ve elektrik üretimi de yılda 125 milyar kilovatsaate ulaşacaktır.

Elektrik Mühendisleri Odası, elektrik tüketiminin son yılın ortalamasıyla yüzde 6-7 arttığı kabul edildiğinde şimdilik elektrik sıkıntısının söz konusu olmadığını belirtmektedir. Ancak yatırım yapılmadığı ve var olan yatırımlar devam etmediği için iki yıl sonra sıkıntı yaşanabileceği açıklanmaktadır.

Elektrik sıkıntısının yaşanmasına neden olarak gösterilen tüketim artışının son 5 yıllık gelişimine bakıldığında, Türkiye genelinde sanayinin kullanımı

⁵⁰ ÜNALAN, Güner; s.13.

toplam tüketim içinde 1990'da yüzde 62'den 1995'te yüzde 55'e gerilemiştir. Buna karşın tüketim miktarı 29 milyon kilovatsaatten 37 milyon kilovatsaate çıkmıştır. Konutlardaki tüketim 1990'da 9 milyon kilovatsaatten 1995'de 15 milyon kilovatsaate yükselmiştir. Kamu kuruluşlarındaki toplam tüketim de 1990 yılında 2 milyon 600 bin kilovatsaatten 1996 yılında 5 milyon 200 bin kilovatsaate çıkmıştır.

Türkiye'nin elektrik konusunda en büyük sorunlarından birinin de hat kayıpları olduğu dikkat çekmektedir. TEAŞ'ın yüzde 6 olan kendi iç tüketimi de eklendiğinde kayıpların yüzde 22'ye vardığı kaydedilmektedir. Elektrik Mühendisleri Odası'na göre, kayıpların OECD ortalamalarına çekilmesi halinde bile yüzde 6-7'lik bir kazanç olacaktır. Bu da Türkiye'nin 1995 ortalamasıyla yüzde 7 oranında artan enerji tüketimini karşılar. Kayıplar minimuma indirildiğinde ise yüzde 15'lere varan enerji fazlası sağlanacaktır ve bu önemli bir rakamdır.⁵¹

Türkiye'nin enerji kaynakları, miktar ve kalite olarak yetersiz, yüksek maliyetli ve kullanımda çevre sorunludur. Bu nedenle ülkemizde enerji daima kıt bir kaynak olma özelliğini koruyacak, ithal enerji kaynaklarına bağımlılık ciddi oranlara ulaşacaktır. Dünya fosil enerji kaynakları giderek tükenmektedir. Azalan ekonomik rezervler ve artan talep ile birlikte uluslararası enerji fiyatları ve buna paralel olarak ithal maliyetleri artacaktır.⁵²

Gelişen dünya ve ülkemizde gelecekte, mevcut birincil enerji kaynaklarının yeterli olamayacağı açık bir şekilde görülmektedir. Bu nedenle tükenmez birincil enerji kaynaklarından elektrik enerjisinin üretiminde optimum şekilde faydalanılması gerekmektedir. Bu kaynaklar doğada mevcut

⁵¹ ÇELİK, Ahmet-UZUN, Soner; "Elektrik Sorununa Temiz Çözüm", *Cumhuriyet Gazetesi*, 24 Nisan 1996, s.7.

⁵² ŞAHİN, Vedat; s.126.

olup, sağlanabilmesi kolaydır. Ayrıca doğanın dengesi bozulmadığı gibi çevre ve insan sağlığına da bu kaynakların kullanımı zarar vermemektedir. Bu bölümde yenilenebilir diye adlandırdığımız kaynaklardan rüzgar ve güneş enerjisi uygulamalarına yer vereceğiz. Alternatif enerji kaynaklarının kullanımı 1970'lerden bu yana sürekli artmaktadır. Bu kaynaklara verilen önem iki amacı birden kapsamaktadır. Birincisi enerji kaynaklarını çeşitlendirmek ve güncelleştirmek, ikincisi atmosfere daha az karbon atarak çevreyi korumaktır.

A. ENERJİ SORUNUNA ALTERNATİF ÇÖZÜM OLARAK RÜZGAR ENERJİSİ UYGULAMALARI

1. RÜZGAR ENERJİSİNİN DÜNYADAKİ DURUMU

Günümüzde kullanılan mevcut fosil kökenli enerji kaynaklarının büyük bir kısmının tükenebilir nitelikte olması ve tükenmeye başlaması dünyayı oldukça etkilemektedir. Bu nedenle insanlık alternatif ve daha kullanışlı enerji kaynaklarının arayışına girmiştir. Bu alternatif enerji kaynaklarının en önemlilerinden biri de rüzgar enerjisidir. Rüzgar enerjisi, diğer yenilenebilir enerji kaynakları gibi, insanlığın gelecekte büyük ölçekte kullanmayı tasarladığı çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Yani enerji kaynakları arayışı çalışmalarında öncelik kazanmasının başlıca nedeni, tükenmez ve temiz olmasının yanı sıra, ekonomik kriterlere dayamaktadır. Rüzgar enerjisi teknolojilerinin 80'li yıllardaki gelişmiş, on yıl içinde rüzgardan üretilen elektriğin birim fiyatını yaklaşık on kat azaltmıştır.⁵³

⁵³ GÜNEY, İrfan-TERZİ, Ümit K.; "Rüzgar Enerjisi Teknolojileri ve Kullanımının Türkiye'deki Gelişimi", **Türkiye 6. Enerji Kongresi**, Teknik Oturum Tebliğleri, Enerji Kaynakları, Cilt: I, 17-22 Ekim 1994, İzmir, s.382.

Dünyanın rüzgar enerjisi potansiyelini belirlemek oldukça zordur. Fakat bazı hesaplamalar yapılmış ve ham rüzgar potansiyelinin maksimum %10'luk kısmının kullanılabileceği belirlenmiştir. Bu değer dünyanın elektrik ihtiyacının tamamına eşdeğerdur. Ancak %1'lik bir tasarımla ihtiyacın %10'luk kısmının rüzgar enerjisiyle karşılanması daha gerçekçidir.

Bugün bütün dünyada kurulmuş olan rüzgar türbinlerinin gücü sadece 4 GW'tır. Bunun %70'i A.B.D.'nde ve yaklaşık 1000 MW'lık bir kısmı da Batı Avrupa'dadır. Bu değerın 2000 yılında 5000 MW ve 2020'de ise 20 GW'ın üzerinde olması doğrultusunda gerekli planlamalar tamamlanmıştır.

Avrupa'da en yüksek rüzgar potansiyeline sahip olan Danimarka ve İngiltere elektrik ihtiyaçlarının sadece %2'sini rüzgar türbinlerinden sağlamaktadır. Bu, Avrupa'nın aktif durumdaki rüzgar enerjisi üretim kapasitesinin dörtte üçüdür. Temmuz 1991 itibariyle Avrupa Topluluğu ülkelerinde kurulu güç kapasitesi; Hollanda 55 MW, Almanya 55 MW, İngiltere 10 MW, Yunanistan 5 MW, İtalya 5 MW, Belçika 2 MW, Portekiz 2 MW, Danimarka 360 MW olarak toplam 494 MW'tır. Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği'nin (EWEA) açıkladığı hedef 2030 yılına kadar Avrupa'nın %10'luk elektriğinin rüzgar enerjisinden elde edilmesidir. Bu 100 GW'a veya bugünkü tipik büyüklüklerde 200.000 adet rüzgar türbininin herbirinin 500 kW kapasiteyle çalışmasına eşdeğerdur.⁵⁴

1.1. Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

Rüzgar, kinetik enerjisi nedeniyle doğal bir potansiyele sahiptir. Buna rüzgar enerjisi doğal potansiyeli denir. Doğal rüzgar potansiyelinin ülke

⁵⁴ TÜRKSÖY, Ferdi; "Rüzgar Enerjisi; Dünyadaki Yeri ve Türkiye İçin Önemi", **Türkiye 6. Enerji Kongresi**, Teknik Oturum Tebliğleri, Cilt: I, 17-22 Ekim 1994, İzmir, s.435.

genelinde belirlenebilmesi ancak sıhhatli ve uzun süreli ve çok sayıda noktasal rüzgar ölçümlerinin var olması ile mümkündür. Topoğrafyanın rüzgar rejimi yönünden önemli bir etken olması, rüzgar enerjisi açısından bir avantaj olduğu gibi aynı zamanda bir dezavantajdır. Rüzgar enerjisinin yoğun olduğu bölgelerde birden fazla rüzgar enerjisi sistemi kurularak enerji üretim merkezlerinin oluşturulması mümkündür.

Rüzgar enerjisinden istenilen düzeyde yararlanmak için uygun dizayn, inşaa usulleri ve tesis yeri gibi içiçe olan öğelerden meydana gelen meseleye üç ana aşamada yaklaşmak gerekmektedir. Bunlar sırasıyla;

- a. Tesisin kurulacağı bölgede rüzgar ölçümleri yapılarak rüzgar karakteristiklerinin tayini ve yer seçimi,
- b. Amaçlara ve rüzgar özelliklerine uygun tip ve büyüklükte makinelerin dizaynı ve geliştirilmesi,
- c. Sistemlerin enerji depolanmasına ihtiyaç göstermeden verimli olarak çalışmasının temini olarak sıralanabilir.⁵⁵

1.2. Rüzgar Türbinleri ve Uygulama Alanları

1970'li yıllardan bu yana, Rüzgar Enerjisi Dönüşüm (RED) sistemlerinin tasarım, malzeme, kontrol ve özellikle kanatın aerodinamik yapısında önemli gelişmeler olmuştur.

Genel olarak RED sistemleri 3 gruba ayrılabilir.

1. Küçük Güçlü Sistemler: (0-10 kW)
2. Orta Güçlü Sistemler: (10-100 kW)
3. Büyük Güçlü Sistemler: (>100 kW)

⁵⁵ GÜNEY, İrfan-TERZİ, Ümit K.; s.384.

Kullanma amacına göre ise;

1. Akülü küçük sistemler (0-5 kW gücünde)
2. Karma sistemler (Diesel+PV)
3. Şebeke bağlantılı sistemler şeklinde sıralayabiliriz.

Rüzgar enerji sistemlerinde elde edilen güç üretimi kesikli ve birim çıkış gücü konvansiyonel güç tesislerine göre düşüktür. Bu sorunlara ve sistemdeki diğer problemlere çözüm getirebilmek için “rüzgar tarlası” kavramı geliştirilmiştir. RED sistemlerinin geniş bir alan üzerine yayılması ile enerji çıkış kararlılığında bazı iyileştirmeler sağlanır. Ancak, sabit bir güç elde etmek için, çıkış gücü yüksek türbinlerin en iyi şekilde tasarlanması gerekir.⁵⁶

Rüzgar enerjisi günümüzde gerek kırsal kesimde elektrik enerjisinin yerel üretim-tüketim amacıyla, gerekse enterkonnekte sistemi beslemek amacıyla elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır. Elektrik iletim ağlarındaki kayıplar yaklaşık %20'lere ulaşmaktadır. Bu nedenle elektrokonnekte sistemi beslemede RED sistemleri Batıda yaygın olarak kullanılmaktadır. Enterkonnekte sistemin ulaşmadığı uzak yerleşim merkezlerinde, yangın gözetleme kulelerinde ve çiftliklerinde, dağ evlerinde, deniz fenerleri gibi elektrik enerjisine ihtiyaç duyulan yerlerde rüzgar enerjisinden yararlanılmaktadır.

Bu sistemler, pervane milinden gelen döndürme momentinin bir devir yükselticisi üzerinden jeneratöre gönderilmesinden ibarettir. 0-10 kW arasında kurulu güce sahip türbinler daha çok izole uygulamalarda kullanılırken bu gücün üzerindeki türbilerin verimli çalışabilmeleri ancak şebekeye bağlı olarak işletilmeleri ile mümkün olmaktadır. İzole sistemler, genellikle biriktirme

⁵⁶ Rüzgar Enerjisi, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Ankara, 1992, s.18.

üniteleri ile birlikte kullanılmakta ve çoğu zaman DC gerilim üretmektedirler. Şebekeye bağlı çalıştırılan türbinler ise, devir yükseltme oranının, belli bir frekans değerinin sabit tutulabilmesi için jeneratörün kutup sayısına göre belirlenmesi gerekmektedir.

Son on yılda rüzgar türbini teknolojisindeki gelişmeler, bir tek rüzgar türbininin kurulu gücünü 3000 kW'a kadar yükseltmiştir. Bu sistemlerde 6 ay-1 yılda bir yapılan genel bakım faaliyeti dışında hiçbir müdahaleye gerek kalmaksızın elektrik üretimi sağlanabilmektedir. Tamamen otomatik kontrolle çalıştırılan çeşitli mekanizmalar, maksimum performansın elde edilmesi için türbinlerin rüzgarla etkileşimlerini düzenlemektedir.

Bu sistemlerin, pervane milinden gelen döndürme momentinin krank mekanizmasına benzer bir sistem aracılığı ile mekanik harekete dönüşmesi mümkündür. Yeryüzü seviyesinden veya derin kuyulardan su pompalaması, çeşitli mekanik aletlerin çalıştırılması gibi amaçlara yönelik olarak kullanılanılabilen bu türbinler, daha çok kırsal kesimdeki enerji ihtiyacı karşılanmasında talep bulunmaktadır.⁵⁷

Kısaca rüzgar türbinleri; elektrik enerjisi elde etmek, yahut tasarrufu sağlamak, enterkonnekte elektrik sistemini beslemek, su pompalamak ve ısıtma gibi alanlarda uygulama olanakları bulmaktadır.

1.3. Ekonomik ve Çevresel Etkiler

Rüzgar enerjisi yeryüzünün erişilebilir yüksekliklerine kadar gökyüzünden uçmakta olan kağıt paralar gibi düşünülebilir. Rüzgar türbinleri, bu enerji kaynağının bol olduğu yörelerde kurulabilirse, yeryüzüne indireceği

⁵⁷ GÜNEY, İrfan-TERZİ, Ümit K., s.386.

para miktarı o kadar fazla olacaktır. Rüzgar enerjisi ABD'de yayınlanan resmi bir raporda en ucuz ikinci enerji kaynağı olarak tanımlanmıştır.

Ülkemizin ihracat gelirlerinin büyük kısmını petrole ödemekteyiz, dolayısıyla enerji bitmeyen ihtiyacımızdır. Enerji özellikle tasarruf sağlayıcı, hemen sonra da gelir getirici büyük etkiler oluşturur, kat kat milli gelir artışı sağlar. Birim yatırım karşılığında daha fazla verim ve kapasite faktörü sağlayan rüzgar türbinleri, geri ödeme sürelerini daha da kısaltabilecektir.

Rüzgar enerjisinin daha da ucuz bir enerji haline gelmesi durumunda, sanayi sektöründe verimliliğe etkisi büyük olacaktır. Örneğin biyogaz tesislerinde, karıştırma ve ısı ihtiyacı rüzgar türbinlerinin shaft gücü ile kolaylıkla karşılanarak bu tesislerin bu nedenle kışın atıl kalmaları önenebilir.⁵⁸ Rüzgar türbinlerindeki shaft gücü, örnekteki uygulamaya benzer pek çok alanda kullanılabilir.

Yenilenebilir enerji teknolojileri ile elektrik üretimi, giderek azalan maliyetlerle gerçekleştirilmektedir. Dünyanın sayılı ticari elektrik üreticisi şirketlerinden Pacific Gas and Electric, rüzgarı yüzyılın sonunda en ekonomik elektrik üretim kaynağı olarak görmektedir. Rüzgarın bugün nükleer enerji ile rekabet edebildiği ve çok kısa zamanda fosil yakıtlarla başedebileceği sonucuna varılmıştır. Rüzgar enerjisi yerli ve kesintisiz bir kaynak olarak ülkelerin enerji güvenliği için stratejik önemdedir.

Rüzgar enerjisinden elektrik üretiminin büyük ölçekte gerçekleşebilmesinin önündeki en önemli engel, konvansiyonel enerji kaynaklarına göre daha fazla ilk yatırım gerektirmesi ve birim elektriğin pahalı

⁵⁸ ŞENER, Yavuz Ali; "Rüzgar Türbinlerinde Tasarım Gelişmeleri", **Türkiye 5. Enerji Kongresi**, Teknik Oturum Tebliğleri, Cilt: 4, 22-26 Ekim 1990, Ankara, s.239.

olmasıdır. Fakat bu durum geçen on yıl içinde çok değişmiştir. Günümüzde bazı Avrupa ülkelerinde rüzgar enerjisinden üretilen elektrik kömürden üretilen elektrikten daha ucuzdur.⁵⁹

Rüzgar enerjisinin aktardığımız bu ekonomik etkileri yanında çevresel etkileri de vardır. Rüzgar türbinlerinin çevreye etkilerini olumlu ve olumsuz etkiler olarak iki kısımda inceleyebiliriz.

Tek bir rüzgar türbininin çevresel etkisi önemli değildir. Büyük rüzgar tarlalarının belirli etkileri olmakla birlikte, çevresel tehlikeler oluşturduğu söylenemez. Bu etkileri şöyle sıralayabiliriz;

-Dönen sistemlerin montaj, bakım ve işletilmesinden doğan güvenlik sorunları: Rüzgar enerjisi teknolojisinin güvenliği oldukça iyidir. Bir kaç ciddi kaza olmuştur. Ancak, bunlar teknik hatalar, kötü yönetim ve yönetmeliklerdeki emniyet eksikliği sonucunda olan insan yaralanmalarıdır. Modern rüzgar türbinleri, makine bileşenlerinin arızalarında erken uyarı veren gözlem sistemleriyle donatılmıştır.

-Görüntü ve estetik etki: Rüzgar türbinlerinin görsel etkisi, üzerinde en çok tartışılan bir konudur. Estetik oldukça kişisel bir kavramdır. RED sistem dizilerinin arazi boyunca görünüşü insanlara sevimsiz gelebilir. Bununla birlikte, RED sisteminin tasarım ve yer seçimi sırasında estetik faktörler gözönüne alınarak, bu tür sorunlar en aza indirilebilir. Yapılan bir çalışma, halkın temiz enerjiye karşılık estetikten bir miktar özveride bulunabileceğini göstermiştir.

⁵⁹ GÜNEY, İrfan-TERZİ, Ümit K.; s.389.

-Gürültü: Bu sorunun anlaşılabilmesi için RED sistemleri tarafından üretilen duyulabilir ($f= 16-20$ Hz) ve duyulamaz seslerin ($f<16$ Hz) incelenmesi gerekir. Şimdiye kadar yapılan testlerin sonucuna göre, hem küçük hem de büyük RED sistemlerinin oluşturduğu işitilebilir gürültü, büyük çevresel etki göstermemektedir. Bütün testlerde kaydedilen gürültü seviyesi, RED sisteminin çok yakınındaki yerlerde bile kabul edilebilir düzeydedir. NASA'nın kullandığı sınır kriteri 50 dB (A)'dır. Örneğin, 8 m/sn rüzgar hızında 300 kW'lık tipik bir modern rüzgar türbininin oluşturduğu gürültü, 200 m uzaklıkta 45 dB (A) mertebesindedir.⁶⁰

-Arazi kullanımı: Rüzgar tarlaları, arazi kullanımında çift avantajla sahiptirler. Rüzgar enerjisi, geniş bir araziye yayılmış türbinlerin rüzgarından hem yayılır hem toplanır. Yüzde 99'u rüzgar çiftliği tarafından işgal edilmiş bir arazide, aynı zamanda tarımsal kullanım devam edebilir veya doğal yaşam devam edebilir. Örneğin, Danimarka'da 29,225 kW'lık modern bir rüzgar çiftliği, arazinin sadece yüzde 1'ini işgal etmektedir.

-Haberleşmeye girişim: Rüzgar türbinleri, haberleşmeye girişim yapabilir, fakat mikrodalga rotaları uzaklaştırılarak bu problemin üstesinden gelinebilir. Rüzgar tarlaları, havaalanları ve haberleşme merkezlerinin uzağına kurulabilirler.⁶¹ Büyük rüzgar türbinlerinden 2-3 km uzakta bu etkiler önemsizdir.⁶²

Kaliforniya'da kurulu rüzgar güç santralleri ve tüm dünyada kırsal kesim ve bu şekeden uzak köylerde gerçekleştirilmiş uygulamalar, rüzgar enerjisinin çevreyi kirletmeden elektrik üretmede önemli bir kaynak olduğunu

⁶⁰ **Rüzgar Enerjisi;** s.26.

⁶¹ Wind Energy In Europe, Time For Action, Published October 1961 by The European Wind Energy Association, s.13.

⁶² **Rüzgar Enerjisi;** s.28.

kanıtlamıştır. Rüzgar enerjisi sadece yenilenebilir değil, temiz ve çevreyi kirletmeyen bir enerji kaynağıdır. Kaliforniya'da her yıl yaklaşık 1.36 milyar kg. karbondioksit ve diğer kirletici gazların atmosfere atılmasını rüzgar türbinleri kullanımı önlemektedir. Çevresel değerlendirmeler ışığında rüzgar enerjisi gelecek vaatmektedir.⁶³

Rüzgar enerjisi uygulamaları, verdiğimiz örneklerle sınırlı değildir. Bir çok ülkede, çevre kirliliği yaratmaması ve tükenmez bir kaynak olması nedeniyle çeşitli alanlarda uygulanmaktadır. Türkiye'de de bu konudaki çalışmalar, bazı üniversite ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından yürütülmektedir.

2. RÜZGAR ENERJİSİNİN TÜRKİYE'DEKİ DURUMU

2.1. Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

Bugüne kadar Türkiye'nin rüzgar enerjisi potansiyeli rüzgardan enerji üretimine yönelik olarak belirlenememiştir. Bu nedenle E.İ.E. İdaresi bir çalışma başlatmıştır. Bu çalışmanın ilk aşamasında Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün 114 istasyonundan elde edilen rüzgar verilerinin 1970-1980 yılları arası kayıtları esas alınarak, ülkemizin rüzgar potansiyeli ve rüzgar enerjisi için uygun yerler kabaca tesbit edilmiştir. Bu sonuçlara göre, Türkiye'nin yıllık ortalama rüzgar hızı 2.5 m/sn ve rüzgar gücü yoğunluğu 24/W m² olarak bulunmuştur.

Türkiye'nin rüzgar enerjisi potansiyeli bölgelere göre incelenirse Marmara ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin, rüzgar yoğunluğu açısından, diğer bölgelere göre daha zengin olduğu Tablo: 11'de görülmektedir.

⁶³ GÜNEY-İrfan-TERZİ, Ümit K.; s.388.

Tablo 11
Rüzgar Potansiyelince Zengin Bölgeler

Bölge Adı	Ort. Rüzgar Gücü Yoğunluğu (W/m ²)	Ort.Rüzgar Hızı (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
Güneydoğu A.	29.33	2.69
Marmara	51.91	3.29

Kaynak: Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri, Cilt: 1, s.368.

Rüzgar enerjisinin zamansal ve bölgesel değişimi topografik özelliklere bağlıdır. Bu nedenle, Türkiye genelinde sınırlı sayıdaki istasyonlardan elde edilen ölçümlere dayanarak, bu kaynağın potansiyeli hakkında bir rakam vermek anlamlı değildir. Meteoroloji istasyonları tarafından toplanan rüzgar ölçümleri, sadece istasyonun kurulduğu sınırlı bölgenin özelliklerini yansıtmaktadır. İstasyonun bulunduğu yörenin hemen yakınında, çok farklı nitelikte rüzgar rejimine rastlamak mümkündür.⁶⁴

Rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi eldesine yönelik potansiyel belirleme çalışmalarını başlatan E.İ.E.İ. Genel Müdürlüğü, bu amaçla, ilk Rüzgar Enerjisi Gözlem İstasyonu'nu Çanakkale'nin Karabiga ilçesinde

⁶⁴ URAL, Gürkan; "Rüzgar Enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye'deki Durumu", Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri, Cilt: I, 17-22 Ekim 1994, İzmir, s.368.

kurmuştur. 1991 yılı içerisinde ise, sırasıyla; Nurdağ (Gaziantep), Gökçeada (Çanakkale) ve Şenköy (Hatay) yörelerinde 3 istasyon daha kurulmuştur. Halen bu istasyonlardan elde edilen veriler toplanmakta, diğer taraftan, rüzgar enerjisi gözlem istasyonlarının da olanaklar oranında artırılması çalışmaları sürdürülmektedir.⁶⁵

2.2. Türkiye’de Rüzgar Enerjisiyle İlgili Çalışmalar

Rüzgar türbin-jeneratör sistemlerindeki son teknolojileri izlemek ve ülkemiz genelinde bu teknolojiye azami oranda yararlanmak amacıyla Elektrik İşleri Etüt İdaresi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi ile ortaklaşa bir proje başlatmıştır. Bu proje kapsamında bir rüzgar türbin-jeneratör sistemi E.İ.E.İ. tesislerine kurulmuştur. Ülkemizde ilk kez tesis edilen bu sistemin, generatör, kule ve kontrol birimi yerli imkanlarla üretilmiştir.

Sistemin türbini SAAB-ERICSSON VA3, Dorrieus tipi, üç kanatlı, dikey eksenlidir. Kanatların uzunluğu ve çapı 3 m olup, rüzgara karşı alanı 9 m²’dir. Türbin ağırlığı 500 kg’dır. Kanatların dönmeye başlama hızı 4 m/sn’dir. 8 m/sn rüzgar hızında ise nominal güce erişmektedir. Sistemde 3 fazlı senkron generatör vardır. RED sistemi, 17 m yükseklikte, 4 ayaklı galvanizli çelik kafes tipinde, 4750 kg. ağırlığında ve 50 m/sn rüzgar hızına dayanabilecek bir kule üzerine monte edilmiştir. Sistemin gücü 1.1 kW’dır. 48 V’luk akü grubu ile donatılmıştır.

E.İ.E. İdaresi ayrıca rüzgar enerjisinden mekanik enerji olarak faydalanılması konusunda da bir proje başlatmıştır. Projenin amacı:

⁶⁵ ŞENOCAK, Gülnur; “Alternatif Enerji Kaynakları”, Türkiye Elektrik Kurumu Dergisi, Ocak-Mart 1992, Sayı: 72, s.25.

- Mevcut teknolojinin izlenmesi ve bilgi birikiminin sağlanması,
- Bu sistemlerin bakım-onarım ve işletim konularında deneyim kazanılması,
- Yurt içinde imalat ve kullanım olanaklarının araştırılması,

şeklinde özetlenebilir.

Yukarıdaki amaçlar doğrultusunda yurtdışından ithal edilen rüzgar su pompalama sistemi E.İ.E.İ. tesislerine kurulmuştur. Bu sistem, 6 kanatlı bir türbin ve maksimum kapasitesi 14.4 m³/gün (7 m/sn'de), basma yüksekliği 5 m, emme yüksekliği 7 m olan bir emme basma tulubadan oluşmaktadır. Türbinin yerden yüksekliği 6 m'dir ve 3 m/sn rüzgar hızında çalışmaya başlamaktadır.

Bu proje kapsamında, rüzgar su pompalama sisteminin tasarım ve imalatı, E.İ.E. İdaresi Genel Müdürlüğü tarafından yapılmıştır. Sistem düşük hızda su pompalayabilmektedir. Kuyruk valfi yardımıyla yön bulma özelliğine sahiptir. Kapasitesi 3 m/sn rüzgar hızında 5.35 m³/gün'dür.⁶⁶

1984 yılında TÜBİTAK Makine ve Enerji Sistemleri Araştırma Bölümü'nde NATO destekli olarak "Rüzgar Enerjisi Teknolojileri" projesi başlatılmıştır. 1986 yılında Merkez destekli hale gelene kadar geçen sürede, dünyada rüzgar enerjisiyle ilgili o güne kadar yapılmış çalışmaların özümsemesine çalışılmıştır. Geçen zaman içerisinde projenin gelişimi, Rüzgar Enerjisinden Yararlanma Programı dahilinde gerçekleştirilerek, şu sonuçlara erişilmiştir:

-Türkiye için bir rüzgar uygulama programı oluşturulmuştur.

-Türkiye'de çoğu Devlet Meteoroloji İstasyonlarında yapılan rüzgar ölçümlerinin olduğu gibi kullanımının, enerji eldesinde kullanıldığında yanıtıcı olacağı kanıtlandığından, DPT'den alınan ek mali destek ile Türkiye Rüzgar

⁶⁶ **Rüzgar Enerjisi**; E.İ.E.İ. Genel Müdürlüğü, Ankara, 1992, s.15.

Atlas İstatistiklerinin hesaplanması çalışmaları 20 meteoroloji istasyonu çevresinde gerçekleştirilmiştir,

-Ülkemizde konu ile ilgilenen kuruluşlar biraraya getirilerek işbirliği ortamı hazırlanmıştır.

Bu bağlamda rüzgar enerjisi alanında Merkezde yapılan somut iki çalışma; Rüzgar İstasyonları Verilerinin Analizi ile Türkiye Rüzgar Atlası Araştırmaları'dır.

Rüzgar enerjisi ile ilgili olarak Türkiye Elektrik Kurumu (TEK) Genel Müdürlüğü'nde de 1986-1987 yıllarında bir çalışma başlatılmış, ancak bu çalışma, çeşitli nedenlerden ötürü sürdürülememiştir. Ülkemizde rüzgar enerjisine ilişkin ar-ge çalışmalarında oldukça büyük bir birikim sağlanmış olmasına rağmen, bu büyük birikim, ne yazık ki, henüz devlet eliyle uygulamaya geçirilememiştir.

Türkiye'de halen ticari amaçlı kullanımda bulunan ilk ve tek rüzgar türbo-generatörü (rtg) Çeşme'de (İzmir) bir turistik tesiste bulunmaktadır. Kurulu gücü 55 kW olan rtg yoluyla yaklaşık 100.000 kWh elektrik enerjisi üretilmektedir. Bu da, yetkililerden alınan bilgiye göre tesisin elektrik enerjisi gereksiniminin yaklaşık (%5'ine karşı gelmektedir.⁶⁷

Verdiğimiz küçük örnekten de görüleceği gibi, uygun yer ve değerde seçilerek yaşama geçirilmeleri halinde, bu tesisler, elektrik enerjisi eldesinde hiç de ihmal edilmeyecek ölçekte bir katkı getireceklerdir.

⁶⁷ ŞENOCAK, Gülnur; s.25.

B. GÜNEŞ ENERJİSİ UYGULAMALARI

Fosil yakıtların aşırı tüketimi ile atmosferde artan karbondioksit gazı ve tarımda, endüstride atmosfere bırakılan metan, azotoksit, freon gazları atmosferde sera etkisini artırarak atmosfer sıcaklığının yükselmesi, freonlar nedeni ile ozon tabakasının delinmesi olayı, asit yağmurları, radyoaktif artıkların hızla artması gibi çevreyi tahrip eden faktörlerin yarattığı durum, insanoğlunun bir an evvel yaşam tarzını değiştirmesinin gerekli olduğunu göstermektedir.

Bu durumun değişmesi hiç şüphe yoktur ki, hiç vakit kaybetmeden temiz, garantili ve tükenmeyen enerji kaynaklarına yönelme ile gerçekleşebilir. Bu enerji kaynaklarından biri de güneş enerjisidir. Çevreyi kirletmeme yönünden güneş enerjisinin değerlendirilmesi yerinde olur.⁶⁸

1. DÜNYA GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ VE UYGULAMALARI

Yeryüzü, sürekli olarak güneşten 1.73×10^{14} kW'lık bir enerji girdisi almaktadır. Bunun anlamı yılda 1.5×10^{18} kWh'tır ve 1986 yılı itibariyle dünyanın yıllık enerji tüketiminin 10.000 kat fazlasıdır.⁶⁹

Güneşten bir saniyede salınan enerjinin güç olarak karşılığı 3.86×10^{20} MW'tır. Dünya'nın çapına eşit bir dairesel alan üzerine çarpan güneş gücü, 178 trilyon kW düzeyindedir. İnsanlığın yıllık ticari enerji gereksiniminin

⁶⁸ ATAGÜNDÜZ, Gürbüz; "Temiz Enerji Teknolojilerinde Güneş Enerjisi Uygulamalarının Yeri", Güneş Enerjisi ve Çevre Bildirileri, IV. Türk-Alman Enerji Sempozyumu, 2-4 Mayıs 1991, İzmir, s.12.

⁶⁹ AHMED, Kulsum; s.31.

bugünkü durumda güç karşılığı 11 TW kadardır. Güneşten gelen güç, bu sistemin 16.000 katından çoktur. Dünyada kurulu elektrik santrallerinin 2,9 TW olan toplam gücü, güneşten gelen gücün 61.000’de birinden azdır. Dünyadaki nükleer santrallerin kurulu güçlerinin toplamı 0,4 TW’a yakındır. Güneşten gelen güç, bu nükleer gücün 527.000 katıdır.

Güneş enerjisi kolektörlerle (toplayıcılarla) toplanır. Yaklaşık bir ev çatısına eşit, 100 m² alanlı kollektör 70 kW’lık güç kaynağı demektir ki, bu kollektörden bir günde sağlanabilecek yararlı enerji %40 verimle 180 kWh, ya da 14 galon petrol eşdeğeri veya bir insan ağırlığı taşkömürü eşdeğeridir.

Dünyanın tüm yüzeyine bir yıl boyunca düşen güneş enerjisi, $1,22 \times 10^{14}$ TET (ton eşdeğeri taşkömürü) veya $0,709 \times 10^{14}$ TEP (ton eşdeğeri petrol) kadardır. Bu değer, dünyanın bilinen kömür rezervinin 157, petrol rezervinin 516 katıdır. Güneş enerjisi doğal kullanımının yanısıra, doğrudan kontrollü olarak da kullanılabilir. Güneş enerjisinin doğrudan kontrollü kullanımının yerel çözüm olabilmesi, tükenmez ve temiz bir kaynak olmasından kaynaklanmaktadır. Güneş enerjisinin ısısal ve ışıksal nitelik taşıması, iletim ve dağıtım sorununun olmaması üstünlük sağlar. Güneş enerjisinin kontrollü kullanım amacıyla toplanmasının bir maliyeti vardır. Ancak, fosil yakıtların oluşturdukları çevresel zararların maliyeti dikkate alındığında, güneş enerjisinin toplanması ve kullanılması daha çekici görünmektedir.⁷⁰

Dünyada kullanılan güneş santrallerine birkaç örnek vermek gerekirse; ABD’nin Kaliforniya, Mojave Çölü’nde, 10 MW’lık Solar One adlı güneş termik elektrik santrali ilklerden biridir. Aynı yıllarda Güney Fransa’da 2,5 MW’lık Themis Santrali, o dönemdeki Sovyetler Birliği’nin 5 MW’lık SPP-S Santrali, İspanya Amerika’da 1 MW’lık CESA-1 Santrali, İtalya Adriano’da 1

⁷⁰ ÜLTANIR, Mustafa Özcan; s.51.

MW'lık EURELIOS Santrali ve Japonya Nio'da 1 MW'lık SUNSHINE Santrali kurulmuştur. Ayrıca Kaliforniya'da LUZ SEGS Santrali 9 üniteli olup elektrik kapasitesi 354 MW'tır.⁷¹

1.1. Güneş Enerjisinden Yararlanan Sistemler

Hemen hemen bütün enerji kaynakları, güneş ışınımının maddeler üzerindeki fiziksel ve kimyasal tesirinden meydana gelmektedir. Hidrolik enerji, rüzgar enerjisi, dalga enerjisi vs. güneş ışınımından dolaylı olarak oluşan enerjilerdir.

Güneş ışınımının teknolojik toplama ile faydalı enerjiye dönüştürülmesinde ısı veya fotovoltaik esasan yararlanılır. Isıl esasa dayanan sistemlerin daha geniş uygulama alanı mevcuttur. Güneş ışınımının faydalanılacak enerji türüne ısı çevrimlerle dönüştürüldüğü sistemlerin sayısı çok fazladır.

Düşük sıcaklık uygulamalarında daha ziyade düz toplayıcılar kullanılır. Bu uygulamalardan bazıları şunlardır:

- Konutların sıcak su temini
- Konut ısıtması
- Sera ısıtması
- Tarım ürünlerinin kurutulması
- Konut soğutması
- Yüzme havuzu ısıtması
- Güneş ocakları ve güneş fırınları
- Arı su elde edilmesi

⁷¹ BECKER, M.-GUPTA, B-MEINECKE, W.-BOHN, M.; **Solar Energy Concentrating Systems**, ISBN 3-7880-7483-3, Heidelberg, C.F. Müller, 1995, s.15.

- Tuz üretimi
- Güneş pompaları

Belirtilen bu uygulamalarda güneş ışınımı bir ısı değiştiricisi aracılığıyla bir akışkana aktarılır ve sıcaklığı artan akışkan, faydalanma amacına göre depolanır veya sisteme gönderilir. Düşük sıcaklık uygulamalarından sıcak su temini, konut ısıtması ve sera ısıtması diğerlerine göre daha ekonomiktir.

Orta sıcaklık uygulamalarında, güneş ışınımının yansıtılarak veya kırılarak bir noktaya veya eksene yoğunlaştırıldığı odaklı toplayıcılar kullanılır. Sanayii için gerekli sıcak su veya buharın temini, büyük soğutma ve ısıtma sistemleri, odaklı toplayıcıların uygulama alanlarından bazılarıdır. Genellikle güneşi takibeden mekanizmalara ihtiyaç vardır.

Güneş ışınımından yararlanılarak 300 °C'nin üzerindeki yüksek sıcaklık elde edilen sistemlerde "heliostat" adı verilen, geniş bir alana gelen güneş ışınımını, güneşi izleyerek bir noktaya odaklayan sistemlerden yararlanır. Güneş fırınları ve güneşsel güç sistemlerinde yansıtıcı olarak aynalardan yararlanılmakta ve 3500 °C sıcaklığa kadar çıkılabilmektedir. Fransa'da ve ABD'de bulunan güneş fırınlarında metallerin eritilmesi, kesilmesi ve kalıplanması yapılmaktadır.

Fotovoltaik uygulamalarda ise, üzerine güneş ışınımı düşünce direkt elektrik üreten güneş pilleri, fotovoltaik tesir esasına göre çalışır. Tamamen yarı iletken teknolojisine adyanır. Fazla elektron bulunan (n-tipi) yarı iletken ile fazla boşluk bulunan (p-tipi) yarı iletkenin yanyana getirildiği zaman tek bir kristal meydana getirmesi ve fazla elektronların boşluklara atlamasıyla doğru

akım meydana gelir. Hücreler birbirine seri ve paralel bağlanarak akım şiddeti ve gerilim artırılır.⁷²

1980'lere girilirken, fotovoltaik (PV) güneş elektrik üreteçleri, haberleşme sistemlerine güç kaynağı olmaktan öte, su pompalarının çalıştırılması ve konutların elektrik gereksiniminin karşılanması gibi amaçlar için kullanılıyordu. 1981 yılında, fotovoltaik bataryaların ürettiği elektrik enerjisiyle çalışan ve Solar Challenger adı verilen ilk pervaneli güneş uçağı, Manş Denizi'ni aştı. Bu tür bataryalar, daha sonraları özel otoların çalıştırılması için de kullanılır oldu.

1982'de Kaliforniya'da elektrik üretimi amacıyla, 1 MW'lık Edison's Lugo PV Santrali kuruldu. Bunu Los Angeles-San Francisco hattının ortasında kurulan 6,5 MW'lık Grissa Plains PV Santrali izledi. Ayrıca, Sacramento'da 2 MW'lık bir başka PV santral yapıldı. Dünya Enerji Konseyi'nin 1992 raporuna göre, PV kurulu gücünde 12 MW ile ABD başı çekerken, 1 MW ve üzerinde PV kurulu gücü bulunan ülkeler arasında Almanya, Avustralya, Brundi, Çin, Fransa, Gana, İspanya, Japonya, Meksika ve Norveç yer almaktadır.

Güneş enerjisi kullanımındaki temel amaç ekonomik rekabet koşullarında fosil yakıtların yerini olabildiğince almasıdır. Güneş enerjisinin, konutlarda, işyerlerinde ve gündelik yaşamın çeşitli alanlarında, endüstride ısı ve elektrik elde edilmesinde, kırsal yörelerde ve tarımsal teknolojide, kara, deniz ve hava taşıtlarında, iletişim araçlarında, sinyalizasyon ve otomasyonda ve elektrik sektöründe birincil kaynaklar arasına girmesi ayrıca askeri amaçlarla kullanılabilmesi hedeflenmektedir.⁷³

⁷² KILIÇ, Abdurrahman-ÖZTÜRK, Aksel; s.7.

⁷³ ÜLTANIR, Mustafa Özcan; s.53.

1993 yılında, “Elektrik ve Yakıtlar İçin Yenilenebilir Kaynaklar” adlı bir çalışma yapılmıştır. Buna göre, 2050 yılında dünya genelinde enerji üretimi için elektriğin %60’ı ve yakıtların %40’ının güneş enerjisinde elde edilebileceği hesaplanmıştır. Böylece 2050 yılında, Batılı endüstriyel ülkelerin karbondioksit salımları %50 kısılacaktır. Fakat dünyanın diğer bölümlerinde fosil yakıtlarının artan kullanımı devam ettiği için dünya çapında karbondioksit salımı sadece %26 azalacaktır. Dünya Bankası uzmanı Dennis Anderson tarafından hazırlanan bir senaryoya göre, 2050 yılında dünya toplam enerji tüketiminin %65’inin güneş enerjisi, %25’inin fosil yakıtlar tarafından karşılanması mümkündür.⁷⁴

1.2. Güneş Enerjisinin Elektriğe Dönüştürülmesi

Güneş ışınlarının elektriğe dönüştürülmesi ilk olarak 1954’te Bell Telefon Laboratuvarı’ndan Pearson Chapman ve Fuller tarafından gerçekleştirildi. Sandviç dilimleri gibi birbirine yapıştırılmış iki ayrı silikon parçasına tutulan güneş ışınları bir akım oluşturdular. Oluşan devre, silikonların bir sandviç şeklinde yapılmalarından ötürü elektronların geçişini sağlayarak elektrik üretimini sağlar. Bu elektrikten, ampul yakmada, motor çevirmede ya da yeteri kadar silikon sandviç kullanarak kent aydınlatmasında yararlanılır. Örneğin, 1 metrekare silikon sandviçten bulutsuz, güneşli bir havada, 100 W’lık bir elektrik gücü elde edilir. Bu güç, bir evin kullanacağı elektrik gücünün yirmide biridir.

Uzun yıllardır güneş enerjisinden yararlanmanın pratik bir yöntem olmadığı, gezegenimize gelen güneş enerjisinin çok seyrek olduğu izlenimi yaygındır. Güneş enerjisine karşı çıkmada başka bir neden de, büyük yatırım

⁷⁴ SCHEER, Hermann; A Solar Manifesto, Originally Published in German as Sonnen Strategie, ISBN 1-873936-32-X, München, 1993, s.75.

giderlerinin işe karışmasıdır. Özel olarak hazırlanan silikon sandviçler, bir tür fotovoltaiik pildir. Geçmişte fotovoltaiik pillerin elle yapılması gerekiyordu. Her bir pili oluşturabilmek için tek tek silikon kristalleri üretiliyordu. Geniş çaplı kullanımlar için yeterli sayıda silikon üretebilmek çok masraflı bir işlemdi. Böylece çoğu kimse, güneş enerjisinden elektrik eldesinin çok pahalı olacağını düşündü.

Ancak photovoltaiik piller konusunda yeni buluşlar bu durumu değiştirdi. Şimdi amorf silikon adı verilen yeni bir madde kullanılarak yüksek verim alınabiliyor. Bu yeni buluş, güneş enerjisinden elektrik üretme konusunda devrim yaratmış ve geleceğin güneş enerjisine dayalı toplumunun ilk habercisi olmuştur.⁷⁵

Güneş enerjisi dünya potansiyelini, dünyadaki uygulamaları, bu enerjiden yararlanan sistemler ve güneş enerjisinin elektriğe dönüştürülmesi konularını kısaca inceledik. Şimdi de bu enerji türü üzerinde Türkiye’de yapılan çalışmalara değinelim.

2. TÜRKİYE’DE GÜNEŞ ENERJİSİYLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Ülkemizde elektrik enerjisi amaçlı (ısııl enerji hariç) teorik güneş enerjisi potansiyeli 8,8 milyon TEP’tir. Ancak, bu 8,8 milyon TEP’lik potansiyelin elektrik enerjisine dönüştürülen kısmı ne yazık ki hala ar-ge niteliğindedir. Oysa ar-ge kuruluşlarımızda yapılan çalışmalara; özellikle güneş pilleri konusunda seri imalata geçilebilecek duruma geldiğini göstermektedir.

Türkiye’de elektrik enerjisi amaçlı güneş enerjisi potansiyel belirleme çalışmaları, esas olarak halen E.İ.E.İ. Genel Müdürlüğü’nce yürütölmektedir.

⁷⁵ BOCKRIS, John O’M-VEZİROĞLU, Nejat T.-SMITH, Debbi; s.55.

Ülkemizin yıllık güneşlenme süresinin 2640 saat ve yıllık ortalama güneş ışınım şiddetinin 3.6 kWh/m^2 gün olduğu saptanmıştır. Bu değerler birçok güneş enerjisi uygulaması için yeterlidir. Elektrik enerjisi amaçlı güneş enerjisi potansiyelimizin sağlıklı bir şekilde saptanabilmesi için, E.İ.E.İ. Genel Müdürlüğü'nce Güneş Enerjisi Gözlem İstasyonları projesi geliştirilmektedir. Bu proje kapsamında seçilen 6 bölgeye güneş enerjisi gözlem istasyonları tesis edilerek, belirli bir dönem için işletilmeleri planlanmıştır. Bu kapsamda, güneş enerjisi, güneşlenme süresi ve çevre sıcaklığının ölçülebilmesi için Antalya ve İzmir'e birer adet gözlem istasyonu kurulmuştur.

Diğer taraftan yine E.İ.E.İ. Genel Müdürlüğü'nce; güneş pilleri kullanarak güneş enerjisinden doğrudan elektrik üretmek amacıyla Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) ile ortaklaşa yapılan bir proje kapsamında, bir güneş pili imal edilmiş ve bu teknoloji konusunda bilgi birikimi sağlanmıştır.

Bu çalışmanın ikinci adımında enterkonnekte şebekeden uzak kırsal yörelerde elektrik enerjisi üretmek için fotovoltaik sistem kullanımı imkanları araştırılmıştır. Bu proje kapsamında, güneş pili sistemlerinin yapısal ve işletim özelliklerinin araştırılması amacıyla 1.2 kW gücünde bir güneş pili sistemi tesis edilmiştir.

E.İ.E.İ. Genel Müdürlüğü'nün yürüttüğü Güneş Pillerinin Zirai Sulamada Kullanılması Projesi'nden amaç ise; küçük ölçekli zirai sulamada fotovoltaik sistemlerin kullanılması imkanlarının araştırılmasıdır. Bu amaçla yurtdışından bir fotovoltaik su pompaj sistemi getirilmiştir. Bu sistem, 14 adet güneş pili modülü, dalgıç pompa ve kontrol devresinden oluşmakta olup 616 V gücündedir. Sistemin performansının belirlenebilmesi için, pompalanan su

miktarı ve modül düzlemindeki toplam güneş enerjisi bir yıl boyunca ölçülmüştür. Ayrıca sistemin bilgisayar modeli hazırlanmıştır.

Bu çalışmaların dışında E.İ.E. İdaresince yapılan bir diğer çalışma da; Güneş Pilleri Aydınlatma Projesi'dir. Bu projenin amacı, elektrik enerjisinin götürülemediği küçük yerleşim birimlerinde çevre aydınlatmasında kullanılmak üzere güneş enerjisi ile çalışan bağımsız bir birim geliştirmektir. Bu birim, iki adet güneş pili modülü, 18 W gücünde alçak basınçlı sodyum buharlı lamba, invertör-regülatör, 12 V kuru akü ve direktten oluşmaktadır. Bu proje kapsamında beş adet aydınlatma birimi tesis edilmiştir.

Ülkemizde E.İ.E.İ. Genel Müdürlüğü'nün yanısıra; TÜBİTAK Ankara Elektronik Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü gibi kuruluşlar da güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürme çalışmalarında yer almaktadırlar.

Güneş enerjisini doğrudan elektriğe çeviren güneş pillerinin yapımı ve seri üretimini mümkün kılacak bilgi birikimini sağlamak amacı ile 1987 yılında DPT desteği ile TÜBİTAK bünyesinde bir proje başlatılmıştır. Araştırmalar sonucunda teknolojik olarak seri üretim aşamasına gelinmiş olup, pillerin verimlerini artırıcı ve maliyetlerini düşürücü tekniklerin denenmesine devam edilmektedir.⁷⁶

2.1. Aydınlatmada Güneş Pillerinin Kullanımı

Son yıllarda gelişmiş ülkelerde, güneş enerjisinden yararlanarak elektrik enerjisi üretebilen güneş pilleri konusundaki çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Verimleri %8 ile %15 arasında değişen güneş pilleri çeşitli teknolojilerde

⁷⁶ ŞENOCAK, Gülnur; s.26.

üretilebilmektedir. Özellikle, elektrik şebekesinin ulaşamadığı veya ulaşmasının zor ve pahalı olduğu yörelerde küçük güçteki taleplerin karşılanmasında güneş pillerinin kullanılması ekonomik açıdan avantajlı olabilmektedir.

Fakat günümüzde bu sistemler ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle henüz yaygın olarak ticari ortama girememişlerdir. Güneş pili sistemleri, gelişmiş ülkelerde orman gözetleme kulelerinde, kır evlerinin aydınlatma, soğutma ve TV-radyo gibi cihazların çalıştırılmasında, küçük ölçekli zirai sulamada, deniz fenerlerinde, radyo-televizyon aktarıcılarında, telsiz telefon gibi iletişim cihazlarının çalıştırılmasında ve bunun gibi birçok küçük güç gerektiren uygulama alanlarında demonstrasyon projeleri olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında elektrik enerjisinin götürülmediği yerlerde bağımsız çalışabilen bir çevre aydınlatma birimi geliştirilmiştir. Güneş pilleri aydınlatma birimi; güneş pili modülü, lamba, akü, elektronik devre ve direkt olarak oluşmaktadır. Birimde gündüz boyunca güneş enerjisi elektrik enerjisine çevrilip aküye depolanmakta, akşam olunca da ışığa duyarlı fotosel yardımıyla aküden lamba beslenerek çevre aydınlatılması yapılmaktadır.

Proje kapsamında geliştirilen güneş pilleri aydınlatma birimlerinden 2 adedi Atatürk Orman Çiftliği'ndeki Atatürk evi girişine, 1 adedi Atatürk Orman Çiftliği su pompaj sistemi yanına, 1 adedi E.İ.E.İ. kapı girişine ve 1 adedi de Yeni Enerji Kaynakları parkına tesis edilmiştir.⁷⁷

⁷⁷ ERİŞTİ, Osman; "Güneş Pilleri Aydınlatma Biriminin Araştırma-Geliştirme Sonuç Raporu", E.İ.E.İ. Genel Müdürlüğü, Yayın: 91-9, Mart 1991, Ankara, s.1.

2.2. Güneş Evi PV Sistemi

Çalışmanın yapıldığı ev, E.İ.E. İdaresi Genel Müdürlüğü Araştırma Parkında bulunmakta olup enerji ihtiyacı güneş pilleri ile karşılanmaktadır. Güneş pili sistemi, 40 Adet 40 W'lık (toplam 1600 W) güneş pili modülü, akü şarj ve deşarjını ayarlayan kontrol devresi, 130 Ah'lık kuru akü, 3 kW gücündeki invertörden oluşmaktadır. Yük olarak buzdolabı, lambalar ve meteoroloji parkında bulunan ölçüm cihazları bulunmaktadır. Bu yükler, güneş enerjisinin yeterli olmadığı durumlarda çift kutuplu anahtarla şebekeye bağlanabilmektedir.

Evlerde kurulu gücün tamamı sürekli kullanılmamaktadır. Yalnız buzdolabı otomatik olarak 24 saatin 10 saatini aktif olarak çalışır. Diğer yüklerin çalışma süreleri ise farklılık göstermektedir. Çalışma yapılan evde, ortalama enerji tüketimi; buzdolabı ve iki adet lambanın 10 saat çalışması halinde yaklaşık 3 kWh'tir. Yapılan analizler sonucunda, enterkonnekte sistemden uzakta küçük güçte bir ihtiyaç için PV sisteminin ekonomik olduğu saptanmıştır.⁷⁸

C. RÜZGAR VE GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNİN

MALİYET ANALİZİ

1. RÜZGAR ENERJİ DÖNÜŞÜM SİSTEMLERİNİN MALİ DURUMU

Ekonomik değerlendirme, yalnızca elektrik şebekesine bağlı çalışma koşulları bilinen büyük rüzgar türbinleri için yapılmaktadır. Bu değerlendirme

⁷⁸ ERİŞTİ, Osman; "Güneş Evi PV Sistemi Sonuç Raporu", E.İ.E.İ. Genel Müdürlüğü, Yayın: 91-11, Mart 1992, Ankara, s.1.

sonucunda rüzgar türbin tesisinin ekonomik olup olmadığı görülür. Küçük ve orta güçteki tesisler yapılırken böyle bir değerlendirme için uygun değildir.

RED sistemlerinin ekonomik analizi yapılırken göz önüne alınacak unsurları 5 sınıfta inceleyebiliriz.

- a. Rüzgar kaynağının özellikleri
 - b. Yük karakteristikleri
 - c. Sistem performansı
 - d. Sistemin toplam maliyeti
 - e. Ekonomik çevre
- Rakip enerji maliyeti
- Finans terimleri
- Genel enflasyon yüzdesi
- İstenen geri ödeme oranı
- Vergi oranları
- Vergi teşvikleri
- Kullanıcı türü
- Tesis yılı

Ekonomik analizde, sistemin fayda ve maliyeti, “ömür boyu maliyet hesabı” yöntemine göre yapılır. Kullanılan zaman periyodu, rüzgar türbin generatörünün tahmini ömrüne eşittir. Sistemin fiyatı, maliyetin ilk ve en önemli elemanıdır. Bunun yanısıra aşağıdaki öğeler de maliyeti etkiler.

- a. Arazi maliyeti
- b. Alt yapı harcamaları
- c. Kule ve temelin maliyeti
- d. RED sistemlerinin maliyeti

- e. Karma sistemler için tamamlayıcı ekipman maliyeti
- f. Bağlantı ekipman maliyeti
- g. Depolama sistemi maliyeti
- h. Nakil ve taşıma maliyeti
- i. Montaj maliyeti
- j. Vergiler

Diğer ilgili maliyetler ise ayrıca belirlenmelidir. Bunlar;

- a. Sigorta
- b. Arazi vergisi
- c. İşletim ve bakım maliyeti
- d. Rakip yakıt maliyeti
- e. Şebeke üretimli elektriğin maliyeti
- f. Kredi faizi

Farklı alternatifler arasında kıyaslama yapılırken, hangi ekonomik kavramın seçileceği konusunda karar verilmesi gerekir. Çoğunlukla, “şimdiki değer yöntemi” kullanılır. Bu yöntemde, enflasyon oranı indirgeme işlemine katılır ve bir çok yıla yayılmış olan yatırımların şimdiki değer cinsinden net maliyeti hesaplanmış olur.

Örnek;

Rotor çapı	: 10 m
Rüzgar anma hızı	: 9 m/sn
Tesis kapasitesi	: 11 kw
Tesis satın alma maliyeti	: 8600 £
Genel enflasyon oranı	a=%8

Konvansiyonel enerjinin karşılaştırmalı

enflasyon oranı

$$\beta = \%15$$

Kredi faizi

$$\tau = \%10$$

Bakım maliyeti

$$\mathcal{S} = \%3 * \text{Satın alma maliyeti}$$

Sistemin tahmini ömrü

$$20 \text{ yıl}$$

C_i : Tesis edilen sistemin ilk maliyeti (£)

E : Tesisten elde edilen yıllık enerji (kwh)

F : Rüzgar türbininden, kwh başına
üretilen enerji maliyeti (p/kwh)

G : Yerine geçen enerjinin kwh başına
başabaş maliyeti (p/kwh)

olmak üzere;

Yapılan ekonomik değerlendirmelerden biri basit, diğeri karmaşık iki hesaplama yöntemi kullanılır. Basit yaklaşım türbin büyüklüğü arttıkça, daha bilgili kullanıcılar, şirketler ve finans kurumları için yetersiz olacaktır.

Basit hesap yöntemi, lineer bir değer düşüşü ile yapılır. Yakıt fiyatlarındaki enflasyondan kaynaklanan artışı ihmal eder.

$$\text{Birim enerji maliyeti (kwh başına)} F = \frac{C_i (\tau + \mathcal{S})}{100 E}$$

Sonuçlar Tablo 12'nin F sütununda gösterilmiştir.

Standart sermaye bütçeleme hesap yöntemi, sistemin tahmini ömür süresince, şimdiki değere indirgenmiş toplam nakit akışını verir.

$$C_0 = C_i + 0.03 C_i \sum_{i=1}^{20} \left[\frac{1+\alpha}{1+\tau} \right]^i = 1.497 C_i$$

Aynı teknikle konvansiyonel enerjideki indirgenmiş nakit tasarrufu, “Cs” belirlenir.

$$C_s = EG 10^{-2} \sum_{i=1}^{20} \left[\frac{1+\beta}{1+\tau} \right]^i = 0.329 EG$$

Tablo 12
Weibull Dağılımını Temel Alan ve Yılda Üretilen Enerji

Ort.Yıllık Rüz.Hızı (m/sn)	E (kwh)	F (p/kwh)	G (p/kwh)
4	13500	8.28	2.90
5	25500	4.38	1.53
6	37500	2.98	1.04
7	48500	2.30	0.81
8	57500	1.94	0.68

p/kwh: penny/kwh; penny= £/100

Co=C_s olduğu zaman sistem ne kâr ne de zarar eder. Tablo 12’deki G sütunu, bu durumdaki konvansiyonel yakıtların maliyetini verir. Eğer yerine geçen yakıtların şimdiki maliyeti, G sütununda bulunan değerlerden fazla ise, rüzgar türbin tesisi ekonomik olacaktır.

1990 yılında Danish ELSAM şirketine ait 4 rüzgar tarlasından elde edilen verilerde, üretilen elektriğin ortalama maliyetinin 0.06 ECU/kwh olduğu belirtilmektedir. Bu değer %5 faiz ve 20 yıl üzerinden sermaye maliyet amortismanının yanısıra, işletim ve bakım harcamalarını da içerir. Özel sektör yatırımları için uygulanan faizin %5'den, %10'a yükseltilmesi ile rüzgardan elde edilen elektriğin maliyeti 0.07 ECU/kwh'a çıkacaktır. Pratikte Avrupa türbinleri için işletme ve bakım maliyeti 0.005 \$/kwh'dir. Avrupa Birliği işletme ve bakım maliyetini yatırım maliyetinin %2'si (yaklaşık 0.01\$/kwh) olarak vermektedir.

Değişik kaynaklarla rüzgar arasında karşılaştırma yapılırken, elde güvenilir rakamların bulunmaması bir dezavantajdır. İngiltere'de elektrik endüstrisinin özelleştirilmesi ile farklı kaynaklardan elde edilen elektriğin maliyeti yeni bir boyut kazanmıştır. Bu ülkede, termik santrallerden elde edilen elektriğin maliyeti yaklaşık olarak 0.06 ECU/kwh'dir. Günümüzde, rüzgar tarlalarından üretilen elektrik çok az bir miktar daha pahalıdır. Bununla birlikte, dış maliyetler göz önüne alınırsa (bu yaklaşık 0.03 ECU/kwh olarak belirtilebilir), denge rüzgar enerjisi lehine dönecektir. Gelecek on yıl içinde fosil yakıtlardan sağlanan elektriğin maliyetinin düzenli olarak artacağı, buna karşılık, rüzgar enerji maliyetinin %20 veya %25 oranında azalacağı beklenmektedir.⁷⁹

⁷⁹ Rüzgar Enerjisi, E.İ.E.İ. Genel Müdürlüğü, Ankara, 1992, s.22.

2. GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİNİN MALİ DURUMU

2.1. Aydınlatmada Kullanılan Güneş Pillerinin Maliyet Analizi

Birimin ilk yatırım maliyeti:

Elemanlar : 46 W gücünde iki adet güneş pili modülü
 12 V-65 Ah Fullman Marka kuru akü
 12/60 V yüksek frekanslı inverter
 18 W alçak basınçlı sodyum buharlı lamba
 Aydınlatma direği

Fiyatlar: 30 Ocak 1991 tarihi itibarıyla (1\$=3057 TL)

46 W'lik 2 adet Solarex marka modülün fiyatı:

$$M1 = 2x (490\$+KDV) = 1078 \$$$

$$M2 = 1078 x 3057 = 3 295 446 TL$$

Fulman marka 12 V 65 Ah'lik 1 adet kuru akünün satış fiyatı:

$$M2 = 180 \$ x 3057 = 550 260 TL.$$

İnvertörün maliyeti:

$$M3 = 250 \$ x 3057 = 764 250 TL$$

18 W SOX-E lambanın satış fiyatı:

$$M4 = 96 \$ x 3057 = 293 472 TL$$

EİE idaresi atelyelerinde imal edilen direğin maliyeti:

$$M5 = 520 000 TL$$

$$\text{Toplam İlk Yatırım Maliyeti} = M1+M2+M3+M4+M5 = 5.423.428 TL.$$

Ekonomik analiz “Ömür Boyu Maliyet Yöntemiyle” yapılmıştır. Bu yöntemde her yıl için yapılan harcamalar sabit fiyatlarla şimdiki değere aktarılır. Birimin toplam ömrü 20 yıl alınmış, her beş yılda akümülatör ve her üç yılda bir lamba değiştirildiği kabul edilmiştir.

$$\text{Şimdiki değer} = \frac{A_n}{(1+Id)^n} \quad n= 0, 1, 2, 3, 4, \dots, 19$$

$$A_n = n. \text{ yıldıki harcama miktarı}$$

$$Id = \text{Reel faiz-Enflasyon}$$

$$= 0.55-0.50= 0.05$$

Sermayeyi Kurtarma Faktörü

$$CRF = \frac{Id (1+Id)^n}{(1+Id)^n - 1}$$

$$= \frac{0.05 (1.05)^{20}}{(1.05)^{20} - 1}$$

$$= 0.0802$$

Sistemin Toplam Maliyeti = 7 545 273 TL

$$\text{Yıllık Maliyet} = CRF \times \text{Sistemin Toplam Maliyeti}$$

$$= 605.452 \text{ TL}$$

Sistemin elektrik enerjisi cinsinden yıllık üretim 72 kwh olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Birim enerji maliyeti} = \frac{\text{Yıllık maliyet}}{\text{Yıllık üretim}}$$

$$= \frac{605\,452 \text{ TL}}{72 \text{ kwh}}$$

$$= 8409 \text{ TL/kwh}$$

Güneş pilleri aydınlatma birimince üretilen elektrik enerjisinin kwh maliyeti 8409 TL olarak hesaplanmıştır.⁸⁰

⁸⁰ ERİŞTİ, Osman; “Güneş Pilleri Aydınlatma...”, s.13.

Tablo 13**Güneş Pilleri Aydınlatma Biriminin Maliyet Analizi**

KABULLER		
Efektif Faiz	:	0.05
Ekonomik Ömür	:	20 Yıl
Yıllık Üretim	:	72 kwh
İlk Yatırım	:	5.423.428 TL

Sistemin Toplam Maliyeti	:	7.545.273 TL
Sermayeyi Kurtarma Faktörü	:	0.0802
Sistemin Yıllık Maliyeti	:	605.452 TL/Yıl
Yıllık Üretim	:	72 kwh
Birim Enerji Maliyeti	:	8409 TL/kwh

1 Dolar (30 Ocak 1991)	:	3057 TL
Güneş Pilleri Fiyatı	:	3.295.446 TL
Akü Fiyatı	:	550.260 TL
İnvertör Fiyatı	:	764.250 TL
Lamba Fiyatı	:	293.472 TL
Direk Fiyatı	:	520.000 TL
Toplam Fiyat	:	5.423.428 TL

Kaynak: ERİŞTİ, Osman; Güneş Pilleri Aydınlatma Biriminin Araştırma-Geliştirme Projesi Sonuç Raporu, s.15.

2.2. Güneş Evi PV Sisteminin Maliyet Analizi

Bu bölümde bir evin elektrik ihtiyacının güneş pilleri, enerji nakil hattı ve dizel-motor-jeneratör grubu ile karşılanması durumları ekonomik olarak incelenmiştir.

Ekonomik analiz “Ömür Boyu Maliyet Yöntemiyle” yapılmıştır. Bu yöntemde her yıl için yapılan harcamalar sabit fiyatlarla şimdiki değere aktarılır. PV sisteminin ömrü 20 yıl olarak kabul edildiğinden, tüm analizler 20 yıla göre yapılmıştır. Ekonomik analizde kullanılan tanımlar;

$$\text{Şimdiki Değer} = \frac{A_n}{(1+Id)^n} \quad n= 0, 1, 2, 3, 4, \dots, 19$$

$$A_n = n. \text{ yıldaki harcama miktarı}$$

$$Id = \text{Reel faiz-Enflasyon}$$

$$\text{Sermayeyi Kurtarma Faktörü (CRF)} = \frac{Id}{(1+Id)^n - 1}$$

$$\text{Yıllık Maliyet} = \text{CRF} \times \text{Sistemin Toplam Maliyeti}$$

$$\text{Birim Enerji Maliyeti} = \frac{\text{Yıllık Maliyet}}{\text{Yıllık Üretim}}$$

2.1.1. Talebin PV Sistemi ile Karşlanması

Güneş Evi PV Sisteminin İlk Yatırım Maliyeti:

Elemanlar:

-40 adet 40 W gücünde toplam 1600 W'lık güneş pili modülü

-8 adet 12 V-65 Ah'lik Fullman marka kuru akü

-48 VDC/220 VAC 3 KVA'lik invertör

-DC/DC Kontrol devresi (Regülatör)

-Pilleri güneşe bakacak şekilde yerleştirmek için demir kasa düzeneği

Fiyatlar: 20 Ocak 1992 itibariyle (1\$ 5 500 TL)

-40 W'lik 40 adet ARCO-SOLAR marka modülün fiyatı:

$$M1= 40 \text{ adet} \times (490\$\text{+KDV}) = 21952 \$$$

-Fullman marka 12 V 65 AH kuru akünün 180 \$'dan 8 adedinin fiyatı:

$$M2 = 180 \$ \times 8 = 1440 \$$$

-İnvertör, kontrol devresi ve akü kutusu toplam fiyatı KDV dahil

22 000 000 TL'dir.

$$M3= 22\ 000\ 000/5500= 4000 \$$$

-Güneş pili yerleştirme kasası, kablolar ve işçilik fiyatı:

$$M4= 3\ 124\ 000/5500= 568 \$$$

-Sistemin Toplam İlk Yatırım Maliyeti

$$21952+1440+4000+568 = 27960\$$$

$$= 153\ 780\ 000 \text{ TL}$$

$$Id= \text{Reel faiz-Enflasyon} = 0.55-0.50= 0.05$$

Sermayeyi Kurtarma Faktörü

$$CRF = 0.05 (1.05)^{20}/((1.05)^{20} - 1)$$

$$= 0.08024$$

$$\text{Yıllık Maliyet} = 0.08024 \times 168\ 657\ 376 \text{ TL}$$

$$= 13\ 533\ 500 \text{ TL}$$

Sistemin elektrik enerjisi cinsinden yıllık üretim 1645 kwh olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Birim Enerji Maliyeti} = 13\ 533\ 500 \text{ TL}/1645 \text{ kwh}$$

$$= 8227 \text{ TL/kwh}$$

Güneş pilleri aydınlatma birimince üretilen elektrik enerjisinin kwh maliyeti 8227 TL olarak hesaplanmıştır. Yıllık ortalama tüketim bir ev için 1645

kwh'in altında olacağı için (1460 kwh hesaplanmıştır) birim enerji maliyeti daha fazla olacaktır.

$$\begin{aligned} \text{Birim Enerji Maliyeti} &= 13\,533\,500 \text{ TL}/1460 \text{ kwh} \\ &= 9270 \text{ TL/kwh} \end{aligned}$$

Tablo 14

Elektrik İhtiyacı Güneş Pilleriyle Karşılanan Evin Maliyeti Analizi

Efektif Faiz	:	0.05
Ekonomik Ömür	:	20 Yıl
Yıllık Üretim	:	1645 kwh
İlk Yatırım	:	153.780.000 TL
<hr/>		
Sistemin Toplam Maliyeti	:	168.657.376 TL
Sermayeyi Kurtarma Faktörü	:	0.08024
Sistemin Yıllık Maliyeti	:	13.533.500 TL/Yıl
Yıllık Üretim	:	1645 kwh
Birim Enerji Maliyeti	:	8227 TL/kwh
<hr/>		
1 Dolar (20 Ocak 1992)	:	5500 TL
Güneş Pilleri Fiyatı	:	21952 \$
Akü Fiyatı	:	1440 \$
İnvertör ve Kont.Dev.Fiyatı	:	40.00 \$
Pil Kasası, Montaj ve İşçilik	:	568 \$
Toplam Fiyat (\$)	:	27960 \$
Toplam Fiyat (TL)	:	148.747.200 TL

2.2.2. Talebin Enerji Nakil Hattı İle Karşılanması

Aynı evin enerji talebi, PV sistemi yerine enerji nakil hattı çekilerek karşılanması durumu ekonomik olarak incelenmiştir.

Eğer ev köye yakın bir yerde ise enerji, alçak gerilim köy trafosundan özel hat ile max. 1 km. mesafeye kadar taşınabilir. 1 km'den uzakta ise enerji talebi orta gerilim şebekesinden 34.5/0.4 kv 50 kVA trafo yardımıyla sağlanır. Kırsal kesimde kullanılan en ucuz iletim hattı ağaç direkli enerji nakil hattıdır ve ömürleri en az 20 yıldır. Sistem ömrü ise çok daha fazladır (100 yıl dolayında). 20 yıllık işletme periyodu içinde tahrip olan bazı direkler değiştirilmektedir.

Enerji nakil hattının maliyeti, 1991 Yılı Birim Fiyatları %50 oranında arttırılarak aşağıda belirlenmiştir.

- 1- Ağaç direkli orta gerilim hattının birim maliyeti:
30 000 000 TL/km (5484 \$/km)
- 2- 34.5 kV 630 A sigortalı seksiyoner:
5 500 000 TL (1000 \$)
- 3- Demir trafo direği:
5 500 000 TL (1000 \$)
- 4- 34.5 kV 630 A seksiyoner:
4 500 000 TL (818 \$)
- 5- 3 det 36 kV 10 kA parafudr:
8 310 000 TL (1511 \$)
- 6- 34.5/0.4 kVA, 50 kVA trafo:
24 000 000 TL (4382 \$)

7- 34.5/0.4 kVA direk üstü dağıtım panosu:

3 600 000 TL (654 \$)

8- İşletme ve koruma topraklaması:

237 000 TL (43 \$)

9- Trafo Pano ve Pano bina arası kablo:

1 785 000 TL (324 \$)

10-Elektrik Tüketim Fiyatları

380 TL/kwh (0.069 \$ (kwh)

Bir ev için günlük ortalama tüketim 4 kwh kabul edilirse, yıllık toplam enerji maliyeti:

554 800 TL (100 \$)

Böyle bir sistemin ortalama %10 indirimle yaptırıldığı kabul edilerek, sistemin ekonomik analizi yapılmıştır. Hat ve elektrik tüketim maliyetlerinin dışındaki elemanlar sabit kabul edilmiş ve toplam maliyet 9732 \$ olarak hesaplanmıştır.

Enerji ihtiyacı olan yerin orta gerilim hattından uzaklığını 15 km kabul edersek, enerji nakil hattının maliyeti;

$5454 \text{ \$/km} \times 15 \text{ km} = 81\ 810 \text{ \$}$

Sistemin toplam maliyeti:

$9\ 732\ \$ + 81\ 810 \text{ \$} = 91\ 542 \text{ \$}$

%10 indirimden sonra sistemin net maliyeti

$91\ 542 \text{ \$} \times 0.90 = 82\ 388 \text{ \$'dır.}$

Sistemin 20 yıl çalıştığı kabul edilerek yapılan ekonomik analizde, ortalama günlük 4 kwh'lik tüketimle (yıllık 1460 kwh) yalnız bir ev için kwh maliyeti 22 303 TL/kwh olarak bulunmuştur.

Ancak 50 kVA'lık böyle bir sistemle 20 adet ev yıllık 29 200 kwh enerji tüketimi ile 20 yıllık kwh maliyeti 1644 TL/kwh olmaktadır. Eğer yıllık tüketim 50 000 kwh ise kwh maliyeti 1126 TL/kwh olur. Eğer yıllık tüketim 180 000 kwh ise birim enerji maliyeti 601 TL/kwh olur.

Tablo: 15
Enerji Nakil Hattının Değişik Uzunluk ve Yüklerde Birim Enerji Maliyetleri

Enerji Nakil Hattı	1 ev için 1460 kwh	3 ev için 4380 kwh	5 ev için 7300 kwh	10 ev için 14600 kwh	15 ev için 21900 kwh	20 ev için 29200 kwh	Yıllık Tüketim 50000 kwh
3 km'de	7500 TL/kwh	2765 TL/kwh	1820 TL/kwh	1110 TL/kwh	872 TL/kwh	754 TL/kwh	606 TL/kwh
5 km'de	10466 TL/kwh	3755 TL/kwh	2412 TL/kwh	1406 TL/kwh	1070 TL/kwh	902 TL/kwh	693 TL/kwh
10 km'de	17885 TL/kwh	6228 TL/kwh	3900 TL/kwh	2150 TL/kwh	1565 TL/kwh	1273 TL/kwh	910 TL/kwh
15 km'de	25300 TL/kwh	8700 TL/kwh	5380 TL/kwh	2890 TL/kwh	2060 TL/kwh	1644 TL/kwh	1126 TL/kwh
20 km'de	32722 TL/kwh	11170 TL/kwh	6860 TL/kwh	3630 TL/kwh	2554 TL/kwh	2015 TL/kwh	1343 TL/kwh
30 km'de	47560 TL/kwh	16120 TL/kwh	9830 TL/kwh	5115 TL/kwh	3543 TL/kwh	2757 TL/kwh	1776 TL/kwh

Kaynak: ERİŞTİ, Osman; Güneş Evi PV Sistemi Sonuç Raporu, s.15.

2.2.3. Talebin Dizel Motor-Jeneratör Grubu ile Karşlanması

Dizel motorların güçleri deniz seviyesine göre verilmiştir. Deniz seviyesinden her 100 m yukarıda ve 20 °C'den sonra her 5.5 °C'de takriben %1 kayıp olmaktadır. Enerji ihtiyacı olan yer denizden 1-2 km yüksekte olduğu kabul edilirse, motor gücü %10 ile %20 arasında düşecektir.

2 km yükseklikteki bir evin 4 kw'lık gücünü sürekli karşılayacak elektrojen grubunun elektriksel gücü 10 KVA'dır. Bu şartları sağlayacak bir elektrojen grubunun yerinde montaj ve çalışır vaziyette teslim fiyatı 17 000 DM'dir (9000 DM motor, 8000 jeneratör).

1500 devirli sürekli çalışan bir motor iki yılda bir revizyon edilir. Revizyon maliyeti ise motor fiyatının yaklaşık yarısı kadardır. Bu da 4000 DM alınabilir.

Yukarıdaki elektrojen grubu kullanılırsa maliyet;

İlk yatırım: $17\ 000\ \text{DM}/1.60 = 10\ 625\ \$$ (çapraz kur 1.60)

İki yılda bir revizyon: $4000\ \text{DM}/1.60 = 2500\ \$$

Denizden 2000 m yüksekte ve 25 °C ortam sıcaklığında %80 ortam ve %80 dönüşüm verimi alınarak aktif güç;

$10\ \text{KVA} \times 0.80 \times 0.80 = 6.4\ \text{kw}$ olur.

Bir yılın %66'sında aktif çalıştığını kabul edersek yıllık üretim;

$6.4\ \text{kw} \times 24\ \text{h} \times 365\ \text{gün} \times 0.66 = 37\ 000\ \text{kwh}$ olur.

Yıllık yakıt maliyeti ise;

$185\ \text{g/HP} \times \text{ISHP} \times 365\ \text{gün} \times 24\ \text{h} \times 0.66/1000 = 16\ 044\ \text{Kg}$

Motorinin özgül ağırlığı 0.85 kg/lt olduğundan

$16\ 044\ \text{kg}/0.85\ \text{kg/lt} = 18\ 875\ \text{lt}$ olur. Bir litre motorin 3000 TL'den,

$18\ 875\ \text{lt} \times 3000\ \text{TL/lt} = 56\ 625\ 000\ \text{TL}$

Dolar cinsinden $56\ 625\ 000/5500 = 10\ 295\ \$/\text{yıl}$ olur.

Yağ sarfiyatı ise

$$0.035 \text{ kg/h} \times 0.91 \text{ lt/kg} \times 365 \text{ gün} \times 24 \text{ h} \times 0.66 = 184 \text{ lt}$$

$$184 \text{ lt} \times 10\,000 \text{ TL/lt} = 1\,840\,000 \text{ TL/yıl'dır. Dolar olarak}$$

$$1\,840\,000 / 5500 = 335 \text{ \$/yıl'dır.}$$

$$\text{Yıllık toplam gider: } 10\,295\$ + 335 \$ = 10\,630 \$$$

Sistemin 20 yıllık ekonomik analizinde üretilen yıllık 3700 kwh'lık enerjinin tamamının kullanıldığı varsayılarak yıllık ortalama maliyet 65 843 863 TL bulunmuştur. Birim enerji maliyeti ise 1780 TL/kwh'tır.

Eğer sistem düşük kapasitede çalışıp üretilen enerjinin tamamın kullanılmayıp yıllık 1460 kwh kullanıldığında birim enerji maliyeti 45 000 TL/kwh olur.

2.2.4. Talebin Yerli Lombardini Dizel Motor ve Jeneratör Grubu ile Karşılanması

Lombardini 3 LDA 450 dizel motor, daimi yük azami gücü 9 HP'dir. 2000 m ve 25 °C'deki güç kaybı %22'dir.

$$\text{Net güç ise; } 9 \text{ HP} \times (1 - 0.22) = 7.02 \text{ HP'dir.}$$

Elektriksel güç 0.80 çevrim oranıyla birlikte;

$$7.02 \text{ HP} \times 0.745 \times 0.80 = 4.184 \text{ KVA'dir.}$$

$$\text{Aktif güç ise; } 4.184 \text{ KVA} \times 0.80 = 3.35 \text{ kw'tır.}$$

Sürekli çalışmada 1 yıl garantilidir. 3000 d/dak olduklarından bir yıl sonra aşınan parçalar değiştirilecektir. Bu değişim sistemin ilk yatırımının %25'i dolayında veya motor aksamının yarısı kadardır. Buna göre her yıl olabilecek revizyon masrafı 3 milyon alınmıştır.

$$\begin{aligned} \text{Motor-Jeneratör grubunun fiyatı} &= 12\,100\,000 \text{ TL} \\ &= 2\,200 \$ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Yıllık revizyon maliyeti} &= 3\,025\,000 \text{ TL} \\ &= 550 \$ \end{aligned}$$

Yıllık yakıt maliyeti ise

$$188 \text{ g/HP} \times 7 \text{ HP} \times 365 \text{ gün} \times 24 \text{ h} = 11528 \text{ kg} = 11.5 \text{ Ton}$$

Yılın %66'sında (8 ay) aktif çalıştığı gözönüne alınır;

$$11528 \text{ kg} \times 0.66 = 7608 \text{ kg}$$

Motorinin özgül ağırlığı 0.85 kg/lt olduğundan

$$7608 \text{ kg} / 0.85 \text{ kg/lt} = 8951 \text{ lt}$$

Bir litre motorin 3000 TL

$$\begin{aligned} 8951 \text{ lt} \times 3000 \text{ TL/lt} &= 26\,853\,000 \text{ TL} \\ &= 4882 \$ \end{aligned}$$

Yağ sarfiyatı ise;

$$0.040 \text{ kg/h} \times 0.91 \text{ lt/kg} \times 365 \text{ gün} \times 24 \text{ h} \times 0.66 = 210 \text{ lt}$$

$$\begin{aligned} 210 \text{ lt} \times 10\,000 \text{ TL/lt} &= 2\,100\,000 \text{ TL/Yıl} \\ &= 382 \$ \end{aligned}$$

$$\text{Yıllık toplam masraf} = 550 \$ + 4882 \$ + 382 \$ = 5814 \$$$

Motor-jeneratör grubunda yakıt taşıma gideri hesaba katılmamıştır.

Bir yılda üretilebilecek elektrik enerjisi ise saatlik ortalama 3.5 kw'tan.

$$3.5 \text{ kw} \times 365 \times 24 \times 0.66 = 20\,235 \text{ kwh/yıl}$$

Üretilebilecek enerjinin tamamının kullanıldığını kabul edersek 20 yıllık ekonomik analiz sonucu yıllık maliyet 33 972 700 TL, birim enerji maliyeti ise 1680 TL/kwh olarak hesaplanmıştır. Eğer üretilen enerjinin tamamı kullanılmayıp yıllık 1460 kwh'lik enerji tüketildiği takdirde birim enerji maliyeti; 23 270 TL/kwh olur.⁸¹

⁸¹ ERİŞTİ, Osman; E.İ.E.İ. Genel Müdürlüğü, Yayın: 92-11, Mart 1992, s.11.

Tablo 16
Motor-Jeneratör Grubunun Farklı Yüklenmeler Durumunda Birim Enerji Maliyeti

Motor-Jener. Grubu	1 evin tüketimi 1460 kwh	Tüketim 3500 kwh ise	Tüketim 4000 kwh ise	5 ev için 7300 kwh	Tüketim 15 000 kwh ise	Tüketim 20 235 kwh ise
Birim enerji maliyeti	23270 TL/kwh	9710 TL/kwh	8500 TL/kwh	4660 TL/kwh	2270 TL/kwh	1680 TL/kwh

Kaynak: ERİŞTİ, Osman; Güneş Evi PV Sistemi Sonuç Raporu, s.18.

Tablo: 17
Enerji Alternatiflerinin Karşılaştırılması

Alternatifler	P.V.		Enerji Nakil Hattı				Motor-Jeneratör	
	Max.Üre.	Nor.Tük.	Max.Tük.	Ort.Tük.	Nor.Tük.	1.Ev için	Max.Üre.	Nor.Tük.
Üretilen ve Tüketilen Enerji (kwh)	1645	1460	180 000	50.000	29200	1460	20235	1460
Birim Ener.Mal. TL/kwh	8227	9270	590	1086	1575	23920	1680	23270
Sistemin Yıllık Maliyeti (TL)	13.5 milyon		108.2 milyon	56.31 milyon	48 milyon	37 milyon	34 milyon	

Kaynak: ERİŞTİ, Osman; Güneş Evi PV Sistemi Sonuç Raporu, s.18.

3. RÜZGAR VE GÜNEŞ ENERJİSİ ALTERNATİFLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Bugün bir güneş enerjisi sisteminin kullanım süresi 30 yıl veya daha fazladır. Sistem, bütün üretim basamakları için ihtiyacı olan güneş enerjisini iki yıldan az bir sürede toplar, rüzgar enerjisi için bu süre yarım yıldır. Hammadde talebi de problem değildir; silikon kumdan üretilmektedir ve plajlardaki kum oldukça boldur. Güneş alan yerler, tüm dünya elektrik talebini karşılamak için teorik olarak yeterlidir. Mevcut binaların çatılarını veya güneş alan yüzeylerini silikon panellerle kaplamak, normal bir ev veya işyeri binasını inşa etmekten daha uzun bir süreyi kapsamaz. Güneş enerjisi, konvansiyonel enerji sistemlerinin oluşumuna katkı sağlamakla kalmaz, maden ve kimyasal maddelerin de oluşumunda büyük öneme sahiptir.

Geleneksel enerji sistemlerinin çevresel maliyetleri, güneş enerjisi ile karşılaştırılmış ve çıkan sonuç; kömüre dayalı elektrik üretiminin toplumsal maliyeti 4,96 cent/kwh, nükleer enerjiyle üretilen elektriğin 0.13 cent/kwh, rüzgar enerjisi için 0.0006 cent/kwh ve fotovoltaik için 0.28 cent/kwh'tir. Bu karşılaştırmalar rüzgar ve güneş enerjisinin toplumsal maliyetinin, kömüre dayalı enerjiden oldukça düşük olduğunu açıkça göstermektedir.⁸²

Rüzgardan üretilen elektriğin maliyet analizleri, tecrübe edilen türbinlerin farklılığından dolayı değişmektedir. ABD'de kilovatsaat başına 7-9 cent/kwh fiyatlarla rüzgar enerjisi, şimdiden kömür ve nükleer enerjiyle rekabet edebilecek düzeye gelmiştir ve yakın gelecekte maliyetlerin kilovatsaat başına 4-6 cent/kwh'te düşürülmesi beklenmektedir. Avrupa'da

⁸² SCHEER, Hermann; s.109.

uygun bölgeye yerleştirilmiş modern rüzgar türbinleri ile maliyetin 6 cent/kwh'e düşürülmesi başarılmıştır.⁸³

1990 yılında Almanya'da fotovoltaik enerji üretiminin fiyatı, 0.87 ile 1.10\$/kwh arasında hesaplanmıştır. Merkezi Avrupa'da, 30 yıl ömrü olan güneş enerjisi sistemleri fiyatlarının 0.62 \$/kwh'a düşürülmesinin mümkün olabileceği tahmin edilmektedir. Birleşik Devletler Enerji Bölmü, 2010 yılında güneş enerjisinden elektrik eldesinin fiyatlarını kilovatsaat başına 7cent'e artı olarak depolama maliyetinin de 6 cent'e düşürüleceğini hesaplamaktadır.⁸⁴

Gerçekçi ve güvenilir hesaplamalara dayalı olarak seçilmiş bir bölgeye kurulan rüzgar türbini bir yıldan kısa sürede kendi imalatı için harcanan enerjiyi üretecektir. Türbinlerin ömrü ortalama 20 yıl olarak tahmin edildiğine göre geriye 19 yıllık net bir üretim zamanı kalmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken diğer önemli bir nokta rüzgar çiftliği kurulduktan sonra yapılan harcamanın sadece işletme bakım ve harcaması olmasıdır. Bu da son derece düşüktür. Güç üretiminde kullanılan farklı yöntemlerden elde edilen elektriğin maliyet karşılaştırması 1987 yılı fiyatlarıyla cent/kwh olarak Tablo 18'de verilmiştir.

⁸³ SCHEER, Hermann; s.87.

⁸⁴ SCHEER, Hermann; s.85.

Tablo 18
Elektrik Üretiminin Maliyet Karşılaştırması (Cent/kwh)

Güç Kaynağı	Minimum	Maksimum	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
Biyomas	4.2	7.9	6.1

Kaynak: TÜRKSOY, Ferdi; s.439.

Tablodan da görüldüğü gibi rüzgar enerjisi ekonomik olarak diğer enerji üretim sistemleriyle yarışabilir düzeydedir. Şunu da eklemek gerekir ki gelişen teknoloji ve gerçekçi fizibilite çalışmaları sonucunda rüzgardan elde edilen enerjinin maliyeti her geçen gün biraz daha düşmektedir. 1980 yılında rüzgardan elde edilen 1 kw/sa enerjinin maliyeti 30 cent iken 1991’de bu değer 6 cent’e düşmüştür. Bunun aksine diğer konvansiyonel enerji kaynaklarında maliyetler her geçen gün biraz daha artmaktadır.⁸⁵

⁸⁵ TÜRKSOY, Ferdi; s.439.

4. TÜRKİYE'DE RÜZGAR ENERJİSİNİN EKONOMİK ANALİZİ İÇİN ÖRNEK BİR UYGULAMA

Bu örnek uygulama için, rüzgar atlası analiz ve uygulama programı WASP (Wind Atlas Analysis and Application Program) kullanılarak, Bozcaada'nın rüzgar atlası elde edilmiştir. Bozcaada'da uygun konuma kurulacak 250 kw gücünde bir rüzgar türbininden bir yılda elde edilecek elektrik enerjisi yaklaşık 1 GWh (10^6 kwh/yıl) olarak hesaplanmıştır.

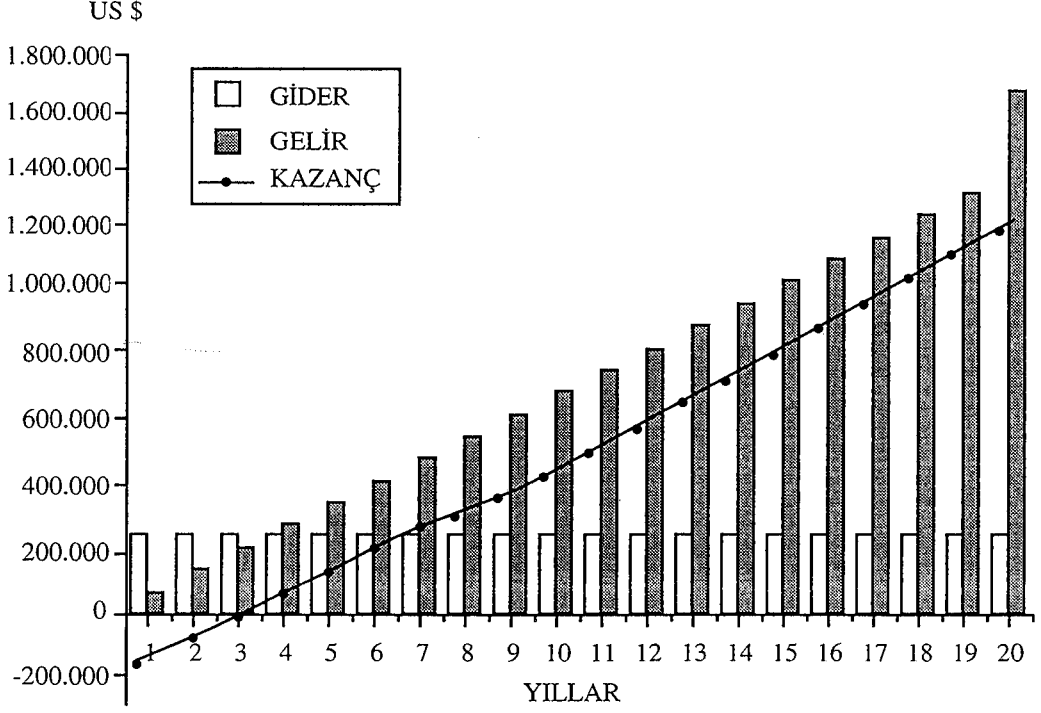
Böyle bir türbinin kurulması ve çalıştırılması için harcanacak toplam para yaklaşık 250.000 Amerikan Dolarıdır. Buna türbin maliyeti, araştırmalar, bölgesel elektrik işlemleri ve enterkonnekte sisteme bağlantı maliyetleri, kontrol binası, yollar, arazi, bakım ve işletme maliyetleri dahildir.

32 metre yüksekliğe kurulu bu 250 kw gücündeki türbinin üreteceği 1 Gw/h'lik elektrik enerjisinin 0.065 \$/kwh'dan satışından bir yılda elde edilecek gelir ise 65.000 \$'dır.

Bir türbinin ömrü yaklaşık 20 yıldır. Buna göre yıllık işletme ve bakım-onarım maliyetinin 3000 \$, buna ait eskolasyon faktörünün ise 0.06, elektrik satışından elde edilecek gelire ait eskolasyon faktörünün ise 0.08 ve faiz haddinin 0.05 olduğu kabul edilerek, 20 yıllık gider ve gelir miktarının bugünkü değerleri hesaplanarak aşağıdaki grafikte sunulmuştur.

Grafik 1

Bozcaada'ya Kurulan 250 kw Gücünde Bir Rüzgar Türbini İçin Gider, Gelir ve Net Kazancın Yıllara Göre Dağılımı



Kaynak: TÜRKSOY, Ferdi; s.442.

Grafikten de görüldüğü gibi 20 yıl sonunda yapılacak toplam harcama 316.378 \$, toplam gelir 1.770.598 \$ ve net kazanç ise 1.454.220 \$'dır. Sistemin yaklaşık 3.5 yılda kendini amorti ettiği ve 4. yılın sonunda kâra geçtiği de görülmektedir. Sonuçta bu rüzgar türbininden elde edilecek elektriğin düzeltilmiş maliyetinin 0.16 \$ olacağı hesaplanmıştır.⁸⁶

⁸⁶ TÜRKSOY, Ferdi; s.441.

SONUÇ

Dünya Enerji Konferansı'nın hazırladığı istatistiklere bakıldığında, enerji rezervlerinin yarının enerji talebini 100 yıl rahatça karşılayabilecek miktarda olduğu görülür. Dolayısıyla uluslararası toplulukların enerji alanındaki endişeleri, giderek zengin toplumlar ve gelişmekte olan toplumlar için farklılaşmaktadır. Zengin toplumların problemleri daha çok çevre ve iklim sorunları, kömür, doğalgaz ve nükleer enerjinin gelecekteki görece rolleri, sosyal ve çevre maliyetlerinin enerji fiyatlarına entegrasyonu gibi uzun dönemli konuları kapsamaktadır. Gelişmekte olan toplumlar ise, daha çok kısa dönemde enerji kaynak kapasitelerinin yetersizliği ve güvensizliği, çevre koruması teknolojilerinin gerektirdiği dış para sorunları, büyük enerji yatırımlarına karşı gelen kamu görüşü gibi problemlerle uğraşmaktadır. Fakat her iki grubun da ortak problemlerini, yarının enerji kullanımının yan etkileri, dünya pazarları ve enerji politikaları oluşturmaktadır.

Uluslararası toplumların enerji konusundaki bu problemleri ve 1973-74 enerji krizi ile fosil yakıtı kaynaklarının sınırsız olmadığı fikrinin yaygınlaşması ve ekonomik büyümenin devam etmesi; güneş, rüzgar gibi alternatif enerji

kaynaklarına ilgiyi arttırmıştır. Ayrıca bu kaynakların çevre kirlenmesini arttıracak bir etkisinin olmaması diğer bir cazip yanını oluşturmaktadır.

Bu alanda araştırmalar yapılması, konunun tetkik ve ekonomik yönleriyle iyi bilinmesi ve enerji alanında yapılacak teşviklerin ekonomik fizibiliteleri en iyi olan alanlara yönlendirilmeleriyle, kısıtlı olan kaynakların da verimli kullanılmasının sağlanması gerekmektedir. Konutların ısıtılması için sarfedilen enerji ülkemiz enerji tüketiminin yaklaşık üçte birini oluşturmaktadır. Kömürlü kalorifer sistemlerinin hava kirliliğine neden olduğu herkesçe bilinmektedir. Bu nedenle yapılan ekonomik analiz çalışmalarıyla ekonomik olduğu kadar ortaya konulan, temiz enerji kaynağı olan, dışa bağımlı olmayan, döviz gerektirmeyen pasif güneş enerjisi sistemi tercih edilmelidir. Buna göre, ülkemizde gerek sosyal konutların gerekse okul ile diğer tüm kamu binalarının, fabrika ve benzeri tüm binaların ısıtılmasında pasif güneş enerjisi sisteminin ekonomik olarak seçilebileceği ortaya çıkmaktadır.

Güneş enerjisi gibi rüzgar enerjisi de, geniş kullanım alanları olan çevre dostu bir enerji kaynağıdır. %8-9'luk bir kalkınma hızına sahip olan Türkiye'nin hızla artan nüfusu da dikkate alınarak, yeni enerji kaynaklarına ihtiyacı olacağı açıktır. Buna fosil yakıtlarının sınırlı ömrünü de eklediğimiz zaman Türkiye her türlü enerji kaynağına ihtiyaç duyacaktır. Sahip olduğu rüzgar potansiyeli gözönünde tutulduğunda, rüzgar enerjisinin, ekonomik, güvenilir ve çevresel olarak en uygulanabilir enerji kaynağı olacağı ve Türkiye'nin elektrik ihtiyacının karşılanmasında dikkate değer bir katkı sağlayacağı gözardı edilemez bir gerçektir.

Konvansiyonel olarak enerji üretiminin toplam maliyeti, normal maliyetlerin yanında, hava kirliliği ve insan sağlığına verilen zarar, yakıt

kaynaklarının kullanımına getirilen askeri sınırlamaların etkisi, kaza ve kullanım sonucunda ortaya çıkan atık vb.'nin temizleme maliyetleri gibi daha bir çok değişkene bağlıdır. Rüzgar enerjisi, bu sosyal ve çevresel maliyetler gözönüne alınmaksızın bile ekonomik olarak onlarla yarışabilir durumdadır.

Avrupa Topluluğu'na girme hazırlıkları yapan Türkiye bugün olmasa bile yakın bir gelecekte kirletici emisyonlarını azaltma ön koşuluyla karşı karşıya kalacaktır. Açıklamaya çalıştığımız bütün bu nedenler dolayısıyla, ülke genelinde yapılması gerekenler kısaca şöyle sıralanabilir:

1-Türkiye'nin gerçekçi ve güvenilir bir "Rüzgar Atlası" hazırlanmalıdır.

2-Rüzgar enerjisi çevrim sistemlerinin Türkiye'de tasarlanıp imal edilmesi için çalışmalar başlatılmalıdır. Böylece, sistemlerin ithalatı azalacağı gibi, yeni iş imkanları da oluşacaktır.

3-Fizibilite çalışmaları sonucunda belirlenecek uygun yerlere rüzgar çiftlikleri kurulmalıdır.

4-Tarıma dayalı bölgelerde, rüzgar enerjisinin elektrik üretme dışında kalan uygulamalardan (su pompalama vb.) yararlanma yoluna gidilmelidir.

5-Rüzgar enerjisi konusunda çalışmak ve bu sistemleri kullanmak isteyen kurum ve kuruluşlar özendirilmeli ve teşvik edilmelidir.

Özellikle rüzgar enerjisinde bir çok ülkeler yoğun teşvik ve destek sağlamaktadır. Danimarka, standart rüzgar türbinlerinin belediye arazisi üzerinde kurulması halinde, yatırımı %30'a kadar sübvansede etmektedir. Bu durum, enerji yatırımlarını ve standartlaşmayı da teşvik etmektedir.

Enerji yatırımlarının tümünde olduğu gibi, rüzgar enerjisinde de, ulusal ekonomiden enerji üretim alanına yapılacak olan yatırımlar, üretilen enerjinin, milli gelir artışı olarak direkt katkısı nedeni ile, makro düzeyde, topluma kısa

sürede geri dönmektedir. Toplum bu sürede yatırdığı milli kaynakları geri kazanmış veya kazanmaktadır. Bu önemli noktanın ışığı altında, gerekli mevzuat değişiklikleri sık sık gözden geçirilerek, günün gelişen ihtiyaçlarına göre rasyonelleşmeler yapılmalıdır.

Rüzgar Enerjisi Çiftlikleri veya şahıs üretimi olarak gerçekleştirilen elektrik üretimi, enterkonnekte elektrik şebekesi ile devlet tarafından satın alınmalıdır; mahallinde kullanımına da belirli kurallara bağlanarak, üreticiye gelir sağlayıcı bir şekilde imkan tanınmalıdır. Enerji üretiminin (elektrik vs.), toplum yararları gözönünde tutularak üreticiyi ve toplumu en fazla şekilde yararlandırabilecek bir rayiç bedel üzerinden satın alınmasına imkan sağlanmalıdır.

Sonuç olarak; daha az enerji tüketerek yaşamının yollarını bize teknoloji sağlayacaktır. Türkiye'nin bilim adamları ve mühendisleri de öncelikle, tasarrufa dönük araştırmalarını en kısa ve en ekonomik yoldan yaşama geçirmek için tüm güçlerini harcamalıdır. Bu tür çalışmaların serbestçe, araştırmacıların öngördükleri amaçlar doğrultusunda, yapılması desteklenmelidir. Ancak bu tür çalışmaların belirli bir eşgüdüm içinde yapılması da, en azından kaynak tasarrufu ve bilgi alışverişi sağlaması açısından zorunludur. Ülkenin var olan insan gücünün ve birincil enerji kaynaklarının 2000'li yıllarda bize gerekecek enerjiyi sağlayacağına inanıyoruz.

KAYNAKLAR

- AHMED, Kuslum : **Renewable Energy Technologies**, The World Bank Washington, D.C., 1994.
- AKALIN, Melih : “Enerji ve Çevre”, **Türkiye 5. Enerji Kongresi, Genel Raportör Raporları**, 22-26 Ekim 1990, Ankara.
- ALAT, Ali-
YÜCEL, Aysun-
AKTÜRK, Serpil : “Türkiye’nin Genel Enerji Programı İçinde Nükleer Enerji Politikası Ne Olmalıdır?”, **Türkiye 6. Enerji Kongresi**, Cilt: 4, Ankara, 22-26 Ekim 1990.
- ARIKAN, Yıldız : “Enerji Sektörü ve Ekonomi”, **Türkiye 5. Enerji Kongresi, Genel Raportör Raporları**, Ankara, 22-26 Ekim 1990.

ATA GÜNDÜZ, Gürbüz : “Temiz Enerji Teknolojilerinde Güneş Enerjisi Uygulamalarının Yeri”, **Güneş Enerjisi ve Çevre Bildirileri**, IV. Türk-Alman Enerji Sempozyumu, İzmir, 2-4 Mayıs 1991.

BECKER, M.-

GUPTA, B.-

MEINECKE, W.-

BOHN, M. : “Solar Energy Concentrating Systems” Heidelberg, C.F. Müller, 1995.

BERBEROĞLU, C.Necat : “Türkiye’nin Ekonomik Gelişmesinde Elektrik Enerjisi Sorunu”, E.İ.T.İ.A. Yayını No: 245/165, Eskişehir, 1982.

BOCKRIS, O’M John-

VEZİROĞLU, T. Nejat-

SMITH Debbi : “Güneş Enerjisi”, Yeni Yüzyıl Kitaplığı, İletişim Yayınları, İstanbul, 1993.

CEYHAN, Haluk ve

Diğerleri

: “Türkiye’de 1970-80’lerde Enerji İhtiyacı ve Arzı”, **Türkiye’nin Enerji Sorunu ve Enerji İhtiyacı**, Celtüt Matbaacılık Koll. Şti., İstanbul, 1973.

ÇELİK, Ahmet-

UZUN, Soner

: “Elektrik Sorununa Temiz Çözüm”, **Cumhuriyet Gazetesi**, 24 Nisan 1996.

- EDEN, Richard-
 POSNER, Michael-
 BENDING, Richard-
 CROUCH, Edmund-
 STANISLAW, Joe : "Energy Economics", **Growth**, Resources and
 Policies, USA, 1982.
- ERİŞTİ, Osman : "Güneş Pilleri Aydınlatma Biriminin Araştırma-
 Geliştirme Sonuç Raporu", E.İ.E.İ. Genel
 Müdürlüğü, Yayın: 91-9, Ankara, Mart, 1991.
- ERİŞTİ Osman : "Güneş Evi PV Sistemi Sonuç Raporu", E.İ.E.İ.
 Genel Müdürlüğü, Yayın: 92-11, Ankara, Mart
 1992.
- GÜNAY, Serpil : "Enerji Kalkınma ve evre Sorunları",
Verimlilik Dergisi, Cilt:11, 1982/1.
- GÜNEY, İrfan-
 TERZİ, mit K. : "Rüzgar Enerjisi Teknolojileri ve Kullanımının
 Türkiye'deki Geliőtimi", **Türkiye 6. Enerji
 Kongresi Teknik Oturum Tebliğleri**, Enerji
 Kaynakları, Cilt I, İzmir, 17-22 Ekim 1994.
- KILIÇ, Abdurrahman-
 ÖZTÜRK, Aksel : "Güneş Enerjisi", Kipaş Dağıtımcılık, İstanbul,
 1980.

- SCHEER, Hermann : “A Solar Manifesto”, **Originally Published in German As “Sonnen Strategie”**, München, 1993.
- ŞAHİN, Vedat : “Enerji Sektöründe Geleceğe Bakış”, TÜSİAD Yayını, No TÜSİAD-T/94, İstanbul, 11-168, Kasım, 1994.
- ŞENER, Yavuz Ali : “Rüzgar Türbinlerinde Tasarım Gelişmeleri”, **Türkiye 5. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliğleri**, Cilt:4, Ankara, 22-26 Ekim 1990.
- ŞENOCAK, Gülnur : “Çevre Korumada Yol Ayrımı-Alternatif Enerji Kaynakları” **Türkiye Elektrik Kurumu Dergisi**, Sayı:70, Mayıs-Ekim, 1991.
- ŞENOCAK, Gülnur : “Alternatif Enerji Kaynakları”, **Türkiye Elektrik Kurumu Dergisi**, Sayı:71, Kasım-Aralık, 1991.
- ŞENOCAK, Gülnur : “Alternatif Enerji Kaynakları”, **Türkiye Elektrik Kurumu Dergisi**, Sayı 72, Ocak-Mart, 1992.
- TAŞDEMİROĞLU, Ersoy : “Solar Energy Utilization: Technical and Economic Aspects” **Mechanical Engineering Department**, Middle East Technical University, Ankara-May, 1988.

TÜRKOĞLU, M.-ÖNAL, E.-

YILDIRIM, N. : “Ekonomide Elektrik Enerjisi girdisi ve Tahminler”, **Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri**, Cilt:6, İzmir, 17-22 Ekim 1994.

TURKSOY, Ferdi : “Rüzgar Enerjisi, Dünyadaki Yeri ve Türkiye İçin Önemi”, **Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri**, Cilt I, İzmir, 17-22 Ekim 1994.

TWIDELL, John W.-

WEIR, Anthony D. : “Renewable Energy Sources”, ELBS, Cambridge, 1987.

URAL, Gürkan : “Rüzgar Enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye’deki Durumu”, **Türkiye 6. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliğleri**, Cilt:I, İzmir, 17-22 Ekim 1994.

ÜLTANIR, Mustafa Özcan: “21. Yüzyılın Eşiğinde Güneş Enerjisi” **Bilim ve Teknik Dergisi**, Sayı: 340, Mart, 1996.

ÜNALAN, Güner : “Türkiye’nin Enerji Üretimi-Tüketimi ve Yeni Kaynak İmkanları”, **Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri**, Cilt: I, İzmir, 17-22 Ekim, 1994.

- : **Elektrik Enerjisi, IV. Beş Yıllık Kalkınma Planı Özel İhtisas Komisyonu Raporu**, DPT, Ankara, Mart, 1977.
- : Genel Enerji Planlaması Çalışmalarının İlk Sonuçları, **Türkiye 5. Enerji Kongresi**, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yayını, Ankara, 22-26 Ekim, 1990.
- : Rüzgar Enerjisi, Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü, Ankara, 1992.
- : Türkiye Enerji Sektörünün Gelişimi ve Arz-Talep Projeksiyonları (1970-2010), **Türkiye 6. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliğleri**, Cilt:4, İzmir, 17-22 Ekim 1994.
- : Wind Energy in Europe, Time For Action, Published October 1991 by The European Wind Energy Association.