

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YENİLENEBİLİR GÜÇ ÜRETİMİNİN ELEKTRİK ÜRETİM SEKTÖRÜNE VE
ENERJİ MALİYETLERİNE ETKİLERİNİN ANALİZİ**

GÜLNUR ARSLANOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. HASAN HÜSEYİN ERDEM**

İSTANBUL, 2011

ÖNSÖZ

Bu çalışmada beni yönlendiren, bana yardımcı olan ve desteklerini esirgemeyen değerli hocam Sayın Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM'e, bu zorlu süreçte yanımda olan sevgili dostlarıma ve bugünlere gelmemde en büyük etken olan, iyi ve kötü her anımda bana destek olan, varlıklarını hep yanımda hissettiğim aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ağustos, 2011

Gülnur ARSLANOĞLU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTIMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı.....	2
1.3 Bulgular.....	3
BÖLÜM 2	
ENERJİ VE ENERJİ KAYNAKLARI	4
2.1 Enerji nedir?	4
2.2 Enerji Kaynakları.....	4
2.3 Dünyada Enerjinin Genel Durumu	5
2.4 Türkiye’de Enerjinin Genel Durumu.....	8
BÖLÜM 3	
YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI.....	13
3.1 Yenilenebilir Enerji	13
3.2 Dünya’da Yenilenebilir Enerji	14

3.3	Türkiye’de Yenilenebilir Enerji	17
3.3.1	Hidrolik.....	17
3.3.2	Jeotermal	18
3.3.3	Biyokütle	19
3.3.4	Güneş	20
BÖLÜM 4		
	RÜZGÂR ENERJİSİ.....	22
4.1	Rüzgâr Enerjisi Tarihçesi.....	23
4.2	Rüzgâr Türbinleri ve Çeşitleri	24
4.2.1	Yatay Eksenli Türbinler.....	26
4.2.2	Düşey Eksenli Rüzgâr Türbini	27
4.2.3	Eğik Eksenli Rüzgâr Türbinleri	29
4.3	Rüzgâr Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları.....	29
4.3.1	Rüzgâr Enerjisinin Avantajları	29
4.3.2	Rüzgâr Enerjisinin Dezavantajları.....	30
4.4	Rüzgâr Enerjisine Yönelik Ar – Ge Faaliyetleri	30
4.5	Dünya’da Rüzgâr Enerjisi.....	32
4.6	Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi	37
BÖLÜM 5		
	YENİLENEBİLİR ENERJİ TEŞVİK MEKANİZMALARI	44
5.1	Mâli Teşvikler	44
5.1.1	Yatırım Teşviği.....	44
5.1.2	Hükümet Destekli Kredi	44
5.2	Vergi Teşvikleri	45
5.2.1	Vergi Muafiyeti	45
5.2.2	Gümrük Muafiyeti.....	45
5.3	Üretim Teşvikleri	45
5.3.1	Sabit Fiyat Tarifesi.....	45
5.3.2	Sabit Üretim Tarifesi	46
5.4	Karbon Vergisi	47
5.5	Ar – Ge Teşvikleri.....	47
5.6	Avrupa’da Uygulanan Teşviklere Örnekler	47
5.7	Türkiye’de Uygulanan Teşvikler	49
BÖLÜM 6		
	YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARINA İLİŞKİN POLİTİKALAR	53
6.1	Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına İlişkin Politikalar ve Hedefler.....	53
6.2	Türkiye’de RES Projelerinin Lisanslandırma Süreci	55
BÖLÜM 7		
	RÜZGÂR ENERJİSİ SANTRAL YATIRIM MALİYETLERİ.....	57

7.1	Yatırım Maliyeti	58	
7.2	İşletme, Bakım ve Onarım Maliyetleri.....	59	
BÖLÜM 8			
ÇEŞİTLİ SANTRALLERİN ELEKTRİK ÜRETİM MALİYETLERİNİN HESAPLANMASI VE RÜZGÂR			
SANTRALİYLE KARŞILAŞTIRMA ÇALIŞMASI.....			61
8.1	Yatırım Masraflarının Hesaplanması	61	
8.2	Yakıt Masraflarının Hesaplanması.....	62	
8.3	İşletme, Bakım ve Onarım Masraflarının Hesaplanması	63	
8.4	Birim elektrik enerjisi üretim maliyeti.....	63	
8.5	600 MW Gücündeki Kömür Yakıtlı Bir Santralin Elektrik Üretim Maliyeti	64	
8.6	600 MW Gücündeki Doğalgaz Yakıtlı Bir Santralin Elektrik Üretim Maliyeti ...	67	
8.7	600 MW Gücündeki Hidroelektrik Santralının Elektrik Üretim Maliyeti.....	70	
8.8	50 MW Gücündeki Rüzgâr Santralının Elektrik Üretim Maliyeti.....	72	
8.9	Rüzgâr Santrallerinin Diğer Sistemlerle Birlikte Çalıştığında Elektrik Üretim Maliyetlerine Etkisi.....	75	
BÖLÜM 9			
SONUÇ VE ÖNERİLER.....			80
KAYNAKLAR			82
ÖZGEÇMİŞ			85

SİMGE LİSTESİ

c	Cent
CO ₂	Karbondiyoksit
GWh	Gigawattsaat
h	Saat
J	Joule
km ²	Kilometrekare
kW	Kilowatt
m	Metre
m ²	Metrekare
mtep	Milyon ton petrol eşdeğeri
s	Saniye
tep	Ton petrol eşdeğeri
°C	Santigrat derece
%	Yüzde
\$	Amerikan Doları
€	Euro

KISALTMA LİSTESİ

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
Ar – Ge	Araştırma Geliştirme
A.Ş.	Anonim Şirket
DEK – TMK	Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
DSİ	Devlet Su İşleri
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EN – AR	Enerji Sektörü Araştırma Geliştirme
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EÜAŞ	Elektrik Üretim Anonim Şirketi
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
GSMH	Gayri Safi Milli Hasıla
HES	Hidroelektrik Santrali
IEA	International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
KDV	Katma Değer Vergisi
MTA	Maden Tetkik Arama
M.Ö.	Milattan Önce
OECD	Organization of European Economic Cooperation and Development (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü)
ORKÖY	Orman Köy İşleri
ÖTV	Özel Tüketim Vergisi
REPA	Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası
RES	Rüzgâr Enerji Santrali
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TETAŞ	Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim Şirketi
TKB	Türkiye Kalkınma Bankası
TSKB	Türkiye Sınai Kalkınma Bankası
TTGV	Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TÜREB	Türkiye Rüzgâr Enerjisi Biriliği
vb.	ve benzerleri

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2. 1	Birincil enerji kaynaklarının 2010 yılında tüketimi.....	6
Şekil 2. 2	Türkiye'nin birincil enerji tüketimi.....	8
Şekil 2. 3	Türkiye elektrik üretiminin yıllara göre yüzdesel değişimi	10
Şekil 2. 4	Türkiye 2010 yılı elektrik üretiminin kaynaklara dağılımı	11
Şekil 2. 5	Türkiye 2010 yılı elektrik enerjisi üretiminin aylık bazda birincil kaynaklara göre dağılımı.....	12
Şekil 3. 1	Dünya'da yenilenebilir enerji kapasitesinin yıllık ortalama büyüme hızı	15
Şekil 3. 2	2010 yılı küresel nihai enerji tüketiminde yenilenebilir enerjinin payı	16
Şekil 3. 3	Türkiye'nin jeotermal enerji santrallerinin yıllara göre değişimi.....	19
Şekil 3. 4	YEK+Atık santrallerinin kurulu gücünün yıllara göre değişimi	20
Şekil 4. 1	Rüzgâr türbinlerinin gelişimi	25
Şekil 4. 2	Yatay eksenli rüzgâr türbini	27
Şekil 4. 3	Düşey eksenli rüzgâr türbini	28
Şekil 4. 4	Küresel toplam kurulu rüzgâr gücü kapasitesi 1996 – 2010.....	33
Şekil 4. 5	Aralık 2010 itibari ile ilk on toplam ilk on kapasite.....	36
Şekil 4. 6	Avrupa rüzgâr enerjisi kurulu güç dağılımı 2010	37
Şekil 4. 7	Yıllık rüzgâr hız değişimi – 30 m yükseklikte yıllık ortalama	38
Şekil 4. 8	Yıllık rüzgâr hız değişimi – 50 m yükseklikte yıllık ortalama	38
Şekil 4. 9	Yıllık rüzgâr hız değişimi – 100 m yükseklikte yıllık ortalama	39
Şekil 4. 10	Türkiye'de yıllar itibariyle rüzgâr enerjisi kurulu gücünün gelişimi.....	41
Şekil 8. 1	600 MW gücündeki kömür yakıtlı santral için yıllara göre elektrik üretim maliyetinin değişimi	67
Şekil 8. 2	600 MW gücündeki doğalgaz yakıtlı santral için yıllara göre elektrik üretim maliyetinin değişimi	70
Şekil 8. 3	600 MW gücündeki hidroelektrik santral için yıllara göre elektrik üretim maliyetinin değişimi	72
Şekil 8. 4	50 MW gücündeki rüzgâr santrali için yıllara göre elektrik üretim maliyetinin değişimi	75
Şekil 8. 5	İlk yirmi yıl için santrallerin sabit yıllık enerji üretim maliyetleri.....	76
Şekil 8. 6	İlk yirmi yıl için santrallerin yıllara göre değişen elektrik üretim maliyetleri	76

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2. 1	Kişi başına yıllık elektrik enerjisi tüketimi	7
Çizelge 2. 2	Birincil enerji kaynaklarının kalan ömürleri	7
Çizelge 2. 3	Tüketilen kaynaklar ve yerli üretime oranı	9
Çizelge 2. 4	Türkiye'nin yıllara göre elektrik enerjisi üretimi	10
Çizelge 2. 5	2010 yılı Türkiye elektrik enerjisi üretiminin aylık bazda birincil kaynaklara göre dağılımı	11
Çizelge 3. 1	Türkiye teknik ve ekonomik HES potansiyeli durumu (Ekim -2010)	18
Çizelge 4. 1	Rüzgâr türbinlerinin yıllara göre değişimi	26
Çizelge 4. 2	Dünya rüzgâr santralleri kurulu gücü	34
Çizelge 4. 3	Dünya ilk 10 kurulu rüzgâr gücü kapasitesi	36
Çizelge 4. 4	Türkiye rüzgâr kaynakları	40
Çizelge 4. 5	Türkiye'de işletmede olan rüzgâr santralleri	41
Çizelge 5. 1	Türk mevzuatlarına göre yenilenebilir enerji kaynaklarına uygulanan teşvikler	49
Çizelge 7. 1	Avrupa'da 2 MW'lık tipik bir rüzgâr türbininin yapımındaki maliyet yapısı [34]	59
Çizelge 8. 1	600 MW gücündeki kömür yakıtlı santral için yapılan kabuller	64
Çizelge 8. 2	600 MW gücündeki kömürlü santralin yıllara göre elektrik üretim maliyetinin değişimi	66
Çizelge 8. 3	600 MW gücündeki doğalgaz yakıtlı santral için yapılan kabuller	67
Çizelge 8. 4	600 MW gücündeki doğalgaz yakıtlı santralin yıllara göre elektrik üretim maliyetinin değişimi	69
Çizelge 8. 5	600 MW gücündeki hidroelektrik santral için yapılan kabuller	70
Çizelge 8. 6	600 MW gücündeki hidroelektrik santralin yıllara göre elektrik üretim maliyetinin değişimi	71
Çizelge 8. 7	600 MW gücündeki rüzgâr santral için yapılan kabuller	73
Çizelge 8. 6	50 MW gücündeki rüzgâr santralinin yıllara göre elektrik üretim maliyetinin değişimi	74
Çizelge 8. 7	TEİAŞ verilerine göre 2009 yılı Türkiye'deki santrallerin kurulu güçleri ...	77

**YENİLENEBİLİR GÜÇ ÜRETİMİNİN ELEKTRİK ÜRETİM SEKTÖRÜNE VE
ENERJİ MALİYETLERİNE ETKİLERİNİN ANALİZİ**

Gülnur ARSLANOĞLU

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM

Yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Bu nedenlerden başlıcası özel sektörün göstermiş olduğu ilgi ve uygulama fiyat politikalarıdır. Ancak özellikle rüzgâr enerjisine olan yoğun talebin mevcut enerji üretim yapısı nasıl etkilediği ve uygulama fiyat politikası ile kurulması gereken maksimum yenilenebilir enerji kapasitesinin arasındaki ilişkinin sağlıklı bir piyasa için belirlenmesi gerekir. Özellikle güvenilirliği doğal olan rüzgâr santrallerinin üretim içindeki payının artması mevcut fosil yakıtlı santrallerin bunların yedeği gibi davranmasına sebep oluşturabilir. Bu ise fosil yakıtlar maliyetini arttıracaktır. Hem start – up sayısının ve buna bağlı enerji kayıplarının artması hem de yük faktörünün düşmesi bunun başlıca nedenlerindedir.

Bu çalışmada mevcut enerji üretim sektörüne rüzgâr enerji santrallerinin elektrik üretim maliyetleri ve kurulu güç kapasitesi, güvenilirlik oranı gibi faktörlerin diğer santrallerin üretim maliyetlerine ilişkileri analiz edilecektir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, rüzgâr santralleri, fosil yakıtlı santraller, maliyet analizi

**ANALYSIS OF RENEWABLE POWER GENERATION EFFECTS TO ELECTRICITY
GENERATION SECTOR AND ENERGY COSTS**

Gölnur ARSLANOĞLU

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Hasan Hőseyin ERDEM

Attention to renewable energy sources is increasing day by day. One of the mainly reasons are the attention that private sector pays and the price policy application. But specially the heavy demand for wind energy how effects the structure of existing energy generation and the relationship between price policy and which need to be establish maximum capacity of renewable energy capacity must be determined for a healthy market. Especially the increasing share of wind power plants in production create cause that the existing fossil fueled power plants made them behave as their replacement. This will increase the cost of fossil fuels. Increased number of start – up and load factor falls are the main reasons.

In this study, factors like electricity generation costs, installed power and reliability ratio of wind energy power plants relationships with the generation costs of other power plants in the existing energy generation sector will be analyzed.

Key words: Renewable energy, wind energy power plants, fossil fueled power plants, cost analysis

1.1 Literatür Özeti

Belirlenen yerlere kurulması düşünülen santral alternatifleri arasında en uygunun seçilmesi için yapılan ekonomik değerlendirmeler ve karşılaştırmalarının enerji üretim maliyetine göre yapılması gerekir. Aybers ve Şahin (1995), alternatif santraller arasında uygun olanın seçilmesi için bir değere getirilmiş maliyet metodunu kullanarak örnekler ve hesaplamalar yapmışlardır.

Bir değere getirilmiş maliyet metodunda paranın zaman değeri dikkate alınarak eşdeğer bir enerji üretim maliyeti elde edildiği için, üretilen elektrik enerjisi, santralin ömrü boyunca bu maliyet değerinden satılırsa, gelirlerin şimdiki değeri, üretim için yapılan tüm masrafların şimdiki değerine eşit olacaktır[32].

Malkoç (2007), rüzgâr enerjisinin ülkemizdeki elektrik ihtiyacının karşılanmasındaki yerini incelemiştir. Çalışmada kurulu güçlerin diğer ülkelerle karşılaştırılması, Türkiye'nin rüzgâr potansiyeli, son dönemde rüzgâr enerjisi alanında yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Gökçınar (2008), rüzgâr enerjisi elektrik üretim maliyetlerini diğer enerji kaynaklarıyla karşılaştırmış ve rüzgâr enerjisinin elektrik üretim maliyetini etkileyen değişkenlerden bahsetmiştir. Ayrıca çeşitli ülkelerde yenilenebilir enerjiye verilen teşvikleri karşılaştırmıştır. Bu çalışmada rüzgâr enerjisinin, özelliği gereği çevreye en az zarar veren bu yüzden de dış maliyetleri en düşük olan enerji kaynağı olduğu belirtilmiştir. Ancak en önemli problemi süreksizliktir.

1.2 Tezin Amacı

Ülkelerin sosyal ve ekonomik yönden kalkınmalarında enerjinin yeri çok büyüktür. Enerjinin ulaşılabilirliği, elde edilebilirliği, kabul edilebilirliği ve sürekliliği dahilinde üretimi, çevrimi, iletimi, dağıtımı ve özellikle de ekonomisi çok büyük derecede önem taşımaktadır.

Dünya nüfusunun artmakta olması, özellikle gelişmekte olan ülkelerde yaşam kalitesinin yükselmesi, hammaddeye ve enerjiye olan ihtiyacı yani talebi arttırmaktadır.

Enerji tüm sektörlerde en önemli girdi durumundadır. Evlerde, iş yerlerinde, sanayide, ulaşımda, sağlıkta, eğitimde yani neredeyse tüm yaşam alanlarında enerji vazgeçilemez bir olgu haline gelmiştir. Enerji ihtiyacının karşılanmasında uzun yıllarca fosil yakıtlara yönelinmiş, ancak bu fosil yakıtların yakın bir gelecekte tükenme tehlikesiyle karşı karşıya kalınması ve çevreye verdikleri zarar yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi arttırmış ve yatırımların bu yönde yapılmaya başlanmasına neden olmuştur.

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de enerji ihtiyacımız büyük ölçüde fosil yakıtlardan sağlanmakta ancak doğalgaz ve petrol rezervleri yeterli düzeyde bulunmamaktadır. Özellikle geçmişteki yaşanan petrol krizlerinden kaynaklanan elektrik sıkıntıları ve ülkemizin yenilenebilir enerji açısından zengin oluşu bu alanda çalışmaların hızlanmasını sağlamıştır.

Gelişmiş ülkeler de sera gazı emisyonlarından korunmak için dünyada rüzgar gücü geliştirmelerini teşvik etmeli ve desteklemelidir. Rüzgar gücü küresel çapta kullanıma hazır ve gerekli güç teknolojilerinin en etkililerinden biri olup, diğer güç santrallerinden çok daha çabuk kurulabilmektedir ancak süreksizlik, planlama açısından hem maliyeti arttırır hem de uygulanabilirlikte sorun yaratır.

Bu çalışmadaki amaç, ülkemizde rüzgar enerjisi potansiyelinin, fayda – maliyet açısından çeşitli ülkelerle karşılaştırmalı olarak incelenerek, rüzgar enerjisi kullanımının ülkemizde daha avantajlı hale gelebilmesi için yapılabilecekleri incelemektir. Ayrıca rüzgar enerjisinin hem maliyet hem de uygulama sırasında problem yaratan süreksizliği

incelenip, bu süreksizliğin farklı kaynak ve teknolojileri içeren mevcut elektrik üretim sistemlerinin elektrik üretim maliyetine etkisi incelenmiştir.

1.3 Bulgular

Rüzgar enerjisi mevcut üretim teknolojileriyle kW başına yüksek sermaye gerektiren buna karşın yakıt ve işletme maliyeti en düşük enerji kaynağıdır. Yoğun sermaye gerektiren her yatırımda olduğu gibi rüzgar enerjisi santrallerinin kârlılığı da sermayenin fiyatına, kredi ve teşvik finansman koşullarına bağlıdır.

ENERJİ VE ENERJİ KAYNAKLARI

2.1 Enerji nedir?

İnsan yaşamının vazgeçilmez bir parçası olan enerji, geçmişte olduğu gibi bugün de dünya gündeminde tartışılan konuların başında yer almaktadır. Enerji, ülkelerin ekonomik ve sosyal olarak gelişiminde, dolayısıyla toplumsal refahın artırılmasında vazgeçilmez bir etken olmaya devam etmektedir.

Enerji, yunanca “en (iç)” ile “ergon (iş)” kelimelerinin bir araya gelmesiyle oluşmuş teknik anlamda ise, iş yapabilme yeteneğini, yani bir cismin kendisine direnç gösteren bir kuvvete karşın hareketini ifade etmektedir [1].

Enerji kısaca bir cismin veya bir sistemin iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Başlıca enerji çeşitleri kimyasal enerji, ısı enerjisi, elektrik enerjisi ve mekanik enerji olarak sıralanmaktadır. Bu enerji çeşitleri enerji dönüşüm sistemleriyle birbirlerine dönüştürülebilirler. Örneğin fosil yakıtlar makine ve motorlar yardımıyla mekanik enerjiye dönüşür.

2.2 Enerji Kaynakları

Geleneksel olarak enerji kaynakları ikiye ayrılır. Bunlardan ilki kaynağından çıktığı gibi tüketilen kömür, doğal gaz ve petrol gibi kaynaklar olup birincil (primer) enerji kaynağı olarak tanımlanmaktadır. Birincil enerji kaynağının dönüşümünden elde edilen elektrik, kok, havagazı vb. enerji kaynakları ise ikincil (sekonder) enerji kaynağı olarak

adlandırılmaktadır. Birincil enerji kaynaklarının fiziksel olarak değişimi ile oluşan ikincil enerjilere, enerji taşıyıcısı da denilmektedir [2].

Dünyadaki enerji türlerinin kökeni olarak güneş enerjisi gösterilmekte, diğer enerjiler ise güneş enerjisi kökenli “dönüşüm enerjileri” olarak tanımlanmaktadır. Tüm yenilenebilir enerjiler ve hatta fosil yakıtlar enerjilerini güneşten almaktadır. Enerji kaynaklarını üç ana başlıkta toplamak mümkündür. Birincisi yerin altında kalan bitkilerin ve canlıların bataklık alanlarda birikmesi sonucu oluşan tabakaların değişime uğramasıyla meydana gelen fosil yakıtlardır. İkincisi potansiyeli mevcut olan ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak kullanımı artan yeni enerji kaynaklarıdır. Üçüncüsü ise tükenmeyen, eksilmeyen yenilenebilir enerji kaynaklarıdır[2].

Bilinen enerji kaynaklarını alternatif yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak; hidroelektrik enerjisi, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, dalga enerjisi, gel – git enerjisi, okyanus ısı enerjisi, hidrojen enerjisi, biyokütle ve biyogaz enerjisi olarak sıralayabiliriz.

Dünya enerji kaynakları içerisindeki en büyük pay fosil yakıtlara (kömür, petrol ve doğal gaz) aittir. Alternatif enerji kaynakları konusunda yapılan çok ciddi çalışma ve araştırmalara rağmen fosil yakıtların toplam dünya enerji tüketimi içindeki payı %85-90 oranında yer almaktadır. Günümüzde kullandığımız ikincil enerjinin büyük bir kısmı da petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Ancak bu yakıtların rezervlerinin sınırlı ve tükenmek üzere olduğu artık bilimsel çalışmalarla da ispatlanmış olup yeni enerji kaynaklarına yönelimler artmaktadır [2].

2.3 Dünyada Enerjinin Genel Durumu

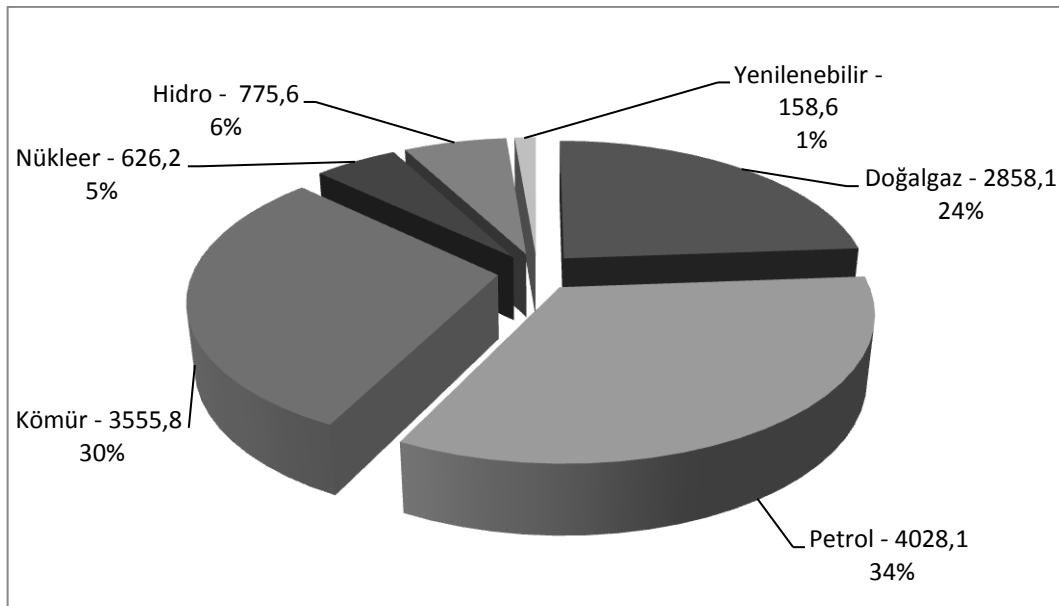
Enerji, özellikle de elektrik enerjisi günümüzde günlük hayatımızda vazgeçilmez bir önceliğe sahiptir. Gelişen teknolojiye bakacak olursak enerjisiz bir yaşam mümkün değildir. Dolayısıyla enerji talebinin ilerleyen günlerde de artacağı açıkça görülmektedir. Dünya Enerji Ajansı tarafından yapılan araştırmalara göre mevcut enerji politikaları ve arzının devam etmesi durumunda dünya birincil enerji talebinin 2007 – 2030 yılları arasında %40 oranında artması beklenmektedir.

Bu oran artışı da referans senaryo olarak adlandırılmıştır. Ve bu referans senaryoya göre yıllık ortalama %1,5 düzeyinde bir talep artışı beklenmektedir. Bu durumda da

2007’de 12 milyar ton petrol eşdeğeri olan enerji talebinin 2030 yılında 16,8 milyar ton petrol eşdeğeri olması beklenmektedir. Bu zaman dilimi arasında da fosil yakıtların bu artışın dörtte üçünden fazlasını karşılayacak birincil kaynak olacağı tahmin edilmektedir.

Dünya ölçeğinde kullanmakta olduğumuz enerjinin çoğu petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardan elde edilmekte olup, bu kaynakların rezervlerinin de sınırlı olduğu yapılan araştırmalarla belirlenmiştir. Dünyamızdaki bugünkü bilinen rezervlerinin bugünkü tüketim hızı ile yakın zamanda tükeneceği bilim insanları tarafından ifade edilmektedir. Yeni aramalarla bulunan ve bugüne değin ekonomik olmadığı gerekçesiyle değerlendirilmeyen sahaların kullanıma açılması vb. gelişmeler de olsa; mevcut rezervlerin sonuna doğru yaklaşılmaktadır. Ayrıca fosil yakıtların sera gazı olarak bilinen CO₂’in önemli kaynağı olması sebebiyle, küresel iklim değişikliklerine neden olduğu da bilinen bir gerçektir. Bu nedenle fosil yakıtlardan üretilen enerjinin gerçek maliyetini bulmak için uzun dönemde meydana gelebilecek çevre etkisi ve insan sağlığı üzerine olan etkileri vb. dışsal maliyetleri de göz önüne almak gerekmektedir [2].

Günümüzde birincil enerji üretiminin çok büyük oranı fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Buna paralel olarak Şekil 2.1’de görebileceğimiz gibi tüketimin de büyük oranı fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. 2010 yılında dünya birincil enerji tüketiminde %88’lik kısmı hala fosil yakıtlardan sağlanmaktadır.



Şekil 2. 1 Birincil enerji kaynaklarının 2010 yılında tüketimi [3]

Çizelge 2.1’de Dünya genelinde, Amerika’da, Avrupa’da ve ülkemizde kişi başına tüketilen elektrik enerjisi miktarlarını görmekteyiz. Bu verilere göre ülkemizde kişi başına birincil enerji tüketiminin düşük olduğu görülür. Kişi başına brüt elektrik enerjisi tüketimi gelişmiş ülkeler ortalamasının neredeyse üçte birinden azdır.

Çizelge 2. 1 Kişi başına yıllık elektrik enerjisi tüketimi

ÜLKELER	KİŞİ BAŞINA TÜKETİM (kWh)
Dünya Ortalaması	2500
Gelişmiş Ülkeler Ortalaması	8900
ABD	12322
Türkiye	2791

Ancak diğer istatistiki bilgilere bakacak olursak da çok kısa bir zaman içerisinde fosil yakıtların tükeneyeceğini görürüz. İstatistiklere göre petrol 46 ile 50 yıl arasında, doğalgaz rezervleri ise 63 ile 119 yıl arasında tükenecektir. Bununla birlikte de kömüre de 119 yıl ile 176 yıl verilmiştir [3].

Çizelge 2. 2 Birincil enerji kaynaklarının kalan ömürleri

Birincil Enerji Kaynağı	Kalan Ömür (Yıl)
Petrol	46 - 50
Doğalgaz	63 - 119
Kömür	119 - 176

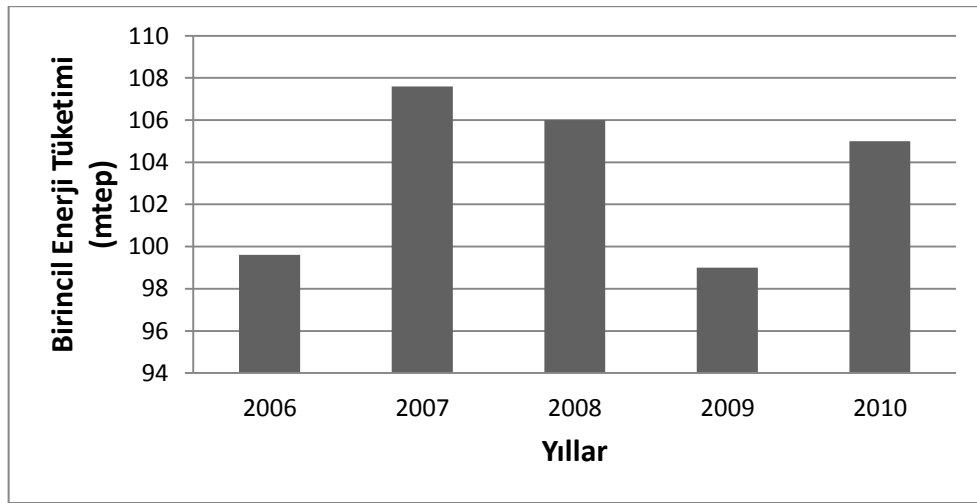
Dünya’da 2008 yılında başlayarak devam eden ekonomik kriz tüm ülkeleri ekonomik ve sosyal anlamda etkiledi. Hükümetler, politika belirleyiciler ve iş çevreleri büyük bir çaresizlik içinde kaldı. Bu gelişmelerden de en fazla petrol ve doğal gaz sektörleri etkilendi. Petrol ve doğal gaz talebi önemli seviyede düştü, buna karşılık petrol ve doğal gaz fiyatları belli bir fiyat bandı arasında küçük artış ve azalışlarla oynadı [4].

Tüm dünyada son 25 yılda, özellikle elektrik enerjisine talebin yoğunlaştığı gözlemlenmektedir. Elektriğin 2035 yılına kadar en hızlı büyüyen (%2,5) son kullanıcı enerji formu olması, nihai enerji tüketimindeki payının 2008’deki %17 düzeyinden 2020’de %20’ye, 2035’te ise %23’e çıkması beklenmektedir. Ancak elektrik sektörü de

2009 yılında finansal zorluklar ve zayıf talep sebebiyle ciddi şekilde etkilenmiştir. Yüzde ikiye yakın gerçekleşen talep düşüşü, İkinci Dünya Savaşı'ndan bu yana görülen en büyük yıllık azalmaya işaret etmektedir [5].

2.4 Türkiye'de Enerjinin Genel Durumu

Türkiye'de artan nüfusa ve artan GSMH'ye paralel olarak enerji tüketimi de artmaktadır. Ancak dünyadaki ekonomik gelişmeler, Türkiye'yi de etkilemiştir. Bununla birlikte 2007 yılı ve 2008 yılının ilk yarısında enerji tüketiminde artışlar olmuştur. 2006 yılında 99,6 mtep olan enerji tüketimi, 2007 yılında % 8'lik bir artışla 107,6 mtep olmuştur. Bu artış da dünya ülkeleri arasında azımsanmayacak bir artıştır. 2009 yılında Türkiye birincil enerji tüketimi bir önceki yıla göre azalarak 99 mtep'e gerilemiştir. Birincil enerji tüketimindeki gerileme 2007 yılından bu yana devam etmektedir. 2009 yılındaki tüketim ile Türkiye birincil enerji arzı 2006 yılındaki değerine gerilemiştir (Şekil 2.2).



Şekil 2. 2 Türkiye'nin birincil enerji tüketimi [4]

2008 yılının ilk yarısında artışlar gösteren elektrik enerjisi talebi, dünyayı sarsan ve yıkıcı etkileri Türkiye'yi de teslim alan ekonomik krizin etkisiyle, ikinci yarıdan itibaren artış hızını azaltmış ve Ekim 2008'den itibaren düşüşe geçmiştir. 2008 yılı başında 203 milyar kWh olacağı tahmin edilen elektrik tüketimi 198.058 milyar kWh'de kalmıştır. Talep, üretim ve tüketimdeki düşüş eğilimi 2009'un ilk üç çeyreğinde de sürmüştür. 193.472 milyar kWh olarak gerçekleşen 2009 elektrik tüketimi 2008'e göre % 2,3

gerilemiştir. Etkileri yoğunlaşarak süren ekonomik krizin elektrik enerjisi talebinde artışı frenlediği görülmektedir [6].

Türkiye enerji üretim kapasitesinin enerji talebini karşılayamaması nedeniyle enerji ithal eden bir ülkedir. Kalkınma ve nüfus artışına paralel olarak toplam enerji tüketimimiz hızla artmakta ama buna rağmen, enerji üretimimiz aynı oranda artış gösterememektedir.

Enerji talebinin ülkemiz kaynaklarından karşılanabilme oranı giderek azalmış ve enerjide dışa bağımlılığımız %73 düzeyine ulaşmıştır [4].

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'ndan alınan 2008 verilerine göre [7] Çizelge 2.3'te tüketilen kaynakların tüketimdeki payları ve yerli karşılama oranları gösterilmiştir.

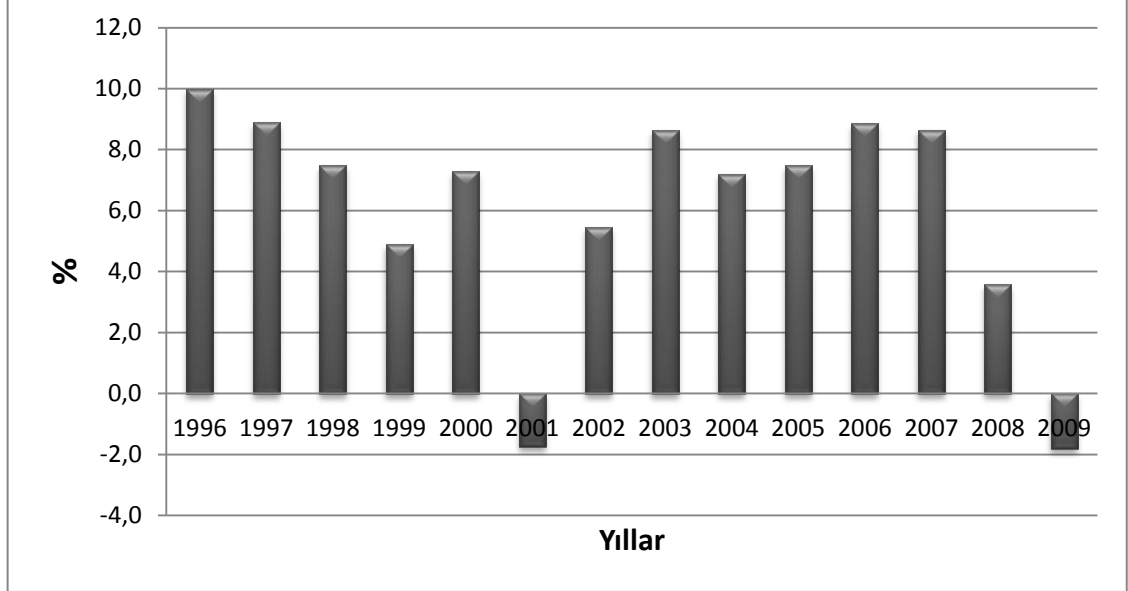
Çizelge 2. 3 Tüketilen kaynaklar ve yerli üretime oranı

Kaynak	Tüketimdeki Payı %	Yerli Karşılama Oranı %
Doğal Gaz	29	2,75
Petrol	33	7
Kömür	29	46

Ülkemizde yıllara göre elektrik enerjisi üretimine de bakacak olursak artan elektrik üretimimiz, ekonomik krizlerin etkisiyle grafikte de görüleceği gibi 2001 ve 2009 yıllarında azalmıştır (Çizelge 2.4). Elektrik üretimimiz 2009 yılında bir önceki yıla göre % 1,8 düşüş göstermiştir (Şekil 2.3).

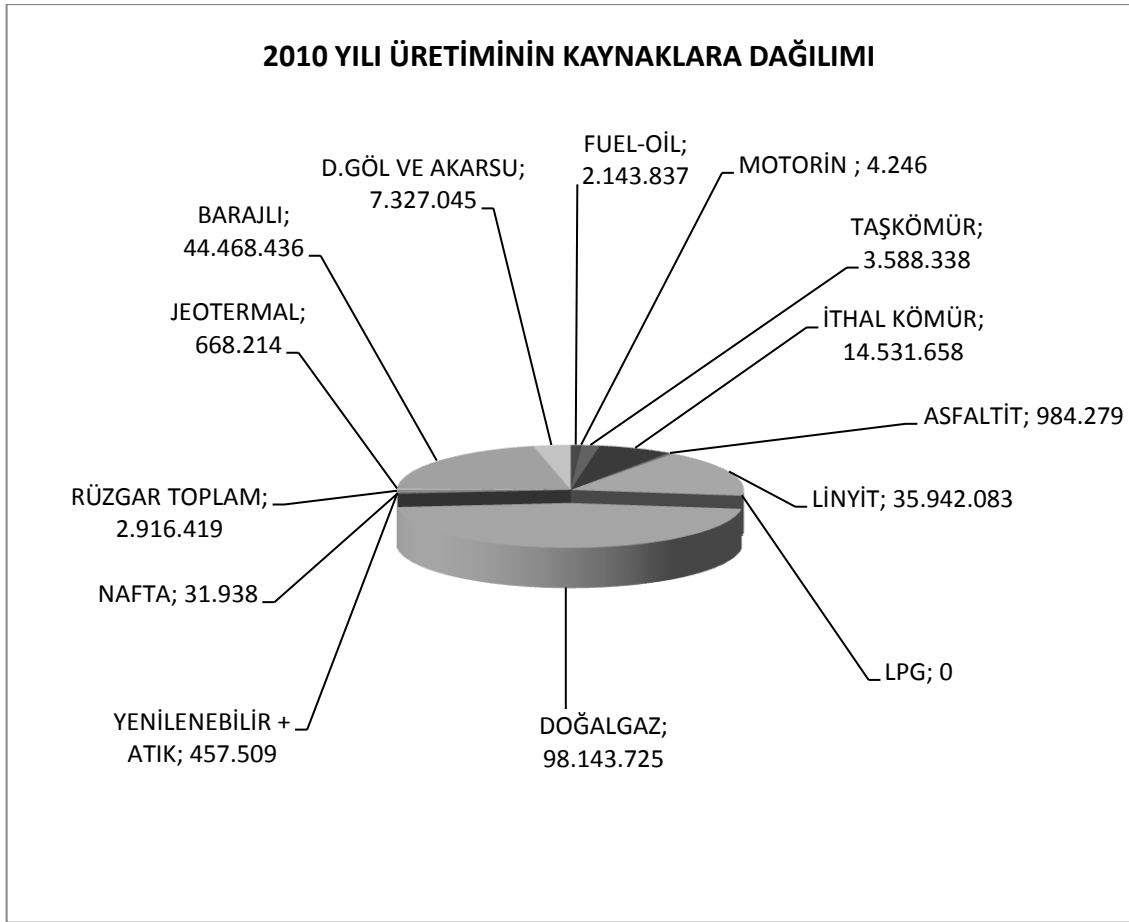
Çizelge 2. 4 Türkiye'nin yıllara göre elektrik enerjisi üretimi [8]

Yıllar	Üretim (GWh)
1996	94861,7
1997	103295,8
1998	111022,4
1999	116439,9
2000	124921,6
2001	122724,7
2002	129399,5
2003	140580,5
2004	150698,3
2005	161956,2
2006	176299,8
2007	191558,1
2008	198418,0
2009	194812,9



Şekil 2. 3 Türkiye elektrik üretiminin yıllara göre yüzdesel değişimi [8]

Enerji üretimimizin kaynaklar bazında miktarlarına da bakacak olursak, en çok enerji üreten santrallerimizin termik santraller olduğunu görüyoruz. Termik santralleri hidrolik santraller izlemekte. Hidrolik santrallerden sonra elektrik üretim sıralamasında yenilenebilir enerji kaynakları ve jeotermal enerji santralleri gelmektedir (Şekil 2.4).

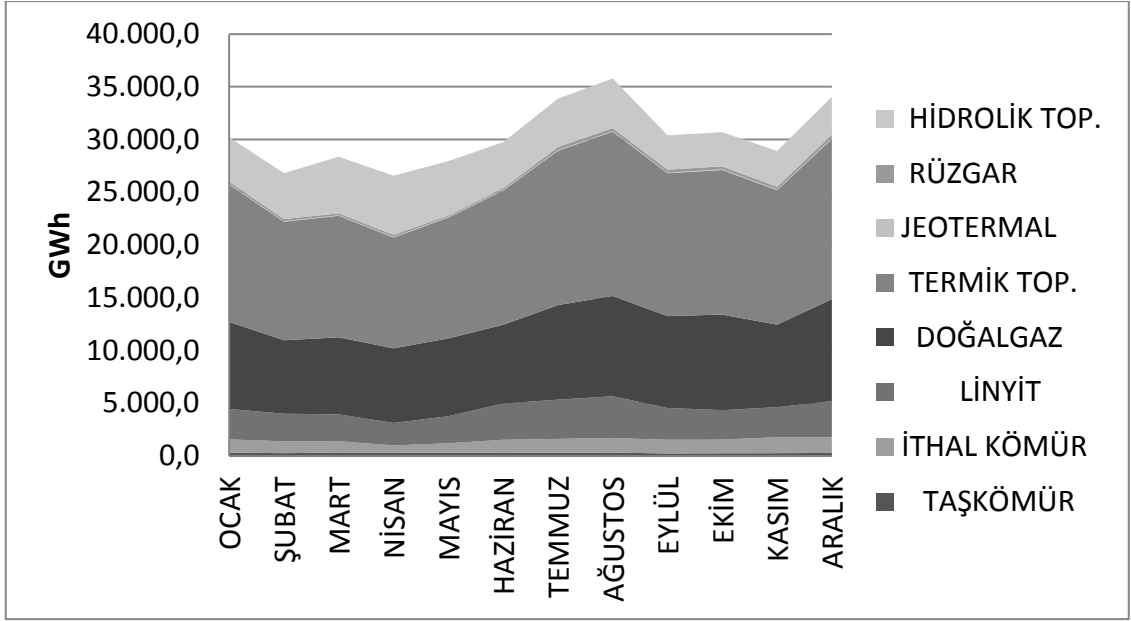


Şekil 2. 4 Türkiye 2010 yılı elektrik üretiminin kaynaklara dağılımı [9]

Çizelge 2.5'te [9] ve Şekil 2.5'te 2010 yılı Türkiye elektrik enerjisi üretiminin aylık bazda birincil kaynaklara göre dağılımını görmekteyiz.

Çizelge 2. 5 2010 yılı Türkiye elektrik enerjisi üretiminin aylık bazda birincil kaynaklara göre dağılımı

AYLAR	FUEL-OİL	MOTORİN	TAŞKÖMÜR	İTHAL KÖMÜR	ASFALTİT	LİNYİT	DOĞALGAZ	NAFTA	LPG	DİĞER+ATIK	TERMİK TOP.	JEOTERMAL	RÜZGAR	HİDROLİK TOP.	GENEL TOP. (GWh)
OCAK	173,5	0,3	326,3	1.248,5	90,2	2.890,6	8.238,9	3,5	0,0	40,5	13.012,4	51,9	238,5	4.199,0	17.501,7
ŞUBAT	136,6	0,3	269,8	1.127,6	82,9	2.613,1	6.964,4	3,2	0,0	37,4	11.235,3	46,1	203,4	4.352,8	15.837,7
MART	169,4	0,3	330,8	1.076,3	51,1	2.540,1	7.306,6	3,5	0,0	40,7	11.518,8	46,8	185,7	5.368,4	17.119,7
NİSAN	179,9	0,4	323,6	681,4	83,3	2.130,3	7.071,7	3,2	0,0	34,8	10.508,5	57,2	200,3	5.596,7	16.362,7
MAYIS	175,2	0,9	308,8	901,6	93,5	2.567,2	7.372,3	3,0	0,0	36,0	11.458,5	55,9	131,4	5.167,0	16.812,9
HAZİRAN	168,9	0,3	325,5	1.214,2	74,5	3.436,4	7.465,9	0,4	0,0	37,9	12.723,9	56,8	164,7	4.366,5	17.311,9
TEMMUZ	195,6	0,4	312,8	1.311,4	90,6	3.720,0	8.963,1	0,9	0,0	31,6	14.626,4	54,7	304,3	4.582,1	19.567,6
AĞUSTOS	269,1	0,4	325,7	1.387,0	92,4	3.952,5	9.507,7	2,0	0,0	32,3	15.569,0	54,4	287,6	4.709,7	20.620,8
EYLÜL	168,1	0,3	244,0	1.293,9	71,9	3.011,4	8.714,8	0,8	0,0	39,2	13.544,3	56,4	283,2	3.255,7	17.139,6
EKİM	155,7	0,3	257,6	1.298,7	96,9	2.793,7	9.055,8	3,8	0,0	43,1	13.705,7	62,5	289,6	3.233,1	17.291,0
KASIM	150,2	0,2	268,8	1.511,6	95,2	2.850,3	7.824,5	3,6	0,0	43,3	12.747,7	60,9	261,8	3.394,1	16.464,5
ARALIK	201,6	0,2	294,6	1.479,4	62,0	3.436,5	9.658,0	4,1	0,0	40,6	15.177,0	64,6	365,7	3.570,2	19.177,5



Şekil 2. 5 Türkiye 2010 yılı elektrik enerjisi üretiminin aylık bazda birincil kaynaklara göre dağılımı

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

3.1 Yenilenebilir Enerji

Yenilenebilir enerji kısaca, " doğada bir çevrime bağlı olarak, bir sonraki gün aynen mevcut olabilen enerji kaynağı " olarak tanımlanabilir. Bugün yaygın olarak kullanılan fosil yakıtlar, yakılınca biten ve yenilenmeyen enerji kaynaklarıdır. Oysa hidrolik (su), güneş, rüzgar ve jeotermal gibi doğal kaynaklar yenilenebilir olmalarının yanı sıra temiz enerji kaynakları olarak karşımıza çıkmaktadır [10].

Birçok avantajlarına rağmen yenilenebilir enerji sistemlerinin nispeten yüksek maliyeti yaygınlaşmasının önündeki en büyük engeldir. Günümüzde tüm dünyada, özellikle gelişmiş ülkelerde, çeşitli teşvikler ve örnek projeler yolu ile yenilenebilir enerjilerin kullanımını yaygınlaştırılmaya ve toplumda bir farkındalık yaratılmaya çalışılmaktadır. Böylece yenilenebilir enerji sektörü pazarının gelişmesi sağlanarak maliyetlerin arz – talep ilişkisi içerisinde düşmesi beklenmektedir. Artan enerji maliyetleri, birçok alanda yenilenebilir enerjileri daha ekonomik ve dolayısıyla tercih edilebilir olmasını sağlamaktadır.

1973 yılındaki petrol krizine kadar fosil yakıtlar, ucuz ve enerji üretiminde kolay olduğundan yaygın olarak kullanılmış, ancak bu krizden sonra fosil yakıtlara güven sorunu ortaya çıkartmıştır. Bu yüzden de bütün dünyada yenilenebilir enerjiye olan ilgi hızla artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin bir diğer nedeni de doksanlı yıllarda ortaya çıkan çevre bilinci kavramıdır. Bu bilinçle temiz enerji olarak adlandırılan

yenilenebilir enerji kaynakları, çevreye ve insan sağlığına olumsuz etkileri olan geleneksel enerji üretim sistemleri yerine tercih edilmesine sebep olmuştur.

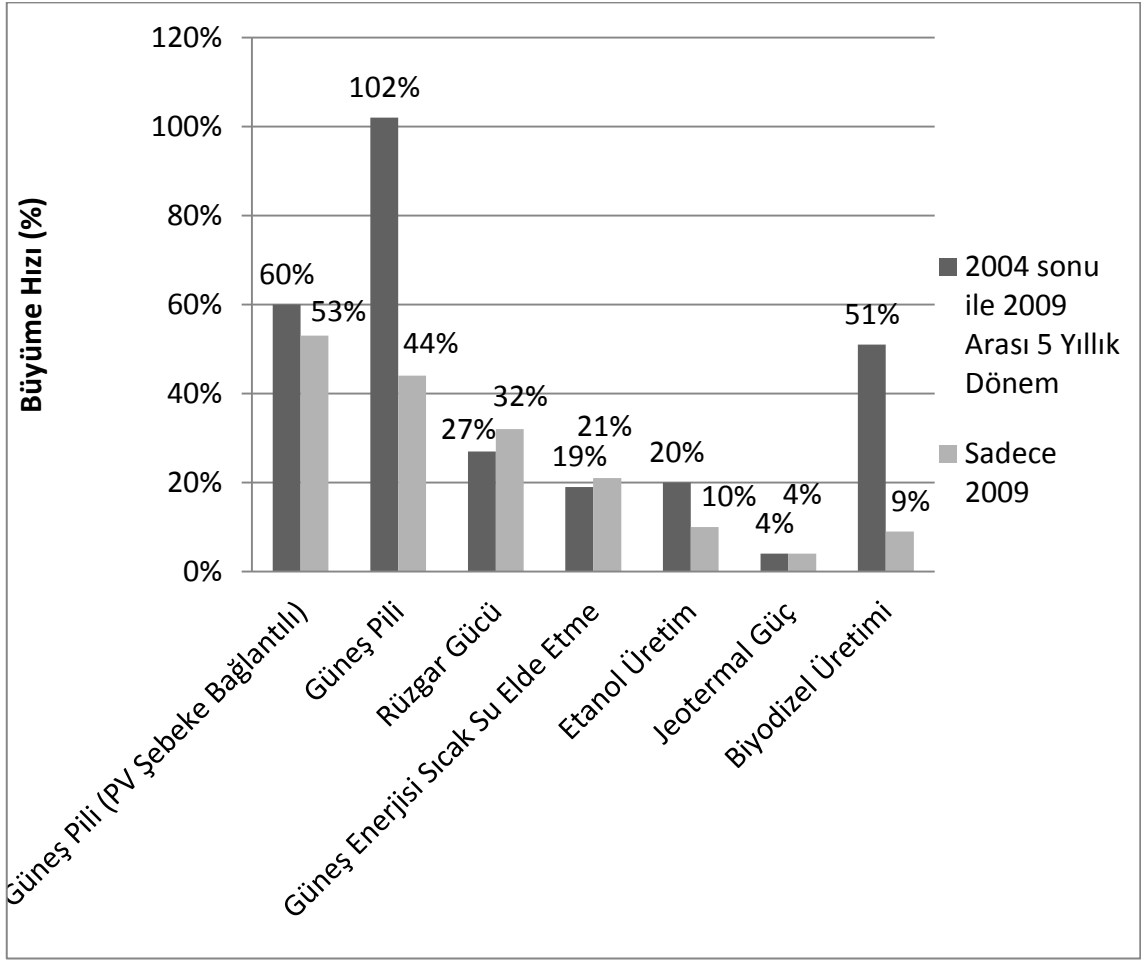
Fosil yakıtların çevre ve insan sağlığı açısından yarattığı olumsuzluklar her geçen gün artmaktadır. Fosil yakıtlar yakıldığında sera gazının açığa çıkmasına neden olmaktadır. Sera gazlarının en belirleyici olanı ise CO₂ ve metan gazıdır. Bunların yanında kükürt, partikül madde, NO, kurum ve kül gibi atıkların da çevreyi aşırı derecede kirlettiği bilinmektedir. Bu gerçekten hareketle insanoğlunun geleceği açısından yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının bulunması ve sürekliliğin sağlanması ihtiyaç olmaktan çıkarak yaşamsal bir zorunluluk halini almaktadır [2].

Yenilenebilir enerjinin tercih edilmesi, çevrenin korunmasına, dışa bağımlılığın azalmasına, kaynak çeşitliliği yaratılması ve pek çok alanda iş istihdamı yaratılmasını sağlamaktadır. AB ülkeleri başta olmak üzere dünyada pek çok ülke yenilenebilir enerji kaynaklarını desteklemektedir.

3.2 Dünya’da Yenilenebilir Enerji

Fosil yakıtların sebep olduğu sera gazlarının küresel ısınmaya ve iklim değişikliklerine yol açması, ayrıca nükleer enerji kaynaklarının toplumsal olarak ekonomik açıdan yüksek maliyetli olması, ülkelerin özkaynaklarını daha verimli ve etkin bir biçimde kullanmayı gerektirmiştir. Enerjideki gereksinimleri karşılamada teknolojik gelişmelerin de sayesinde, bu yöndeki araştırmalar alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelme durumu söz konusudur. Böylece sürdürülebilirliğin sağlanması ve doğal dengenin korunmasına yardımcı olmak açısından yenilenebilir enerji kaynaklarının işlenmesi ve kullanılmasının önemi giderek artmaktadır.

Dünya yenilenebilir enerji kapasitesinin 2004 ile 2009 yılı arası gelişim hızına baktığımızda en çok artışın güneş pillerinde ve biyodizel üretiminde olduğunu görmekteyiz. Bununla birlikte geçen senelerde rüzgâr enerjisinde ve güneş enerjisinde de önemli artışlar yaşanmıştır. Şekil 3.1’de dünyada yenilenebilir enerji kapasitesinin büyüme hızının yenilenebilir enerji kaynaklarına göre dağılımını ve yıllar içindeki değişimi görmekteyiz.



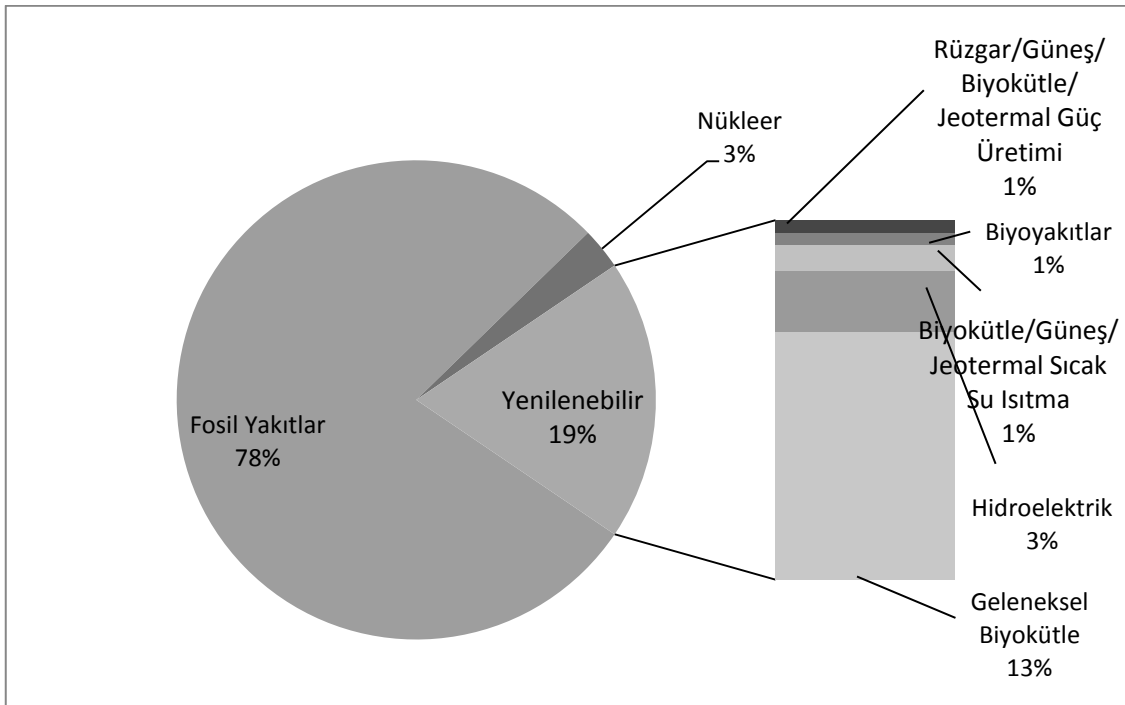
Şekil 3. 1 Dünya’da yenilenebilir enerji kapasitesinin yıllık ortalama büyüme hızı

Yüksek petrol ve doğalgaz fiyatları, yenilenebilir enerji kaynaklarının daha geniş oranda kullanımını cesaretlendirmektedir. 2030 yılına kadar dünya genelinde hidroelektrik ve diğer yenilenebilir tüketiminde yıllık %3,4’lük artışlar beklenmektedir. Hidrolik dışında yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu güçteki oranı 2007’de % 2,5 iken 2030 yılında bu oranın % 8,6’ya yükseleceği, hidroelektriğin ise aynı dönemde %16’dan %14’e gerileyeceği öngörülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarındaki artışa en büyük katkı ise rüzgar enerjisinden gelecektir [4].

Günümüzde tüm yenilenebilir enerji kaynakları, enerji talebinin %2,5’lik bölümünü karşılarken, Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) 2015 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam talebin %3,3’ünü karşılamasını öngörüyor. IEA’nın projeksiyonuna göre, 2001-2030 yılları arasındaki dönemde yenilenebilir enerji kaynaklarına 10,5

trilyon dolarlık yatırım gerçekleşecektir. OECD ülkeleri arasında yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretimindeki payının %25'e ulaşması beklenmektedir. Karbondioksit oranlarının düşürülmesi gerekliliği, fosil yakıtlara bağımlı ülkelerde enerji arz güvenliğinin sağlanması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının orta ve uzun vadede geleneksel enerjilere göre maliyet avantajı da elde edeceği beklentileri, yenilenebilir enerji kaynakları konusunda yatırımların ve desteklerin oluşmasına neden olmuştur. AB komisyonu da özellikle rüzgâr, güneş, biyokütle ve hidrolik enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişmesini enerji politikalarının merkezine yerleştirmiştir. AB, %6 seviyelerinde olan yenilenebilir enerji kaynaklı enerji tüketimini bu yıl itibariyle iki katına çıkartmayı hedeflemiştir.

Şekil 3.2'de küresel güç üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının dağılımını görülmektedir. % 19'luk yenilenebilir enerji kaynaklarının en büyük payının % 13 ile biyokütle olduğunu ondan sonra da % 3'lük pay ile hidroelektriğin geldiğini görmekteyiz.



Şekil 3. 2 2010 yılı küresel nihai enerji tüketiminde yenilenebilir enerjinin payı [11]

Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretiminde kullanım payının şu andaki %19 seviyesinden 2030 yılında %22'ye ulaşacağı beklenmektedir.

3.3 Türkiye’de Yenilenebilir Enerji

Türkiye’deki yenilenebilir enerji kaynakları 2005 yılında çıkan YEK kanunu ile daha da teşvik edilip kullanımı artmıştır. Elektrik enerji üretimi amaçlı kullanımının yaygınlaştırılması, bu kaynakların güvenilir, ekonomik ve kaliteli biçimde ekonomiye kazandırılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, atıkların değerlendirilmesi, çevrenin korunması ve bu amaçların gerçekleştirilmesinde ihtiyaç duyulan imalat sektörünün geliştirilmesini amaçlayan YEK kanunu, sektörün gelişmesi yönünde önemli bir adım oluşturmuştur.

2008 yılı Türkiye toplam birincil enerji arzının 9,319 mtep’i (%9) yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmıştır. Ülkemizin orman, bitki ve hayvan atıklarından oluşan biyokütle kaynakları çoğunlukla geleneksel yöntemler kullanılarak enerjiye dönüştürülmektedir. Bu miktar yıllık birincil enerji arzının %4,52’ini oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji arzının %51,64’ü biyokütle kaynakları, %32,2’si hidrolik ve jeotermalden elektrik üretimi, %0,72’si rüzgârdan elektrik üretimi, %10,8’ini jeotermal ısı ve diğer ısı , %4,5’ini güneş - ısı ve %0,01’ini biyo yakıtlar oluşturmaktadır [4].

3.3.1 Hidrolik

Türkiye’nin temel yenilenebilir elektrik enerji kaynağı hidrolik enerjidir. Dünyanın yarı – kurak bir bölgesinde bulunan Türkiye’de yağış, zamana ve bölgelere göre farklılık göstermektedir. Karadeniz bölgesi en fazla yağış alan bölge olurken, İç Anadolu Bölgesi en az yağış alan bölgedir [12].

DSİ verilerine göre Türkiye teorik hidroelektrik potansiyeli 433 Milyar kWh’dir. Bu potansiyelin ancak 216 Milyar kWh’lik bölümü teknik olarak değerlendirilebilir durumdadır. Teknik olarak değerlendirilebilir potansiyelin ise 140 GWh’lik bölümü ekonomik olarak değerlendirilebilir durumdadır. Bu potansiyelin kullanım durumu Çizelge 3.1’de verilmektedir.

Çizelge 3. 1 Türkiye teknik ve ekonomik HES potansiyeli durumu (Ekim -2010)

HES Dağılım	Kurulu Güç (MW)	Üretim Kapasitesi (GWh)
İşletmede	14254	49700
İnşaatı Devam Eden	8046	18300
Programda	22700	72000
Toplam	45000	140000

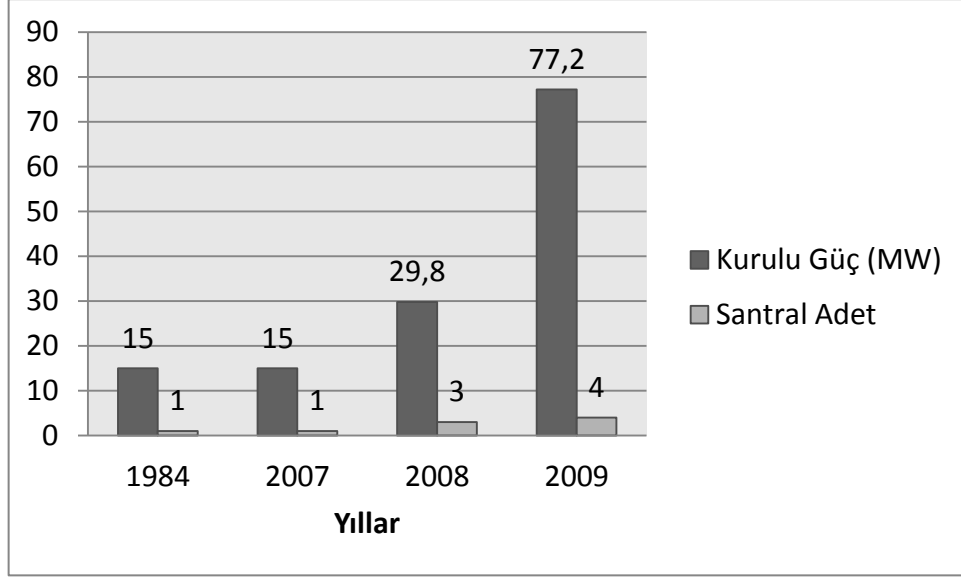
3.3.2 Jeotermal

Türkiye jeotermal potansiyeli konusunda iki tür kaynak kategorisi üzerinde durulmaktadır; 3 km derinlikten daha sığ derinliklerdeki hidrotermal kaynaklar ve yerküredeki ısı akısı kullanılarak elde edilen jeotermal potansiyel.

Bugüne kadar yapılan çalışmalar Türkiye'nin ilk 3 km derinliğindeki jeotermal potansiyelin 3×10^{23} Joule olduğunu göstermektedir. Monte Carlo tipi olasılıklı rezerv (potansiyel) tahmin yöntemi kullanılarak Türkiye genelinde toplam 40 adet ortayüksek sıcaklıklı jeotermal saha incelenmiştir. Bu sahalardan elektrik üretimi için elde edilebilecek en düşük jeotermal potansiyel sınır değeri referans sıcaklığının 100°C olması halinde 661 MW olarak tahmin edilmiştir [12].

MTA Genel Müdürlüğü verilerine göre ise ülkemizde elektrik üretimine uygun 15 adet jeotermal saha bulunmaktadır. Bu sahalardan çoğunlukla Menderes Grabeni ile Gediz Grabeninde yer almaktadır [12].

Şekil 3.3'te ülkemizdeki jeotermal kurulu gücünün ve jeotermal enerji santral sayısının değişimi görülmektedir.



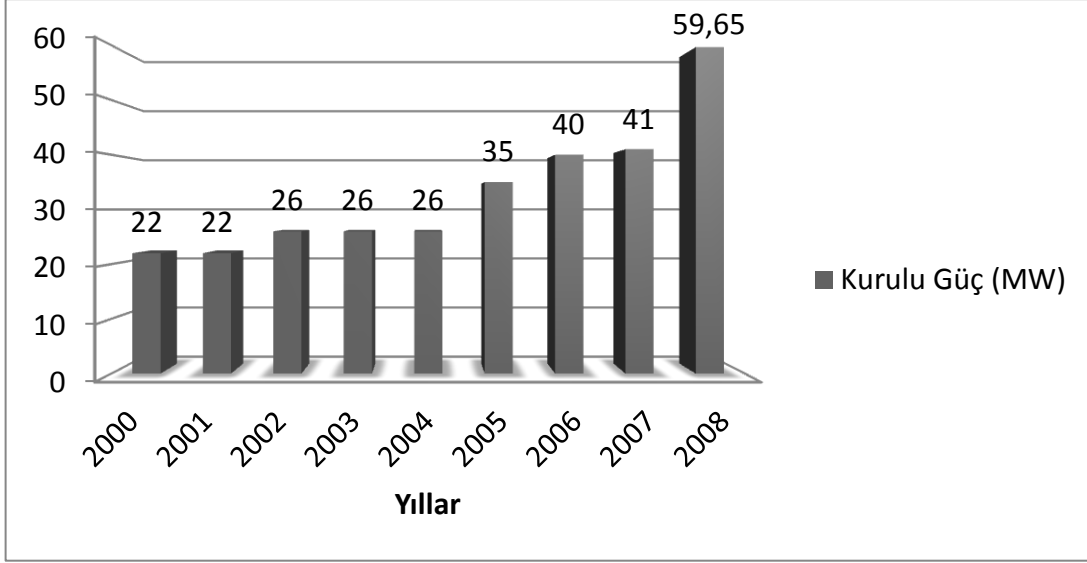
Şekil 3. 3 Türkiye'nin jeotermal enerji santrallerinin kurulu güç ve sayılarının yıllara göre değişimi

3.3.3 Biyokütle

Türkiye'deki yenilenebilir ve atık santrallerinin güçlerinin yıllara göre değişimi Şekil 2.4'te verilmektedir. 2008 yılında YEK+Atık santrallerinin kurulu gücü 59,65 MW'olup, bu santrallerden üretilen elektrik enerjisi ise 2199 GWh/yıl'dır [12].

Tarım Bakanlığı 2005 yılı verilerine göre buğday, mısır, arpa, çavdar, yulaf, darı, pirinç, tütün, pamuk, ayçiçeği, yer fıstığı ve soya gibi tarla ürünleri kullanılabilir artıklarından oluşan biyokütle potansiyeli 12.963.319 ton'dur [12].

Türkiye'de son zamanlarda organik atık, biyokütle ve biyogazdan enerji üretimine yönelik kamu ve özel sektör yatırımları artmaya başlamıştır. Öncelikle büyükşehir belediyeleri çöp atıklarının çözümüne yönelik olarak atık yakma ve enerji üretim tesisleri kurmaya başlamışlardır [12].



Şekil 3. 4 YEK+Atık santrallerinin kurulu gücünün yıllara göre değişimi

Türkiye’de son zamanlarda organik atık, biyokütle ve biyogazdan enerji üretimine yönelik kamu ve özel sektör yatırımları artmaya başlamıştır. Öncelikle büyükşehir belediyeleri çöp atıklarının çözümüne yönelik olarak atık yakma ve enerji üretim tesisleri kurmaya başlamışlardır.

3.3.4 Güneş

Ülkemiz coğrafi konumu itibariyle güneş enerjisi açısından pek çok ülkeye göre daha şanslıdır. EİE’nin çalışmalarıyla oluşturulan Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA), yıllık güneş enerjisi teknik üretim potansiyelinin 380 milyar kWh olduğunu belirtir. Bu çalışmada ayrıca Türkiye’deki ortalama yıllık toplam güneşlenme süresinin 2640 saat, ortalama toplam ışınım şiddetinin 1311 kWh/m²yıl olduğu belirtilmiştir.

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan yerleri güney kısmı olup, başta Güney Doğu Anadolu Bölgesi, Akdeniz Bölgesi ve Güney Ege Bölgesi olarak sıralanabilir. Güney ve batı kısımları en yüksek potansiyele sahiptir. Bu potansiyele rağmen halen şebekeye bağlı büyük ölçekli güneş - pv santrali bulunmamaktadır [12].

Güneş pilleri (güneş - pv) ülkemizde çoğunluğu Orman Gözetleme Kuleleri, Türk Telekom, deniz fenerleri, üniversite ve kurumlar başta olmak üzere bazı yerlerde küçük güçlerin karşılanmasında ve araştırma amaçlı, otoyol ve park aydınlatmasında, su pompalama ve su arıtma sistemlerinde küçük güçlerde çatılarda veya binaya entegre

olarak kullanılmaktadır. Halen kullanılmakta olan güneş pili sistemlerin toplam kapasitesi 3000 kW'tır [12].

Küçük ölçekli bazı sistemlerde binaya entegre, toplam gücü yaklaşık 1500 kW olan şebekeye bağlı güneş – pv uygulamaları kullanılmaktadır. Bunlara örnek olarak; Toyota Türkiye Sakarya Fabrikası girişindeki 14 kW'lık sistemi, Türk Telekom'un toplam 28 ildeki radyolink istasyonu kullanan toplam 300 kW gücündeki sistemi, Çeşme GSM istasyonu gibi GSM istasyonlarını, bazı belediyelerde park ve bahçe aydınlatmaları için yapılan güneş enerjili aydınlatma sistemlerini ve bazı otellerdeki su arıtma sistemlerini verebiliriz.

Ülkemize gelen güneş ışınımının sadece yüz binde ikisinden yararlanmaktayız. Ülkemizde bulunan konutlardan yalnızca % 18 – 20'lik bir kısmında güneş enerjili sıcak su sistemi bulunduğu tahmin edilmektedir. Eğer bu sistemler yaygınlaşırsa 3 – 3,5 milyar dolar ısıl enerji katkısının gerçekleşmesi beklenmektedir.

BÖLÜM 4

RÜZGÂR ENERJİSİ

Yenilenebilir enerji türlerinin birçoğu güneşin sebep olduğu süreçlerle oluşur. Güneş yeryüzüne saatte 100×10^{12} kW enerjiyi güneş ışınları yoluyla gönderir. Güneşten gelen enerjinin %1,5 - 2'si rüzgâr enerjisine dönüşür [13].

Güneşin yeryüzünü eşit olarak ısıtmaması sonucu sıcaklık farkları oluşur. Isınan hava kütlesi atmosferin yukarısına doğru yükselir. Yükselen hava kütlelerinin yerine aynı hacimde soğuk hava yerleşir. Hava kütlelerinin yer değiştirmesine rüzgar denir. Kaynağını güneşten alan rüzgar enerjisi doğal, yenilenebilir, temiz ve sonsuz bir enerji kaynağıdır.

Rüzgar enerjisi topografik yapı ve hava şartlarından etkilenmektedir. Rüzgar yoğunluğu mevsimlere, günün saatlerine göre değişimler göstermektedir. Topografyanın rüzgar enerjisini etkilemesi dezavantaj olması yanı sıra avantaj da olabilmektedir. Rüzgar yoğunluğuna göre birden fazla rüzgar enerjisi dönüşüm sistemi kullanılması mümkündür [14].

Rüzgar enerjisinden mekanik enerji ve elektrik enerjisi olmak üzere iki temel yararlanma şekli vardır. Mekanik uygulamalarda, rüzgar enerjisi mekanik enerjiye çevrilerek ev ve çiftliklerde hayvanların su ihtiyacının sağlanması, arazilerin kurutulması gibi amaçlarla ve ayrıca su pompalamada, çeşitli ürünleri kesme, biçme, öğütme ve sıkıştırmada, yağ çıkartma gibi işlerde de kullanılmaktadır. Rüzgar enerjisi, ya elektrik şebekesinin olmadığı kırsal alanlarda bulunulan yerin elektrik ihtiyacını karşılar ya da doğrudan elektrik şebekesini beslemek için kullanılır. Şebekenin olmadığı yerlerdeki rüzgar enerji sistemlerinde rüzgarın esmediği durumlarda kullanılmak üzere uygun bir

depolama sistemi vardır. Şebeke bağlantılı sistemler ise karalara (on - shore) veya kıyı ötesinde deniz içi (off - shore) kurulmaktadır [2].

Rüzgarın oluşumuna farklı sıcaklık dağılımından meydana geldiği için coğrafi koşullar sıcaklık dağılımını etkiler. Bu yüzden de okyanus veya denize kıyısı olan yerlerdeki sıcaklık farkının yüksek olması rüzgar potansiyelini de arttırır.

Rüzgar enerjisi büyük potansiyeline karşın dağınık karakteristikli bir enerji kaynağıdır. Rüzgar santralleri geniş bir arazi üzerinde belli aralıklarla yerleştirilmiş bir çok türbinden meydana gelir. Bu sebeple rüzgar santralleri iki yönlü arazi kullanımına uygundur. Hesaplamalar arazinin ancak %1'inin rüzgar türbinleri tarafından kullanıldığını göstermektedir. Arazinin %99'unun ise tarımsal amaçlar için veya diğer alanlar olarak kullanımına devam edilebilir [2].

4.1 Rüzgâr Enerjisi Tarihçesi

Rüzgar enerjisinden çok eski çağlardan beri yararlanılmakta olup, bu enerjiden M.Ö. 5000'li yıllarda Nil Nehri'nde kayıklarda yararlanıldığı bilinmektedir [15]. M.Ö. 200'de Çin'de de basit yel değirmenleri su pompalanmasında kullanılırken, İran ve Orta Doğu'da kanatları kamıştan örülmüş olan düşey eksenli yel değirmenleri, tahılları öğütmede kullanılmıştır. Rüzgar enerjisi, 11. yüzyıldan itibaren, tâcirler tarafından ve ayrıca Haçlı seferleri vesilesiyle Avrupa'ya götürülmüştür. Hollandalılar, yel değirmenlerini geliştirerek göllerin ve Ren Nehri bataklıklarının kurutulmasında kullanılmıştır. 19. yüzyıl sonlarında ise göçmenler bu teknolojiyi Amerika'ya götürerek tarlaların ve çiftliklerin sulanması için su pompalamada ve daha sonra da evler ve endüstri için elektrik üretiminde kullanılmışlardır [16].

Önce Avrupa daha sonra Amerika'da buharlı makinelerin keşfi ile başlayan sanayileşme yel değirmenlerinin ve yelkenli gemilerin kullanımının aşamalı olarak azalmasına sebep olmuştur. Dizel yakıtların ucuzluğu sebebiyle rüzgar enerjisini değerlendirme çabaları bir kenara bırakılmıştır. Bu durum 2. Dünya Savaşı'na kadar sürmüş, bu yıllardaki enerji sıkıntısı sebebiyle rüzgar türbinlerine duyulan ilgi tekrar artmış ve 1940'lı yıllarda 1,25 MW'lık bir rüzgar türbini Danimarka yerel elektrik şebekesine enerji sağlamıştır. Rüzgar enerjisinin önemi fosil yakıtlarına göre sürekli değişmiş ve 2. Dünya Savaşı'ndan sonra fosil yakıt fiyatlarının düşmesi ile yeniden azalmıştır [2].

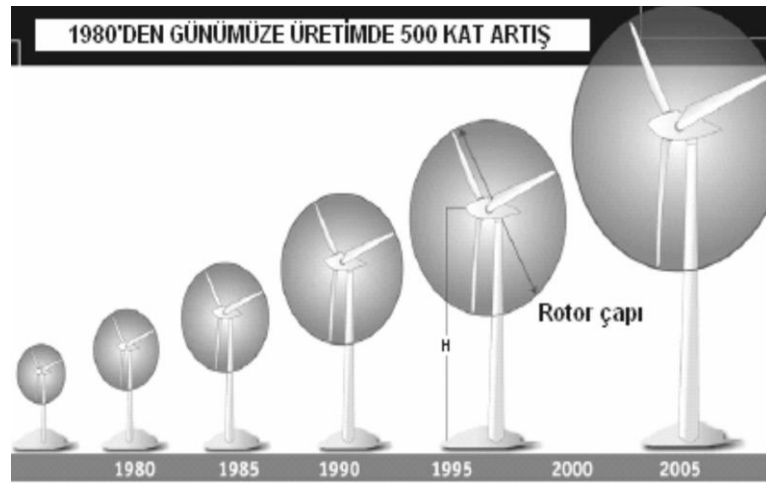
1970'li yıllardaki petrol krizi ve yakıt fiyatlarındaki artış sonucu, rüzgar enerjisi tekrar hatırlanmış ve bu yıllardaki petrol ambargosu sebebiyle yürütülen rüzgar türbini araştırma – geliştirme çalışmaları ile eski çalışmalardan yararlanılarak rüzgardan enerji üretimi konusunda yeni tasarımlar geliştirilmiştir. “Rüzgar tarlaları” veya “rüzgar enerji santralleri” adı altında gruplar halinde rüzgar türbinlerini içeren ve şebekeye enerji sağlayan projeler Avrupa’da ve Amerika Birleşik Devletleri’nde uygulanmıştır. 1980’li yıllarda çevre bilincinin artması sebebiyle yeniden gündeme gelmiş ve sağlanan teknolojik gelişmeler sonucunda rüzgar enerjisinden elektrik üretim maliyetleri konvansiyonel enerji santralleriyle rekabet edebilecek seviyelere gelmiş ve ticârî olarak kullanım, başta Avrupa Birliği ülkeleri ve ABD olmak üzere bütün dünya ülkelerinde yaygınlaşmıştır [2].

4.2 Rüzgâr Türbinleri ve Çeşitleri

Rüzgar türbinleri, hareket halindeki havanın kinetik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren makinelerdir. Bir rüzgar türbini, çevredeki engellerin rüzgar hız profilini değiştiremeyeceği yükseklikteki bir kule üzerine yerleştirilmiş gövde (nacelle) ve rotordan meydana gelir. Kanatlar ve göbek, rotor olarak adlandırılır. Jeneratör, dişli kutusu ve diğer kontrol cihazları gövde içinde yer alır. Rüzgar türbinleri dönüş eksenlerinin doğrultusuna göre yatay veya düşey eksenli olarak imal edilir. Sürekli dönen kanatlarla yakalanan enerji dişli kutusu üzerinden veya doğrudan jeneratöre bağlanır. Rotorun dönüş hızı sabit veya değişken olabilmektedir. Şebekeye uyumu arttıran değişken hızlı türbinlerin kullanımı daha yaygın hale gelmektedir. Mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren jeneratörler senkron ve asenkron olmak üzere iki türdür. Senkron jeneratör, bağlı olduğu şebeke ile aynı frekansta çalışır. İndüksiyon jeneratör olarak da isimlendirilen asenkron jeneratörler ise şebeke frekansından biraz daha yüksek frekansta çalışırlar. Şebekeye bağlı rüzgar türbinlerinin çıkış gerilimi genellikle 690 Volt ve frekansı ise 50 Hertz’dir. Kanatlar polyster veya epoksi ile güçlendirilmiş fiberglastan, nadir olarak da ağaç ve karbon bileşiminden yapılır. Gövde ve rotoru taşıyan 30 – 80 metre yükseklikteki kuleler çelikten ve tabandan uç kısma doğru incelecek şekildedir [2].

Türbin hızı ve gücü, ya kanat açısı kontrolü (pitch control) ile kanatların açısı aktif olarak veya pasif kontrol olarak tanımlanan (stall control) kontrol sistemi ile kanadın doğal aerodinamik özelliği kontrol edilir [16].

Ticari rüzgar türbinlerinin gücü 1980'li yıllardan beri sürekli artmakta ve maliyetler düşmektedir. 1980'lerden beri rüzgar türbinlerinin gücü, verimi ve görsel tasarımı oldukça değişmiştir. 1980'lerde güç 20 – 60 kW arasında ve türbin çapı yaklaşık 15 – 20 metre iken günümüzde tek bir rüzgar türbininin gücü 5 MW'dan ve türbin çapı ise 100 metreden büyüktür. Modern türbinler modülerdir ve hızlı bir şekilde kurulabilmektedir (Şekil 4.1),(Çizelge 4.1).



Şekil 4. 1 Rüzgâr türbinlerinin gelişimi

Ekonomik ve çevresel nedenlerle rüzgar türbinleri genellikle gruplar halinde inşa edilmektedir. Bunlara rüzgar çiftlikleri denilmektedir. Büyük bir rüzgar çiftliği çok sayıda rüzgar türbinlerinden (yaklaşık 100 adet) oluşabilir. Bir rüzgar türbini off - shore (deniz üstü) olarak adlandırılan okyanus yüzeylerine de montajlanabilirler. Okyanuslarda kurulan rüzgar türbinlerinin güçlü esen rüzgar avantajı bulunmaktadır. Ancak açık denizlerdeki kesintisiz ve yüksek rüzgar hızları, deniz kaynaklı olarak çıkan korozyon sorunları ve yüksek derinlikler nedeniyle off-shore sistemlerde kullanılacak türbin komponentlerinin karakteristikleri karadaki sistemlerden farklıdır. Bu nedenle rüzgar ölçümleri büyük önem kazanmıştır. Ayrıca bu türbinlerin montaj, bakım ve işletme masrafları karadaki türbinlere göre daha pahalı ve zor olmaktadır [17].

Çizelge 4. 1 Rüzgâr türbinlerinin yıllara göre değişimi

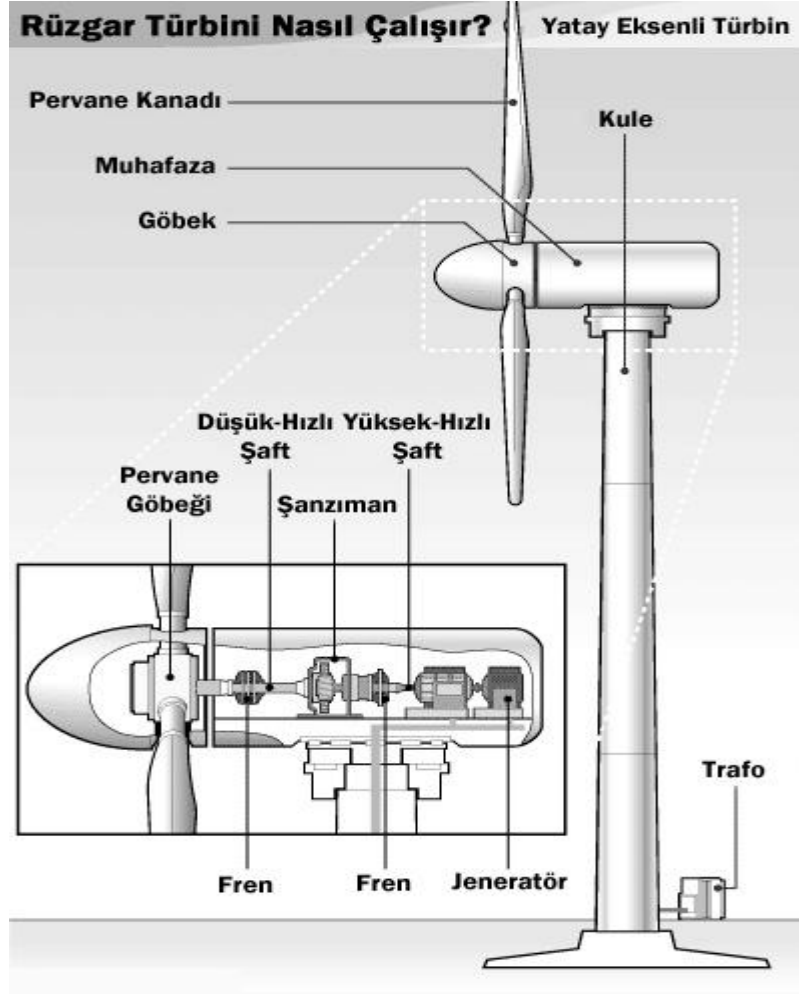
Yıllar	1980	1985	1990	1995	2000	2005
Güç (kW)	30	50	250	600	1500	5000
Rotor Çapı (metre)	15	20	30	40	70	125
Yükseklik (h) (metre)	30	40	50	78	100	120
Yıllık Enerji Üretimi (kWh)	35000	95000	400000	1250000	3500000	17000000

4.2.1 Yatay Eksenli Türbinler

Rotoru yere göre yatay eksenle çalışan türbinler yatay eksenli türbinler olarak isimlendirilir. Yatay eksenli türbinlerinin rüzgardan maksimum yararlanabilmeleri için rotorlarının sürekli olarak rüzgar akış yönünde olmalıdır. Bu, modern türbinlerde yaw sistemi denen rüzgara yönelim kontrolüyle rotorun kule üzerinde dönmesi ile sağlanır. Bazı basit türbinlerde ise rüzgara yönelim için rotorun arkasına bir kılavuz kanat takılır. Yatay eksenli türbinler teknolojik ve ticari olarak en yaygın kullanılan türbinlerdir ve 1, 2, 3 veya çok kanatlı olabilirler ve günümüzde de kullanılan modern türbinler 3 kanatlı Danimarka konsepti olarak bilinen türbinlerdir [13].

Yatay eksenli türbinlerin çoğu, rüzgârı önden alacak şekilde tasarlanır. Rüzgârı arkadan alan türbinlerin yaygın bir kullanım yeri yoktur. Rüzgârı önden alan türbinlerin iyi tarafı, kulenin oluşturduğu rüzgâr gölgelenmesinden etkilenmemesidir. Kötü tarafı ise, türbinin sürekli rüzgâra bakması için dümen sisteminin yapılmasıdır [13].

Bu şekildeki türbinlerden enerji üretiminde verim alınabilmesi için rüzgarın geliş yönü, dolayısıyla kule ve kanatlardaki esneme önem kazanmaktadır. Bu türbinlerin betz verimi yaklaşık %45-55'dir. Kapasite faktörü (emre amadelik) ise %30-35 arasındadır [17].



Şekil 4. 2 Yatay eksenli rüzgâr türbini [37]

4.2.2 Düşey Eksenli Rüzgâr Türbini

Dönme eksenleri rüzgar yönüne dik ve düşey olan bu türbinlerin kanatları da düşeydir. Bunların başlıcaları Darrieus ve Savonius tipi rüzgar türbinleridir. Daha çok deney amaçlı üretilmiştir. Ticari kullanımı çok azdır. Bu türbinlerin rüzgarı her yönden kabul edebilme üstünlüğü vardır. Bu rüzgar türbini tipi düşük bir verime (yaklaşık %35) sahiptir ve emniyeti göreceli olarak daha azdır. Daha çok deney amaçlı üretilmiştir. Başarılı bir ticari uygulamasına rastlanmamıştır.

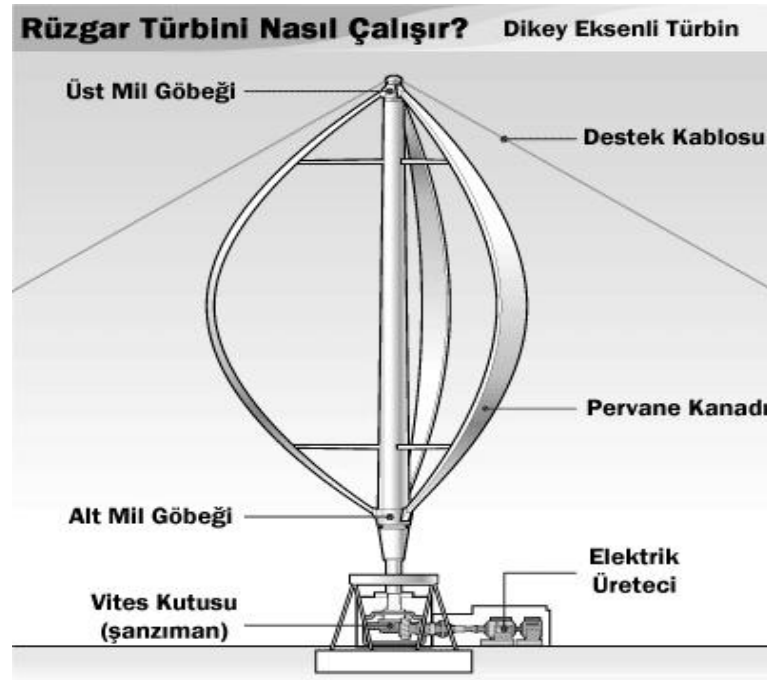
Kanatların güç üretebilmeleri için rüzgardan daha hızlı dönmeleri gerektiğinden, ilk harekete geçişleri güvenli değildir.

Bu türbinlerin üstünlükleri şöyle sıralanabilir [13]:

- Jeneratör ve dişli kutusu yere yerleştirildiği için, türbini kule üzerine yerleştirmek gerekmez, böylece kule masrafı olmaz.
- Türbini rüzgâr yönüne çevirmeye, dolayısıyla dümen sistemine ihtiyaç yoktur.
- Türbin mili hariç diğer parçaların bakım ve onarımı kolaydır.
- Elde edilen güç toprak seviyesinde çıktığından, nakledilmesi daha kolaydır.

Sakıncaları ise şöyledir [13]:

- Yere yakın oldukları için alt noktalardaki rüzgâr hızları düşüktür.
- Verimi düşüktür.
- Çalışmaya başlaması için bir motor tarafından ilk hareketin verilmesi gerekir, bu yüzden ilk hareket motoruna ihtiyacı vardır.
- Ayakta durabilmesi için tellerle yere sabitlenmesi gerekir, bu da pek pratik değildir.
- Türbin mili yataklarının değişmesi gerektiğinde, makinenin tamamının yere yatırılması gerekir.



Şekil 4. 3 Düşey eksenli rüzgâr türbini [37]

4.2.3 Eğik Eksenli Rüzgâr Türbinleri

Dönme eksenleri düşeyle, rüzgar yönünde açı yapan rüzgar türbinleridir. Bu türbinlerin kanatları ile dönme eksenleri arasında belirli bir açı bulunmaktadır. Yaygın bir kullanım alanı yoktur.

4.3 Rüzgâr Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları

4.3.1 Rüzgâr Enerjisinin Avantajları

- Temiz bir enerji kaynağıdır.
- Enerjide dışa bağımlılığı azaltır, tamamen ülkenin kendi doğal kaynağıdır.
- Çevreye, insan sağlığına olumsuz bir etkisi yoktur.
- Devreye alınıp, sökülebilmesi kısa sürelerde olur.
- Rüzgar bedava bir enerjidir, yani yakıt maliyeti yoktur.
- Yerli sanayi teşvik edilebilir.
- Tükenmeyen bir enerji kaynağı olduğundan, fosil yakıt tüketimini azaltır.
- Kurulum süresi diğer santrallere göre oldukça kısadır. Bu santraller dört ya da beş ayda kurulurken, bir doğalgaz santrali ortalama bir buçuk yıl, nükleer santral ortalama yedi yıl gibi sürelerde kurulmaktadır.
- Güvenilirliği sürekli artmaktadır. Meydana gelebilecek kazalar sadece kurulma ve bakım işleriyle ilgilidir.
- Rüzgar santrali kurulan arazide küçük bir alanı kapladığından, arazinin geri alanında ağaçlandırma ya da tarımsal faaliyet yapılmasını engellemez.
- Türbinlerin projeleri basit olup, bakımları da kolaydır.
- Ömrünü tamamlayan türbinlerin sökülmesi kolaydır.
- Atmosfere sera gazı salınımı, nehirlere ve denizlere de ısı emisyonu salınımı yapmaz.

4.3.2 Rüzgâr Enerjisinin Dezavantajları

- Rüzgâr enerjisinin hızı değişken ve süreksizdir.
- Ülkemizdeki rüzgarlı bölgelerin yerleri dağınıktır.
- Güçlü tesislerin büyüklükleri de fazladır.
- Rüzgârın oluştuğu belli bir zaman aralığı yoktur, düzenli değildir.
- Santraller gürültüye sebep olur, ancak büyük, modern rüzgâr türbinleri çok sessiz hale getirilmişlerdir.
- Görsel açıdan estetik olarak kirlilik yaratabilir.
- Rüzgâr türbinleri kuş ölümlerine sebep verebilir.
- Birkaç kilometrelik alan içerisinde radyo ve alıcılarda parazite sebebiyet verir.

4.4 Rüzgâr Enerjisine Yönelik Ar – Ge Faaliyetleri

Rüzgâr enerjisine yönelik Ar-Ge faaliyetleri sonucunda, Almanya, İspanya, A.B.D., Danimarka ve Hindistan başta olmak üzere bir çok ülkede kurulu rüzgâr gücü hızla artmış, buna bağlı olarak rüzgâr enerjisi klasik termik ve hidrolik santraller ile rekabet edebilir düzeye gelmiştir. Buna karşın, rüzgâr enerjisi potansiyelinden daha fazla yararlanabilmek ve rüzgâr enerjisinin elektrik sistemlerine entegrasyonunu güvenilir şekilde sağlayabilmek için rüzgâr rejimindeki belirsizliklerin yönetilmesi, her alanda maliyetlerin daha da düşürülmesi, rüzgâr teknolojisi kullanımının yaygınlaştırılması ve çevresel etkilerin en düşük seviyeye getirilmesi gerekmektedir. Bu amaçlar doğrultusunda özel sektörün ticari maksatlı ürün ve parça geliştirmeye yönelik Ar-Ge faaliyetlerinin yanı sıra, kamunun özellikle temel ve jenerik araştırmaları kısmen veya tamamen desteklemesi gerekmektedir. İnceleme döneminde, A.B.D., Almanya, Hollanda, İngiltere, İtalya, Danimarka ve İsveç, rüzgâr enerjisine yönelik Ar-Ge faaliyetlerine toplam bütçeden önemli kaynak ayırmışlardır. 2000 yılından itibaren ise bu ülkelerden İtalya ve İsveç'in ilgisinin azaldığı, buna karşın Güney Kore, Japonya ve İspanya'nın ilgisinin yoğunlaştığı saptanmaktadır. Bununla birlikte, yenilenebilir enerji öncelikleri kapsamında, İngiltere yenilenebilir enerji Ar-Ge bütçesinin yüzde 58'ini, Danimarka ise yüzde 36'sını rüzgâr enerjisine ayırmıştır. Geçtiğimiz dönemde rüzgâr enerjisiyle ilgili Ar-Ge faaliyetleri genellikle türbin tasarımlarına yoğunlaşmıştır.

Bununla birlikte gelecekte, rüzgâr enerjisine yönelik Ar-Ge öncelikleri kapsamında, güç performans tahminlerinin iyileştirilmesi, mühendislik uygulamalarının geliştirilmesi ve standardizasyonda belirsizliklerin azaltılması, depolama teknolojilerinde maliyetlerin düşürülmesi ve daha büyük, dolayısıyla daha verimli olan santrallerin kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik Ar-Ge faaliyetlerine ilginin artırılmasını beklenmektedir [18].

Son otuz yıllık dönemde rüzgâr enerjisi pazarı çok güçlü bir büyüme gösterip, 2008 yılında 51,4 milyar dolarlık bir düzeye ulaşmıştır. Destek politikalarının etkisinin de olduğu bu büyüme sayesinde teknolojik gelişme de tetiklenmiştir. Teknolojik gelişim rüzgârdan elektrik elde etme maliyetinde çok büyük iyileştirmeler sağlayarak rüzgâr teknolojisini günümüzde rekabetçi konuma taşımıştır.

Türbin gücü 1980'lerdeki 30 kW değerinden 2009 yılında 7,5 MW değerine ulaşmıştır. Güç şebekesine bağlanan rüzgâr türbinlerinin gücü 1-3 MW arasında değişmektedir. 5 - 6 MW gücündeki daha büyük türbinlerin üretimi henüz küçük boyuttadır ve bu türbinler asıl olarak off-shore pazarına yöneliktir. Ancak yeni stratejiler uygulayan Almanya gibi ülkelerde verimi artırmak için düşük güçteki türbinlerin daha yüksek güçteki türbinlerle değişimi yapılmaktadır [17].

Günümüzün standart rüzgâr türbinleri, rüzgârı elektriğe dönüştürme oranında maksimum verimlilik oranı olan %50'yi yakalamıştır.

Avrupa Komisyonu tarafından 13 adet en büyük rüzgâr enerjisi türbin üreticileri esas alınarak, özel sektör Ar-Ge harcamaları ile ilgili olarak yapılan araştırma sonuçlarına göre, AB ülkelerinin 2007 yılı toplam özel sektör harcaması 292 Milyon Euro olarak hesaplanmıştır. Pazarın %60'ı AB üyesi firmalardan oluşturduğundan, dünya genelinde toplam özel sektör Ar-Ge harcamasının 725 milyon ABD Doları civarında olduğu tahmin edilmektedir.

Rüzgâr enerjisi teknolojisi ile ilgili Ar-Ge önceliklerinin maliyetleri düşürme ve işletimi rekabetçi kılmaya yönelik olarak malzeme, yarı – iletken güç sistemleri ve enformasyon teknolojisi alanlarında olması beklenmektedir. Öncelikler [17] şu şekilde belirlenmiştir:

Rüzgâr kaynağı ve durumu ile ilgili iyileştirilmiş izleme ve tahmin sistemleri geliştirilmesi (2015 yılı hedefleniyor; bu tür tahminler yatırım fizibilitesi yapabilmek ve değişken rüzgâr gücünün sisteme entegrasyonu için olmazsa olmaz sistemlerdir);

Rüzgâr tarlalarının işletimini verimli kılmak ve maliyetlerini azaltmak amacıyla uzaktan kontrollü işletim ve bakım sistemleri geliştirilmesi;

Rotor ve aktarma organlarında ağırlık azaltımı; daha büyük ve daha güçlü (8-10 MW) rotor kullanımını sağlayacak ve kulede çeliğe bağımlılığı azaltacak hafif ve daha dayanıklı malzeme geliştirme çalışmaları;

Rotor kanatlarının aerodinamiğindeki geliştirmeler ile üretim maliyetinde artış yaratmadan, değişken hızlı türbinlerin veriminde artış sağlama ve gürültü kirliliğini azaltma çalışmaları;

200 metre su derinliğinde en az işletim ve bakım maliyeti ile çalışacak off-shore uygulamaları ve soğuk ve zorlu hava koşulları için yeni nesil türbin tasarımları (yeni nesil tasarımlarının önemli bir özelliği bozulma olasılığı olan parça sayısını azaltmayı hedeflemesidir);

Rüzgâr türbinlerini bina yoğun alanlara kurma yönünde eğilimlere cevap verecek şekilde, rüzgâr haritalarının ölçeğinin küçültülmesi, akışkanlar mekaniği sistemi kullanılarak binalar arası rüzgâr akış ve türbülansını anlamak üzere modeller geliştirilmesi, türbülans altında çalışacak rüzgâr türbini geliştirilmesi ve yapısal alanda rüzgâr türbinleri ile entegre olacak yeni bina tasarımları yapılması;

Jeneratörlerde verimliliği artırmak için süper-iletken teknolojisi konusunda geliştirmeler yapılması;

Güç sistemleri, depolama ve talep – esaslı (demand-based) iletim teknolojilerinde geliştirmeler yapılması.

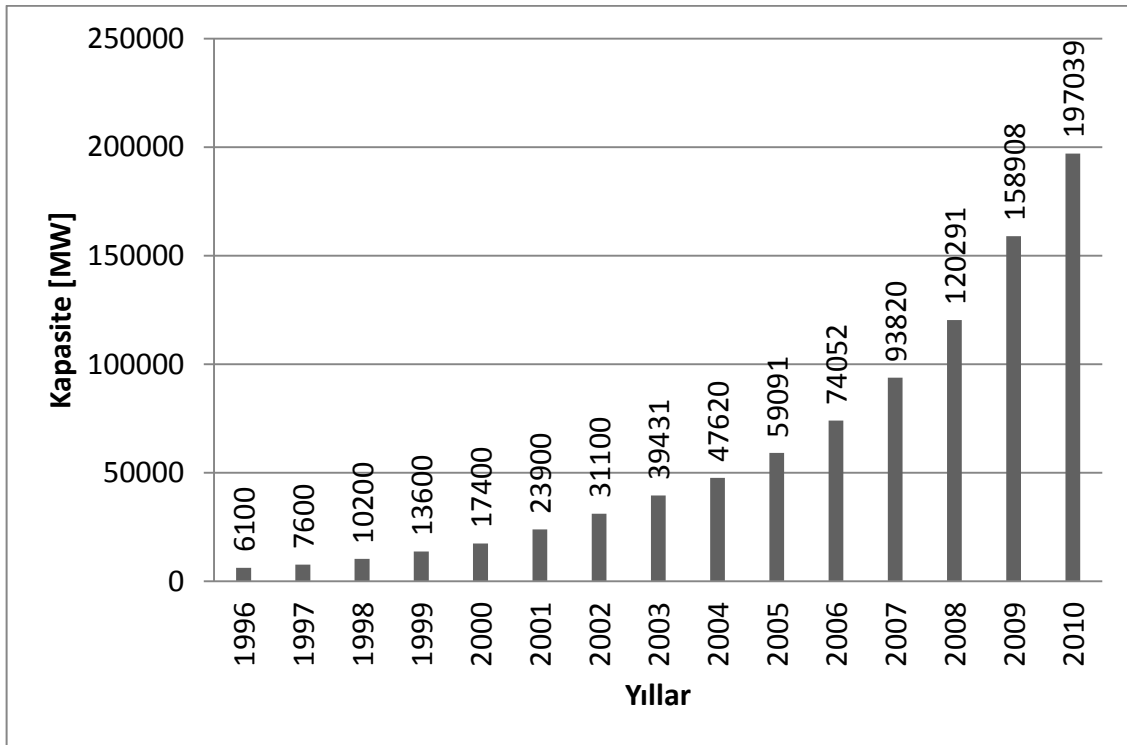
4.5 Dünya’da Rüzgâr Enerjisi

Son otuz yıllık dönemde rüzgar enerjisi pazarı çok güçlü bir büyüme göstermiştir. Destek politikalarının etkisinin de olduğu bu büyüme teknolojik gelişmeyi de tetiklemiştir. Teknolojik gelişim rüzgârdan elektrik elde etme maliyetinde çok büyük

iyileştirmeler sağlayarak rüzgâr teknolojisini günümüzde rekabetçi konuma taşımıştır [17].

Gelişmiş ülkelerin, var olan rüzgâr potansiyelinden yararlanmaya yönelik araştırmalar yaptıkları ve önemli teknolojik gelişmeler kaydettikleri bilinmektedir. Bu çalışmalar sonucunda rüzgâr potansiyelinin bir kısmını ekonomik olarak kullanılabilir hale getirmiş ülkeler bulunmaktadır. Dünyada önde gelen sürekli gelişim göstermiş ve rüzgâr enerjisi sektöründe önemli bir yer kazanmış türbin imalatçısı firmalar genellikle Avrupa'dadır [14].

Rüzgâr enerjisi santralleri kurulumunda dünyada özellikle 2000'li yıllardan sonra çalışmalar ve talep gittikçe artmış bununla birlikte de bir çok santral kurulmuştur. Şekil 3.4'te dünya genelinde kurulu rüzgâr gücünün yıllara göre değişimi görülmektedir. 1996 yılında 6100 MW ile başlayan toplam kurulu güç, 2006 yılında 74.052 MW'a, 2010 yılı sonunda ise çok yüksek bir artış göstererek 197.039 MW'a kadar çıkmıştır. Verilen teşvikler ve desteklerle bu sayının daha da artacağı tahmin edilmektedir.



Şekil 4. 4 Küresel toplam kurulu rüzgâr gücü kapasitesi 1996 – 2010 [19]

Dünyada işletmede olan rüzgâr santrallerinin kurulu gücü 197.039 MW'tır ve bu kapasitenin % 43,79'u yani 86.279 MW'ı Avrupa'ya aittir. 2010 sonu itibariyle bazı

ülkelerin kurulu gücüne bakarsak Almanya'nın 27.214 MW, İspanya'nın 20.676 MW, A.B.D.'nin 40.180 MW, Avusturalya'nın 1880 MW, Hindistan'ın 13.065 MW, Çin'in 44.733 MW'tır. Son yıllarda özellikle A.B.D, Çin, Japonya, Hindistan ve Kanada'nın rüzgâr gücü kapasiteleri önemli oranda artmıştır.

Çizelge 4.2'de dünya üzerindeki kurulu tüm rüzgâr santrallerinin gücünü, 2009 sonu, 2010 başı ve 2010 sonu olarak bölgeler ve ülkeler bazında görebiliriz.

Çizelge 4. 2 Dünya rüzgâr santralleri kurulu gücü [19]

		2009 Sonu (MW)	2010 Başı (MW)	2010 Sonu (MW)
ORTADOĞU & AFRİKA	Mısır	430	120	550
	Fas	253	33	286
	Tunus	54	60	114
	İran	92	0	92
	Diğer	37	0	37
	Toplam	866	213	1079
ASYA	Çin	25805	18928	44733
	Hindistan	10926	2139	13065
	Japonya	2085	221	2304
	Tayvan	436	83	519
	Güney Kore	348	31	379
	Filipinler	33	0	33
	Diğer	6	48	54
	Toplam	39639	21450	61087
AVRUPA	Almanya	25777	1493	27214
	İspanya	19160	1516	20676
	İtalya	4849	948	5797
	Fransa	4574	1086	5660
	İngiltere	4245	962	5204
	Danimarka	3465	327	3752
	Portekiz	3535	363	3898
	Hollanda	2215	32	2237
	İsveç	1560	604	2163
	İrlanda	1310	118	1428
	Türkiye	801	528	1329
	Yunanistan	1087	123	1208
	Polonya	725	382	1107
	Avusturya	995	16	1011
	Belçika	563	350	911
	Avrupanın Geri Kalanı	1610	1070	2684
	Toplam	76471	9918	86279

LATİN AMERİKA & KARAYİPLER	Brezilya	606	326	931
	Meksika	202	316	519
	Şili	168	4	172
	Kosta Rika	123	0	123
	Karayıpler	91	8	99
	Arjantin	34	27	60
	Diğer	83	23	106
	Toplam	1306	703	2008
KUZEY AMERİKA	Amerika	35086	5115	40180
	Kanada	3319	690	4009
	Toplam	38405	5805	44189
PASİFİK BÖLGESİ	Avusturalya	1712	167	1880
	Yeni Zelanda	497	9	506
	Pasifik Adaları	12	0	12
	Toplam	2221	176	2397
Dünya Toplam		158908	38265	197039

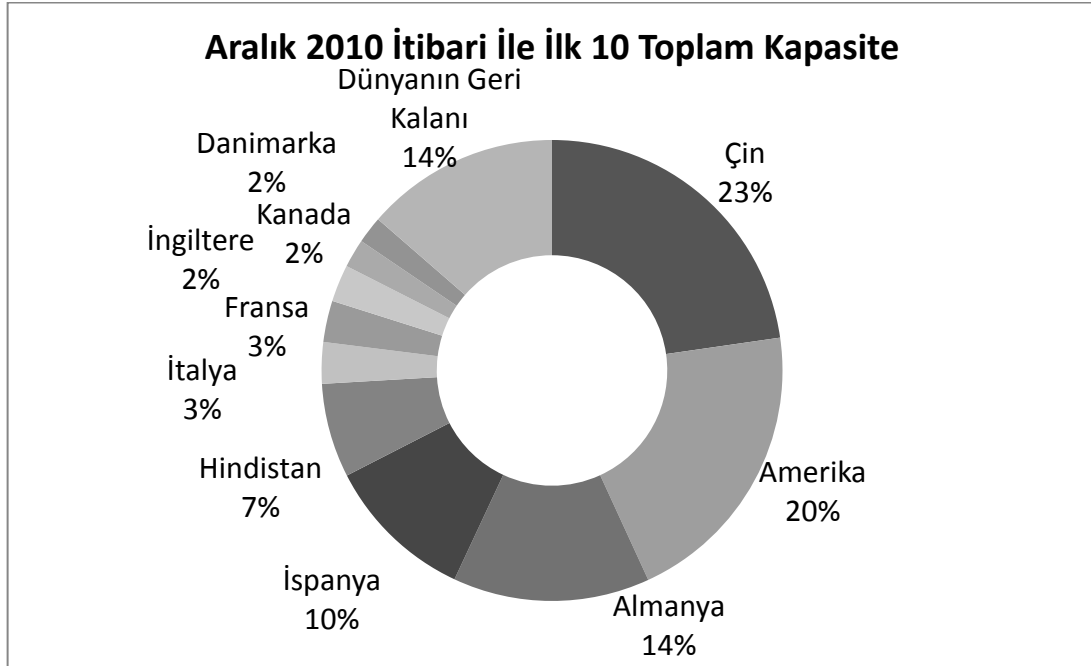
Geçtiğimiz yıllar içerisinde Avrupa’da rüzgâr enerjisi kullanımı artarak devam etmiştir. Almanya liderliğini korumaktadır ve İspanya hemen onu takip etmektedir. İtalya ve Fransa’da kullanımı ise gittikçe artmaktadır. AB’ye yeni üye olan ülkeler RES kullanımında henüz istenilen seviyede değildir. Orta ve Batı Avrupa Ülkeleri, Doğu Avrupa Ülkelerine doğru yönelmektedir. Avrupa’daki 4 ana ülke ise, Almanya ve İspanya başta olmak üzere Fransa ve İtalya’dır. Ayrıca denizüstü (offshore) RES kurulu gücü de 2.061 MW olup Avrupa’daki toplam kurulu güç olan 76.152 MW içerisinde %2,7 orana sahip olmakla beraber, denizüstü RES projelerinin önümüzdeki yıllarda artacağı tahmin edilmektedir [4].

2010 yılı Aralık ayı itibariyle de dünyadaki kurulu gücü en fazla olan ülkelere de bakacak olursak (Çizelge 4.3) ilk sırada 44.733 MW ile Çin olurken, onu 40.180 MW kurulu güçle Amerika izlemekte. Danimarka ise 3572 MW kapasite ile ilk onda sonuncu olarak yer almakta.

Çizelge 4. 3 Dünya ilk 10 kurulu rüzgâr gücü kapasitesi [19]

Ülke	Kurulu Güç (MW)
Çin	44733
Amerika	40180
Almanya	27214
İspanya	20676
Hindistan	13065
İtalya	5797
Fransa	5660
İngiltere	5204
Kanada	4009
Danimarka	3752
Dünyanın Geri Kalanı	26749
İlk 10 Toplamı	170290
Dünya Toplamı	197039

Aralık 2010 itibariyle toplam ilk on kapasitedeki ülkelerin paylarını grafik olarak da Şekil 4.5'te görebiliriz.



Şekil 4. 5 Aralık 2010 itibari ile ilk on toplam ilk on kapasite

AB ülkelerinde 2000 yılında %2 olan rüzgâr enerji kullanım oranı, 2009 yılı sonu itibariyle %9'a yükselmiştir. 2010 yılı itibariyle Avrupa bölgesinde bulunan kurulu rüzgâr gücü 86.279 MW seviyesine ulaşmıştır. 2009 yılında onshore rüzgâr enerjisi pazara önceki yıla göre %21 büyürken, offshore rüzgâr enerjisi pazarı %56 büyümeye ve AB ülkelerinde toplam rüzgâr enerjisi pazarı 2009 yılında %23'lük büyümeye göstermiştir.

Şekil 4.6'da 2010 yıl sonu itibariyle Avrupa ülkelerindeki rüzgâr enerjisi kurulu güç dağılımı görülmektedir [20].

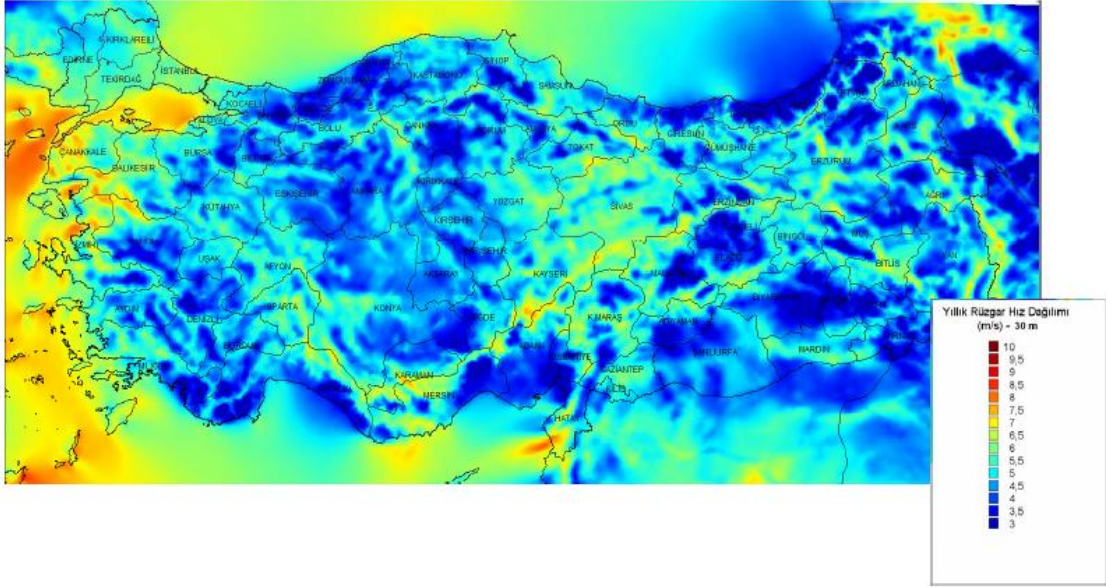


Şekil 4. 6 Avrupa rüzgâr enerjisi kurulu güç dağılımı 2010 [20]

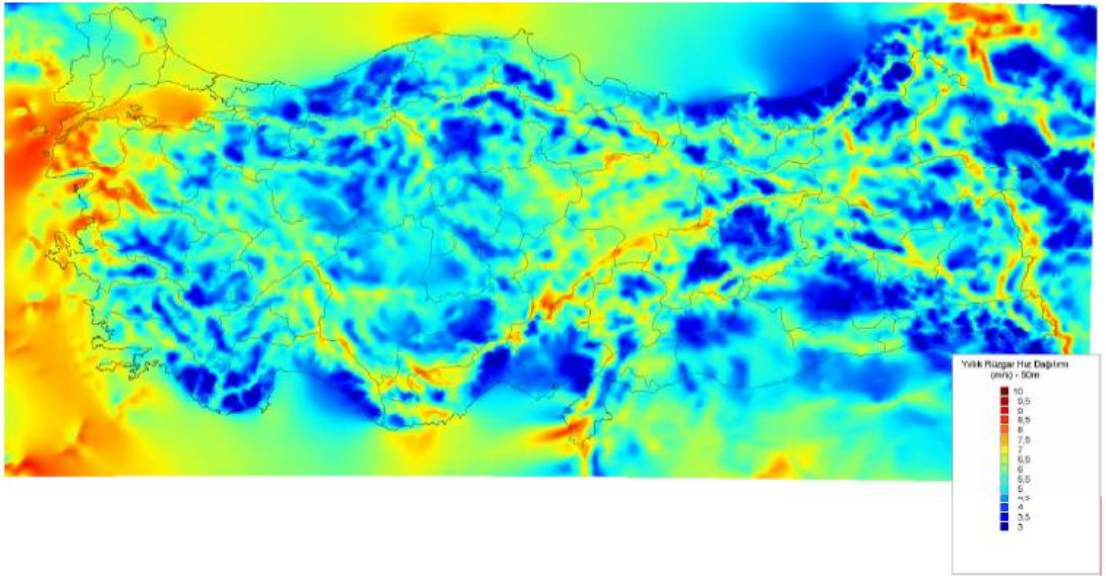
4.6 Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası’na (REPA) göre Türkiye’deki teorik rüzgâr enerjisi potansiyeli 48.000 MW civarındadır. TÜREB verilerine göre işletmede olan rüzgâr enerjisi santralleri de 1.414 MW’tır. Mevcut elektrik şebeke alt yapısı dikkate alındığında ise elektrik şebekesine bağlanabilir rüzgâr enerjisi potansiyeli 10.000 MW düzeyinde hesaplanmıştır. Ayrıca elektrik şebekesinde yapılabilecek olası revizyon çalışmaları sonucu orta vadede elektrik şebekesine bağlanabilir rüzgâr enerjisi potansiyelinin 20.000 MW seviyesine yükselmesi olası gözükmemektedir ki 2020 yılına kadar Türkiye’de rüzgâr kurulu gücünde 20.000 MW seviyelerine ulaşılması öngörülmektedir.

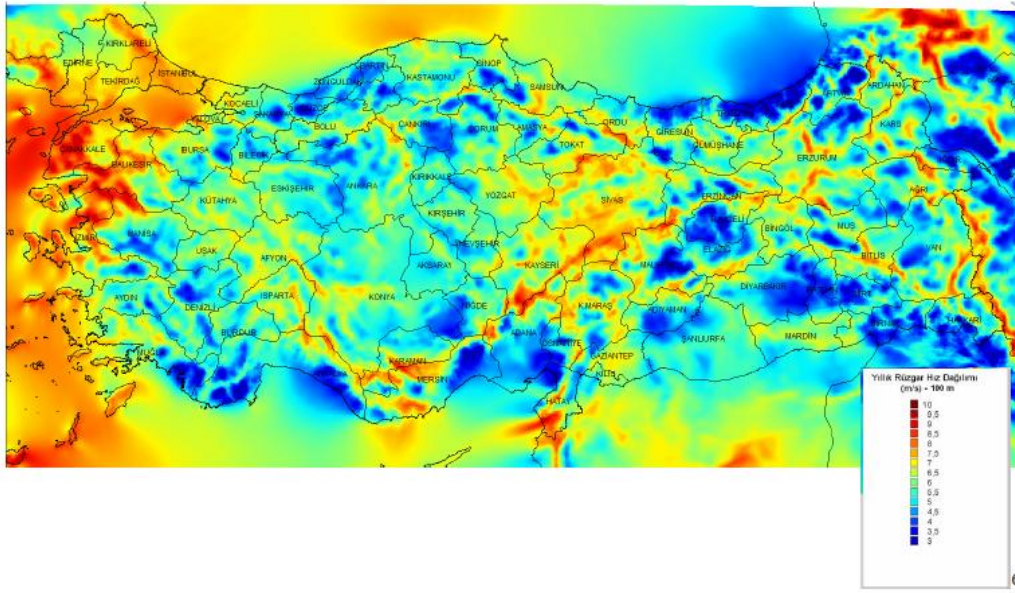
Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA), Türkiye rüzgâr kaynaklarının karakteristiklerini ve dağılımını belirlemek amacıyla EİE tarafından 2006 yılında üretilmiştir. Bu atlasla verilen detaylı rüzgâr kaynağı haritaları ve diğer bilgiler rüzgâr enerjisinden elektrik üretimine aday bölgelerin belirlenmesinde kullanılabilir bir altyapı sağlamaktadır.



Şekil 4. 7 Yıllık rüzgâr hız değişimi – 30 m yükseklikte yıllık ortalama



Şekil 4. 8 Yıllık rüzgâr hız değişimi – 50 m yükseklikte yıllık ortalama



Şekil 4. 9 Yıllık rüzgâr hız değişimi – 100 m yükseklikte yıllık ortalama

Yıllık ortalama değerler esas alındığında, Türkiye'nin en iyi rüzgâr kaynağı alanları kıyı şeritleri, yüksek bayırlar ve dağların tepesinde ya da açık alanların yakınında bulunmaktadır. Açık alan yakınlarındaki en şiddetli yıllık ortalama rüzgâr hızları Türkiye'nin batı kıyıları boyunca, Marmara Denizi çevresinde ve Antakya yakınında küçük bir bölgede meydana gelmektedir. Orta şiddetteki rüzgâr hızına sahip geniş bölgeler ve rüzgâr gücü yoğunluğu Türkiye'nin orta kesimleri boyunca mevcuttur. Mevsimlik ortalama değerlere göre ise Türkiye çapında rüzgâr kaynağı karmaşık topografyaya bağlıdır. Birçok yerde, özellikle sahil boyunca ve doğudaki dağlarda kışları daha güçlü rüzgâr hızları görülmektedir. Türkiye'nin orta kesimleri boyunca çoğu yerde rüzgâr hızı değerleri mevsimden mevsime nispeten sabittir. Aylık ortalama değerlere göre ise Türkiye'nin batı sahil bölgesi yanında Marmara Denizi'ni çevreleyen bölgede kış mevsimi süresince en şiddetli rüzgâr hızına sahiptir. Rüzgâr hızı haritaları asgari değerleri haziran ayı süresince gösterir. Rüzgâr hızları eylül ve ekimde artmaya başlar ve bölgedeki azami değerler ocak ve şubat aylarında meydana gelir. Antakya yakınındaki güçlü rüzgâr kaynağının da en kuvvetli zamanı kış aylarında, özellikle kasımdan şubata kadar olan zamandır. Bu bölgedeki rüzgâr hızları ilkbahar ve Sonbaharda azalma eğilimi gösterirken yaz aylarında biraz daha yüksek değerlere sahip olurlar. Türkiye'nin doğusundaki dağlık bölgelerdeki rüzgâr hızları şubat ayında zirveye ulaşırken kasım'dan Mart'a kadar nispeten yüksek değerler mevcuttur [21].

Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyeli, belirlenmiş kriterlerin ışığında rüzgâr sınıfı iyi ile sıradışı arasında 47.849,44 MW olarak belirlenmiştir. Bu araziler Türkiye toplamının %1,3'üne denk gelmektedir. Orta ile sıradışı arası rüzgâr sınıfına ait rüzgârlı arazilere baktığımızda ise 131.755 MW'lık rüzgâr enerjisi potansiyelinin bulunduğu ve toplam rüzgârlı arazinin alanının ise Türkiye'nin %3,57'lik kısmını oluşturduğunu görürüz [6]. Çizelge 4.4'te rüzgâr sınıflarına ait tabloda rüzgâr hızları, yoğunlukları ve toplam alanlar belirtilmiştir.

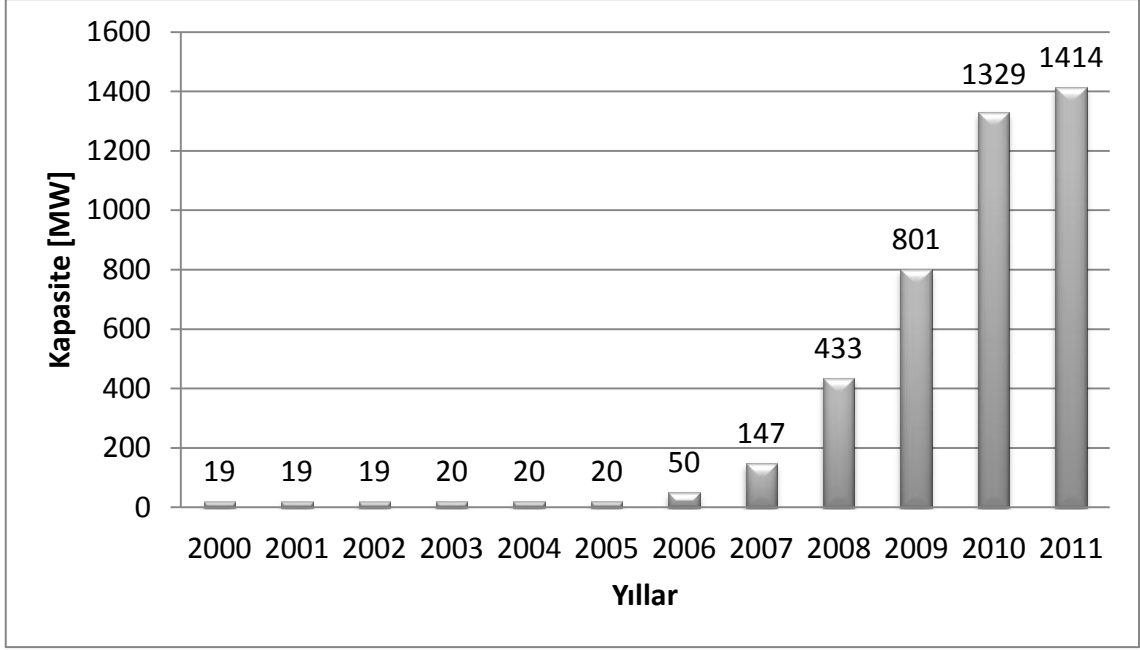
Çizelge 4. 4 Türkiye rüzgâr kaynakları

Rüzgâr Kaynak Derecesi	Rüzgâr Sınıfı	50 m'de Rüzgâr Gücü Yoğunluğu (W/m ²)	50 m'de Rüzgâr Hızı (m/s)	Toplam Alan (km ²)	Rüzgârlı Arazi Yüzdesi	Toplam Kurulu Güç (MW)
Orta	3	300 - 400	6,5 - 7,0	16781,39	2,27	83906
İyi	4	400 - 500	7,0 - 7,5	5851,87	0,79	29259,36
Harika	5	500 - 600	7,5 - 8,0	2598,86	0,35	12994,32
Mükemmel	6	600 - 800	8,0 - 9,0	1079,98	0,15	5399,92
Sıradışı	7	>800	>9,0	39,17	0,01	195,84
Toplam				26351,27	3,57	131755,44

Türkiye, Avrupa'da rüzgâr enerjisi potansiyeli bakımından en zengin ülkelerden birisidir. Üç tarafı denizlerle çevrili olan ve yaklaşık 3500 km kıyı şeridi olan Türkiye'de özellikle Marmara kıyı şeridi ve Ege kıyı şeridi ile sürekli ve düzenli rüzgâr almaktadır [6].

Türkiye'de rüzgâr enerjisinden elektrik elde etmek için çalışmalara 90'lı yılların başlarında başlanmış olsa da pratikte uygulanamayan bu çalışmalar 1996 yılından itibaren uygulanmaya başlanmıştır. Yatırımcılar konuyla ilgilenmeye başlamış ve ülkemizde ölçümler yapılmaya başlanmıştır.

Türkiye'de Şekil 4.10'da da göreceğimiz gibi özellikle 2007 yılından itibaren rüzgar santrali yapımında büyük bir artış görülmüştür. Kurulu güç kapasitesinin her yıl 500 - 1000 MW arası artarak 2015 itibariyle 5 GW'a ulaşması beklenmektedir. Ülkemizde 2023 yılına kadar elektriğimizin %30'unu yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlayarak 20 GW'a kadar rüzgar gücü kurmayı planlanmaktadır.



Şekil 4. 10 Türkiye’de yıllar itibariyle rüzgâr enerjisi kurulu gücünün gelişimi [19]

Türkiye’de ilk kurulan rüzgâr santrali 1998 yılında İzmir Çeşme Germiyan’da kurulan 1.700 KW’lık rüzgâr santralidir. Daha sonra Çeşme Alaçatı’da Yap-İşlet-Devret Modeli ile 7,2 MW’lık 12 adet türbinden oluşan ikinci bir rüzgar santrali işletmeye alınmıştır ve bu santraller ulusal şebekeye elektrik vermeye devam etmektedir. Bu iki santralden sonra ise Çanakkale Bozcaada’da 10,2 MW ve İstanbul’da da 1,2 MW kurulu gücünde rüzgar enerjisi santrali kurulmuştur.

Çizelge 4.5’te TÜREB’den alınan bilgilere [22] göre 11.03.2011 tarihi itibariyle Türkiye’de işletmede olan bütün rüzgâr santralleri gösterilmiştir.

Çizelge 4. 5 Türkiye’de işletmede olan rüzgâr santralleri

No.	Rüzgar Santrali Adı	Rüzgar Santrali İşletmecisi / Sahibi	Mevkii	Türbin Sayısı	Kurulu Güç (MW)
1	CESME RES	Alize Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	İzmir-Çeşme	3	1,5
2	ARES	Ares Alaçatı Rüzgar Enerjisi Sant. San. ve Tic. A.Ş.	İzmir-Çeşme	12	7,2
3	BORES	Bores Bozcaada Rüzgar Enj. Sant. San. ve Tic. A.Ş.	Çanakkale-Bozcaada	17	10,2
4	İNTEPE RES	Anemon Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	Çanakkale-İntepe	38	30,4

5	KARAKURT RES	Deniz Elektrik Üretim Ltd. Şti.	Manisa-Akhisar	6	10,8
6	BURGAZ RES	Doğal Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	Çanakkale-Gelibolu	13 (800 kW) +5 (900 kW)	14,9
7	SAYALAR RES	Doğal Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	Manisa-Sayalar	38	34,2
8	CATALCA RES	Ertürk Elektrik Üretim A.Ş.	İstanbul-Çatalca	20	60
9	YUNTDAG RES	İnnores Elektrik Üretim A.Ş.	İzmir-Aliaga	17	42,5
10	KEMERBURGAZ RES	Lodos Elektrik Üretim A.Ş.	İstanbul-Gaziosmanpaşa	12	24
11	MAZI-1	Mare Manastır Rüzgar Enerjisi Santrali San. ve Tic. A.Ş.	İzmir-Çeşme	49	39,2
12	SUNJUT RES	Sunjüt Sun'ı Jüt San. ve Tic. A.Ş.	İstanbul-Hadımköy	2	1,2
13	TEPERES	Teperes Elektrik Üretim A.Ş.	İstanbul-Silivri	1	0,85
14	BANDIRMA RES	Yapısan Elektrik Üretim A.Ş.	Balıkesir-Bandırma	20	30
15	SAMLI RES	Baki Elektrik Üretim Ltd. Şti.	Balıkesir-Şamlı	30	90
16	DATCA RES	Dares Datça Rüzgar Enerji Santrali Sanayi ve Ticaret A.Ş.	Muğla-Datça	36	29,6
17	SEBENOBA RES	Deniz Elektrik Üretim Ltd. Şti.	Hatay-Samandağ	15	30
18	AKBUK RES	Ayen Enerji A.Ş.	Aydın-Didim	15	31,5
19	CAMSEKI RES	Alize Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	Çanakkale-Ezine	10(2000kW)+ 1(800kW)	20,8
20	KELTEPE RES	Alize Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	Balıkesir-Susurluk	23	20,7
21	GOKCEDAG RES	Rotor Elektrik Üretim A.Ş.	Osmaniye-Bahçe	54	135
22	DÜZOVA RES	Ütopya Elektrik Üretim Sanayi ve Ticaret A.Ş.	İzmir-Bergama	12	30
23	MAZI-3	Mazi-3 Rüzgar Enerjisi Santrali Elektrik Üretim A.Ş.	İzmir-Çeşme	12	30
24	AYYILDIZ RES	Akenerji Elektrik Üretim A.Ş.	Balıkesir-Bandırma	5	15
25	BANDIRMA RES	Borasco Enerji ve Kimya Sanayi ve	Balıkesir-Bandırma	20	60

		Ticaret A.Ş.			
26	SOMA 1 RES	Soma Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	Manisa-Soma	98	88,2
27	BELEN RES	Belen Elektrik Üretim A.Ş.	Hatay-Belen	12	36
28	SARIKAYA RES	Alize Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	Tekirdağ-Şarköy	14(2000kW)+ 1(800kW)	28,8
29	KOCADAG-2	Kores Kocadağ Rüzgar Enerji Santrali Üretim A.Ş.	İzmir-Urla	6	15
30	BANDIRMA-3 RES	As Makinsan Temiz Enerji Elektrik Üretim San. ve Tic. A.Ş.	Balıkesir-Bandırma	10	24
31	MERSİN RES	Akdeniz Elektrik Üretim A.Ş.	Mersin-Mut	11	33
32	BOREAS-1 ENEZ RES	Boreas Enerji Üretim Sistemleri A.Ş.	Edirne-Enez	6	15
33	ALIAGA RES	Bergama RES Enerji Üretim A.Ş.	İzmir-Bergama, Aliğa	36	90
34	SENBÜK RES	Bakras Enerji Elektrik Üretim ve Tic. A.Ş.	Hatay-Belen	5	15
35	ZİYARET RES	Ziyaret RES Elektrik Üretim San. ve Tic. A.Ş.	Hatay-Samandağ	14	35
36	SOMA RES	Bilgin Rüzgar Santrali Enerji Üretim A.Ş.	Manisa-Soma	36	90
37	KUYUCAK RES	Alize Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	Manisa-Kırkağaç	14	25,6
38	SARES RES	Garet Enerji Üretim ve Ticaret A.Ş.	Çanakkale-Ezine	9	22,5
39	TURGUTTEPE RES	Sabaş Elektrik Üretim A.Ş.	Aydın-Çine	11	22
40	CANAKKALE RES	Enerjisa Enerji Üretim A.Ş.	Çanakkale-Ezine	13	29,9
41	SUSURLUK RES	Alentek Enerji A.Ş.	Balıkesir-Susurluk	18	45
TOPLAM					1414,55

YENİLENEBİLİR ENERJİ TEŞVİK MEKANİZMALARI

5.1 Mâli Teşvikler

5.1.1 Yatırım Teşviği

Yatırım teşviklerinde devlet toplam yatırım tutarına % 20 ile % 40 arasında değişen belli bir oranda katkıda bulunmaktadır.

Rüzgâr enerjisi yatırımlarının ilk yıllarında üreticiye verilen teşvik kurulacak türbinin kW cinsinden kapasitesine göre verilirdi. Bunun sonucunda rüzgâr şiddeti düşük bölgelerde kapasitenin üzerinde güce sahip türbinler kullanıldığından enerji üretim verimi düşmüş, maliyetler yükselmiştir. Zaman içinde bu teşvik hem kapasiteye hem de üretilen enerji verimine bağlı olarak düzenlenmeye başlanmıştır [23].

5.1.2 Hükümet Destekli Kredi

Devlet veya uluslar arası kuruluşlar rüzgar yatırımlarının finanse edilebilmesi için bu tip projelere normal ticari kredilerden daha cazip bir oranla kredi verebilmektedir. Almanya'daki bazı banka (Deutsche Ausgleichsbank ve Commerzbank) kredileri bu duruma örnek olarak gösterilebilir [23].

Türkiye bankalarının büyük çoğunluğu yurtdışı kaynaklı olmak üzere, yenilenebilir enerji yatırımları için kullandıkları özel kredi paketleri bulunmaktadır. Avrupa Yatırım Bankası, Dünya Bankası ve Temiz Teknoloji Fonu gibi kaynaklarla yenilenebilir enerji yatırımları için oldukça uygun şartlarda kredi sağlayan bankaların başında TSKB, TKB ve

İş Bankası gelmektedir. Kredilerin ortalama vadesi 8-9 yıl ve ortalama faiz oranı %4-4,5 seviyelerindedir [17].

Dünya Bankası ile ortak yürütülen yenilenebilir enerji kaynaklarına kredi sağlanmasına yönelik uygulama neticesinde TSKB ve TKB tarafından 1 rüzgar, 4 jeotermal ve 16 hidroelektrik santral projesi olmak üzere toplam 21 projeye yaklaşık 203.869.133 milyon \$ kredi sağlanmıştır. Bu projelerin toplam kurulu gücü 585 MW' dır [24].

5.2 Vergi Teşvikleri

5.2.1 Vergi Muafiyeti

Bazı ülkelerde, 1 ila 5 yıl arası bir süre boyunca santrallerden kurumlar vergisi ya da gelir vergisi alınmamaktadır. 1980'li yıllarda kullanılan yöntem kamu finansmanı açısından sıkıntı yaratabileceğinden pek uzun vadeli olamaktadır. Bu yöntem Hollanda'da uygulanmıştır.

5.2.2 Gümrük Muafiyeti

Bazı ülkeler, rüzgâr santralleri için gerekli ekipmanların yurtdışından getirilmesi esnasında gümrük muafiyeti uygulamaktadır. Bu yöntem daha önce Danimarka'da uygulanmıştır [23].

5.3 Üretim Teşvikleri

5.3.1 Sabit Fiyat Tarifesi

Sabit fiyat sistemlerinde üreticiye ödenecek elektrik fiyatı hükümetler tarafından belirlenir. Sabit fiyat sistemlerinde, belirli dönem süresince piyasa fiyatlarının üzerinde bir fiyata elektrik enerjisi satın alınmaktadır. Böylelikle piyasa risklerinin azalması ve uygun kredilerin daha kolay bulunabilmesi hedeflenmektedir.

Bu sistem bazı değişikliklerle 1988'de Portekiz, 1990'da Almanya, 1992'de Danimarka, 1994'de ise İspanya'da uygulamaya konulmuştur. Son yıllarda birçok Avrupa ülkesi bu sistemi benimsemiştir. Bu sistemi uygulayan ülkelerde rüzgar enerjisinden üretilen elektriğin kWh'si 7.7 ile 9.3 Euro Cent/kWh arasında değişmektedir [14].

Sabit fiyat sistemi istikrarlı fiyat yatırım güvencesi sağlar, girişimcileri piyasada teşvik eder. Böylece türbin üreticilerinin de teknolojik olarak gelişmiş ve verimli sistemler yapma çalışmalarına başlamaları için bir neden oluşturup, üretim maliyetlerinin düşmesini sağlar. Ancak bazı durumlarda sabit fiyatın çok yüksek uygulanma riskini taşır.

Ayrıca üreticiye ödenmesi gereken fiyat santrallerin kurulacağı bölgeye göre değişim gösterir. Fazla rüzgârlı bölgelerde düşük olan fiyatlandırma, az rüzgârlı bölgelerde yüksektir. Bu sayede üreticilerin belirli alanlarda yoğunlaşması engellenmiş olur. 40'tan fazla ülkede uygulanan sabit fiyat tarifesi, uzun vadeli olduğu için yatırımcının riskini azaltarak üretim tesisinin faaliyete geçtiği yıldan itibaren 15 – 20 senelik bir süreçte verilir.

5.3.2 Sabit Üretim Tarifesi

İki çeşit sabit üretim uygulaması vardır. İhale ve yeşil sertifika sistemlerinden oluşan yenilenebilir kota sistemlerinde yenilenebilir elektrik miktarı hükümetlerce belirlenirken, fiyat oluşumu piyasa şartlarına bırakılmıştır.

İhale sisteminde, yatırımcıların ihaleye girmek yoluyla yapılacak enerji üretimi için teklif verilmesi sağlanır. İngiltere ve İrlanda'da uygulanan bu sistemde elektrik fiyatı hükümet tarafından belirlenmez, pazar içerisinde kendiliğinden oluşur.

Yeşil sertifika sisteminin amacı, şu anki piyasa koşullarında rekabet etmesi zor olan yenilenebilir enerji kaynaklarından üretimin cazip hale getirilmesidir. Bu sertifika yenilenebilir enerji kaynaklarıyla elektrik üretimini sağlayan kuruluşlara projesine dayanarak verilen bir belgedir. Yatırımını yeşil sertifika sistemine dahil eden bir kuruluş, bu sayede üretiminden kWh başına ek gelir kazanma şansına sahip olur.

Hükümetler tarafından alım yapan kuruluşlarla belirli zorunlu kota miktarı uygulandığından yenilenebilir enerji kaynaklarından üretim az ise bu kaynaklardan üretilen elektrik enerjisinin fiyatının artmasına neden olacaktır. Üretim miktarı arttığı zaman ise fiyatlar düşecektir yani arz arttıkça fiyatların düşmesi buna karşılık arzın yetersiz kaldığı durumlarda fiyatları artması beklenmektedir. Bununla birlikte bir alt ve üst limit değeri belirtilmiştir.

Yeşil Sertifika Sistemi ilk olarak 1998 yılında Hollanda'da uygulanmıştır. Şu anda da Hollanda, Danimarka ve İtalya'da uygulanmaya devam etmektedir.

5.4 Karbon Vergisi

Elektrik santrallerinin karbon salınım oranlarının düşürülerek çevreye etkilerini azaltmaya yönelik uygulanan vergilendirme modelidir [23].

Bu sayede karbon salınımı olmayan yenilenebilir enerji üretim sistemlerinin kullanımı çok büyük ölçüde teşvik edilmektedir. Finlandiya, İsveç, İngiltere, Danimarka, Yeni Zelanda, Amerika ve Kanada karbon vergisinin uygulandığı bazı ülkelerdendir [25].

5.5 Ar – Ge Teşvikleri

TÜBİTAK, Sanayi ve Ticaret Bakanlığı, TTGV gibi kuruluşlar tarafından, genel amaçlı olarak sağlanan Ar-Ge destekleri, yenilenebilir enerji alanını da içermektedir. Öte yandan, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2010-2014 Enerji Stratejisi kapsamında, 2010 yılında "Enerji Sektöründeki Ar-Ge Projelerinin Desteklenmesi" amacıyla EN-AR Programını uygulamaya koyarak, 2014 yılına kadar 50 milyon TL'lik destek sağlamayı hedeflemektedir.

DPT'nin 2010-2012 Dönemi Yatırım Programı kapsamında; teknolojik araştırma sektöründe geleceğe yönelik olarak nanoteknoloji, biyoteknoloji, hidrojen ve yakıt pili teknolojileri, sanayi politikasının öncelik vereceği sektörlerdeki araştırmalar, yerli kaynakların katma değere dönüştürülmesini amaçlayan Ar – Ge faaliyetleri öncelikli alanlar arasında yer almaktadır. Söz konusu öncelikler, yenilenebilir enerji alanındaki faaliyetleri de desteklemektedir. Bunun dışında, Türkiye'nin halen yararlanmakta olduğu AB programları da (Çerçeve programları, CIP Programı, vb.) olası teşvikler arasında değerlendirilebilir [17].

5.6 Avrupa'da Uygulanan Teşviklere Örnekler

Uygulanan teşvikler ülkeden ülkeye değişiklik gösterir. Çeşitli ülkelerdeki çalışmalar [26] aşağıda özetlenmiştir.

Almanya:

Rüzgâr enerjisinden elde edilen elektriğin fiyatı 9 c€/kWh'dır.

Bazı bankalar rüzgâr elektrik santrallerine normal ticari krediden daha cazip imkânlarla finansman temin etmektedir.

Toplam yatırımın %25'ini geçmeyecek şekilde devlet sübvansesi.

Belçika:

Rüzgâr enerjisi yatırımlarında %15'e kadar devlet desteği sağlanmaktadır.

Yeşil elektrik üreticilerine 2,449 c€/kWh doğrudan destek ödemesi.

Danimarka:

Elektrik dağıtım şirketleri yenilenebilir enerji kullandıkları takdirde 1,5 c€/kWh teşvik almaktadır.

Dağıtım şirketleri kullandıkları yenilenebilir enerji için 0,18 c€/kWh karbon vergisi iadesi almaktadır.

Ulusal şebeke bağlantısı rüzgâr santrali sahibi ile dağıtıcı firma tarafından ortak olarak inşa edilmektedir.

Türbin ithalat kolaylıkları.

Kurulum ve inşa sahası vergi muafiyeti.

Fransa:

Santralin işletildiği ilk 5 yıl elektrik satış fiyatı 9,86 c€/kWh.

Santral kurulum ekipmanlarının vergi tutarının %25'i alınmamaktadır.

İngiltere:

Gaz, kömür, linyit enerjisinin ticari ve endüstriyel kullanımında iklim değişimi vergisi uygulanmaktadır. Bu vergi gaz için 0,002 c€/kWh, fosil yakıtlar için 0,001 c€/kWh.

Elektrik firmalarının yenilenebilir enerji kullanım payının korunmasını zorunlu kılan 'Yenilenebilirlerin Zorunluluğu' adında bir uygulama mevcuttur.

Sabit üretim sistemi ile elektrik fiyatı pazar içerisinde oluşmaktadır.

İspanya:

Yenilenebilir enerji santrallerinden 5 yıllık alım garantisi verilmekte ve rüzgâr enerjisi projeleri için 6,27c€/kWh fiyat tarifesi uygulanmaktadır.

İsveç:

Toplam sermaye miktarının %25'ine kadar her kW için 332 € destekleme ödeneği sağlamaktadır.

Karbon vergilendirmesi 0,15 c€/kWh'dir.

İtalya:

İlk 8 yıl 0,01 c€/kWh, geri kalan ömürde de 0,05 c€/kWh devlet sübvansesi enerji satış anlaşmalarında yer almaktadır.

Yatırımların %40'a kadar olan kısmı devlet tarafından sübvansede edilmektedir.

Rüzgar enerjisi için 5,70 c€/kWh sabit tarife uygulanmaktadır.

Yeşil enerji sertifika ticareti yapılmaktadır.

Yunanistan:

Rüzgar santral yatırım tutarının %30'u devlet tarafından sübvansede edilmektedir.

Rüzgâr enerjisi için 7,32 c€/kWh tarife uygulanmaktadır.

5.7 Türkiye'de Uygulanan Teşvikler

Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi'nin 2009 yılı raporunda Türk mevzuatlarına göre yenilenebilir enerji kaynaklarına uygulanan teşvikler bir tabloda özetlenmiştir (Çizelge 5.1).

Çizelge 5. 1 Türk mevzuatlarına göre yenilenebilir enerji kaynaklarına uygulanan teşvikler

Uygulanan Teşvik	YEK Kullanım Türü	Mevzuat
	Elektrik Üretimi (YEK-e)	
Tanım: YEK	Hidrolik, rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle, biyogaz, dalga, akıntı enerjisi ve gel - git gibi fosil olmayan enerji kaynakları	5346 Sayılı Kanun
Lisans Bedelleri	Lisans başvurusunda lisans bedelinin %1'inin ödenmesi	4628 Lisans Yönetmeliği

	Yıllık lisans bedelinde ilk 8 yıl muafiyet	
Lisans Alma Muafiyeti	Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı, kurulu gücü azami beş yüz kilovatlık üretim tesisi ile mikrokojenerasyon tesisi kuran gerçek ve tüzel kişiler, lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muafır.	4628 sayılı Kanun (5784)
Proje Bedeli Muafiyeti	Yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak sadece kendi ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla azami bin kilovatlık kurulu güce sahip izole elektrik üretim tesisi ve şebeke destekli üretim tesisi kuran gerçek ve tüzel kişilerden kesin projesi, planlanması, master planı, ön incelemesi veya ilk etüdü DSİ veya EİE tarafından hazırlanan projeler için hizmet bedelleri alınmaz.	5346 Sayılı Kanun
Arazi	31.12.2012 yılına kadar devreye girecek Hazine ve Orman arazilerinde yer alan YEK tesislerden, ulaşım yollarından ve şebekeye bağlantı noktasına kadarki enerji nakil hatlarından yatırım ve işletme dönemlerinin ilk 10 yılında izin, kira, irtifak hakkı ve kullanma izin bedellerinde %85 indirim. Orman köylüleri Kalkındırma Geliri, Ağaçlandırma ve Erozyon Kontrolü Geliri alınmaz.	5346 Sayılı Kanun (5784 sayılı Kanunla getirilen değişiklik)
	Mera Kanunu kapsamında bulunan mera, yaylak, kışlak ile kamuya ait otlak ve çayır olması halinde, 4342 sayılı Mera Kanunu hükümleri uyarınca bu taşınmazlara ilişkin olarak, Maliye Bakanlığı tarafından bedeli karşılığında kiralama yapılır veya irtifak hakkı tesis edilir. 4342 sayılı Mera Kanunu kapsamındaki arazilerde YEK-e tesisi kurulması halinde bu taşınmazların, tahsis amacı değiştirilerek Hazine adına tescil edilmesi ve bedeli karşılığında kiralama veya irtifak hakkı tesisi	5346 sayılı Kanun (5784)
	Kanun kapsamındaki hidroelektrik üretim tesislerinin rezervuar alanında bulunan Hazinesinin özel mülkiyetindeki ve Devletin hüküm ve tasarrufu altındaki taşınmaz mallar için Maliye Bakanlığı tarafından bedelsiz olarak kullanma izni	5784 sayılı Kanun
Sistem Bağlantı	Sisteme bağlantı yapılmasında öncelik. Yük alma ve yük atma ve dengeleme birimi olma yükümlülüğü muafiyeti. 31.12.2015'e kadar sisteme bağlantı için gerekli iletim hatlarının ilgili tüzel kişilerce yapılabilmesi (bedelin bağlantı ve sistem kullanım anlaşması yolu ile maksimum 10 yılda geri alınması). 31.12.2010'ye kadar işletmeye girecek lisanslı tüzel	4628 Lisans Yönetmeliği

	kişilere işletmeye giriş tarihinden itibaren 5 yıl iletim sistem kullanım bedelinde %50 indirim.	
Vergi	31.12.2012 tarihine kadar üretim tesislerinin yatırım dönemindeki işlemleri ve düzenlenen kağıtlar için damga vergisi ve harç muafiyeti.	5784 sayılı Kanun
Tanım: Teşviklerden Yararlanabilecek YEK	Rüzgar, güneş, jeotermal, biyokütle, biyogaz, dalga, akıntı enerjisi ve gel - git ile kanal veya nehir tipi veya rezervuar alanı 15 km kilometrekarenin altında olan hidroelektrik santralleri.	5346 sayılı Kanun (5627)
Tarife	2011 yılı sonuna kadar Kanun kapsamındaki yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üreten YEK belgeli tesislerin işletmede on yılını tamamlamamış olanlarından, üretilen elektrik enerjisine uygulanacak tarife her yıl için, EPDK'nın belirlediği bir önceki yıla ait Türkiye ortalama elektrik toptan satış fiyatı. Ancak uygulanacak fiyat 5,5 EuroCent/kWh karşılığı Türk Lirasından az, 5,5 EuroCent/kWh karşılığı Türk Lirasından fazla olamaz.	5346 sayılı Kanun (5627)
Tarife Geçerlilik Süresi / Uzatma	YEK Belgeli tesislerin işletmede on yılını tamamlamamış olanlara Teşvik kapsamındaki uygulamalar 31.12.2011 tarihinden önce işletmeye giren tesisleri kapsar. Bakanlar Kurulu uygulamasının sona ereceği tarihi, 31.12.2009 tarihine kadar Resmî Gazetede yayımlanmak şartıyla en fazla 2 yıl süreyle uzatılabilir.	5346 sayılı Kanun (5627)
Alım Zorunluluğu	Perakende satış lisansı sahibi tüzel kişilerin her birine, bir önceki takvim yılında sattıkları elektrik enerjisi miktarının ülkede sattıkları toplam elektrik enerjisi miktarına oranı kadar, YEK belgeli elektrik enerjisinden satın alma zorunluluğu.	5346 (5627)
	YEK-e üreticilerine Serbest Piyasada satış olanağı.	5346
	YEK-e üreticilerine lisanslarında öngörülen ortalama yıllık üretim miktarlarını geçmemek kaydıyla özel sektör toptan satış şirketlerinden enerji alabilme olanağı.	4628 Lisans Yönetmeliği
	TETAŞ fiyatından düşük ve başka kaynak yoksa YEK'den öncelikli alım yükümlülüğü.	4628 Lisans Yönetmeliği
Yatırım Teşvikleri	Teşvik Belgesi kapsamında gümrük vergisi muafiyeti, KDV istisnası, faiz desteği	006/10921 sayılı Yatırımlarda Devlet

		Yardımları Kararı
	Yatırım indirimi - standart %40	4842 sayılı Kanun
	Teşvik kapsamındaki illerde vergi ve sigorta teşvikleri, enerji desteği	5084 sayılı Kanun
	Isı / Sıcak Su	
Jeotermal Isı Kullanımı	Yeterli jeotermal kaynakların bulunduğu bölgelerdeki valilik ve belediyelerin sınırları içinde kalan yerleşim birimlerinin ısı enerjisi ihtiyaçlarını öncelikle jeotermal ve güneş termal kaynaklardan karşılama zorunludur.	5346 sayılı Kanun
Güneş Enerjisi Isıtma	ORKÖY Genel Müdürlüğü tarafından orman köylülerine güneş enerjisi su ısıtma sistemi için 3 yıl vadeli faizsiz kredi verilmektedir.	ORKÖY Genel Md.
Seralarda alternatif enerji kullanımı	Alternatif enerji kaynakları kullanan seraların yapımına yönelik yaptırımlar, Tebliğ (15.02.2006 tarih 26081 sayılı RG) kapsamında bulunan konularla ilgili tarımsal faaliyetlere yönelik yapılmış veya yapılacak tesislerde kullanılmak üzere, alternatif enerji kaynaklarından jeotermal, biyogaz, güneş ve rüzgâr enerjisi üretim tesisleri kırsal kalkınma yatırımlarının desteklenmesi program konuları arasında yer almaktadır. Proje tutarının %50'si oranındaki katkı payı hibe verilebilmektedir. 81 ilde uygulanabilir. Yatırım projelerinin 01.12.2010 tarihine kadar tamamlanması koşulu konmuş. 2010 yılı devam edip etmeyeceği belli değil.	Tarım Bakanlığı 30.10.2009 tarihli Tebliğ ve 5. sayılı Uygu. Rehberi
	Biyoyakıt / Biyokütle Ürünleri	
Ürün Desteği	2007 - 2010 yılları arasında kanola, aspir üreticilerine destekleme primi.	(29.07.2007 RG) 2007/12415 BKK
ÖTV Muafiyet	Harmanlanan biyoetanol oranı kadar ÖTV muafiyeti (yerli tarım ürünleri için geçerli)	ÖTV Genel Tebliği
ÖTV Muafiyet	Harmanlanan biyodizel oranı kadar ÖTV muafiyeti (yerli tarım ürünleri için geçerli)	26.12.2006 RG, ÖTV Tebliği Seri No13

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARINA İLİŞKİN POLİTİKALAR

6.1 Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına İlişkin Politikalar ve Hedefler

2008 yılında birçok ülke yenilenebilir enerji konusunda politika oluşturmuş veya mevcut politikalarını daha ayrıntılı ve zorlayıcı hale dönüştürmüştür. 2009 yılının başlangıç dönemi itibariyle en az 73 ülkede resmi hükümet politikaları oluşturulmuş bulunmaktadır. Bu alanda ilk politika belirleyen ülke ABD (1978) olmuş ve onu Almanya (1990) izlemiştir. Avrupa’nın bir diğer yükselen yıldızı İspanya (1994) da ulusal yenilenebilir enerji politikalarını 16 yıl önce belirlemiştir. Avrupa Birliği 2020 yılına kadar gerçekleştirilmesi düşünülen hedeflerini her ülke için ayrı ayrı belirlemiştir [17].

Enerjide ithalat bağımlılığının azaltılması ve arz güvenliğinin sağlanması amacıyla YEK kullanımının artırılması Türkiye enerji politikasının önemli bir unsuru olarak belirtilmektedir. Türkiye’de rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının konu edilmesi ilk defa 2001 yılında Elektrik Piyasası Kanunu'nun çıkarılmasıyla olmuştur. Bu kanunla devletin belirli bir fiyattan alım garantisinden vazgeçmesi zaten düşük seviyede olan rüzgâr enerjisi yatırımlarını durdurmuştur. Rüzgâr enerjisine verilen resmi önemin kanıtı olarak ilk ciddi girişim ise ancak 2005’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanunu ile ortaya konmuştur. Yani Türkiye’de rüzgâr enerjisi başta olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimi; 4628 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ve 5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun ve ikincil mevzuat kapsamında teşvik edilmektedir.

Türkiye'nin enerji politikası, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nca, "sınırlı olan doğal kaynakları daha akılcı kullanarak, çevreye ve insan sağlığına olan olumsuz etkileri minimum seviyeye indirmek, yeni kaynaklara ilaveten yeni teknolojilerle enerjiyi çeşitlendirmek, alternatif enerji kaynaklarını en faydalı şekilde hizmete sunarak ülkenin kalkınması ve refah artısını sağlayacak, daha temiz, daha güvenli, daha verimli, daha ucuz ve ticari açıdan ulaşılabilir ve sürdürülebilir enerji arzını sağlamak" şeklinde belirlenmiştir.

Bakanlık ekonomik büyümeyi gerçekleştirecek ve sosyal gelişmeyi destekleyecek şekilde; zamanında, yeterli, güvenilir, rekabet edilebilir fiyatlardan, çevresel etkiler de göz önünde tutularak enerjinin tüketiciye sağlanmasını amaçlamaktadır [17].

Enerji Bakanı Taner Yıldız, EÜAŞ'ın 2010 yıllık raporunda yenilenebilir enerjiyle ilgili şunları belirtmiştir [27]. *"Yaşanan yüksek ekonomik gelişme ve artan refah seviyesinin sonucu olarak Türkiye'nin enerji sektörünün her alanında hızlı bir talep artışı olduğu gözlemlenmektedir. Ancak uzun dönem arz-talep dengesi çalışmaları, ülkemizin tüm yerli kaynak potansiyelinden faydalanılması durumunda dahi, elektrik talebinin karşılanmasında belirli oranda ithal kaynaklara bağımlı kalınacağına işaret etmektedir. Enerji arz güvenliğinin temin edilebilmesi ve ithal kaynaklarda çeşitliliğinin sağlanabilmesi, nükleer enerji seçeneğinin politika ve stratejilerimize dahil edilmesini gerekli kılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji arzı içindeki payının artırılmasına yönelik olarak hem yasal altyapı çalışmalarını hem de sektörü harekete geçirecek kapsamlı çalışmalar hayata geçirilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına teşvik öngören 6094 sayılı "Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımına ilişkin kanunda değişiklik yapılmasına dair kanun" 29 Aralık 2010 tarihinde resmi gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Ayrıca sürdürülebilir kalkınmanın öneminin gittikçe daha çok anlaşıldığı günümüzde, enerjinin ve enerji kaynaklarının üretiminden nihai tüketimine kadar bütün aşamalarda verimli kullanılması ulusal enerji politikamızın öncelikli ve önemli bileşenlerinden biridir."*

Bakanlığın ana enerji politika ve stratejileri ise şöyledir [28]:

- Stratejik petrol ve doğal gaz depolama kapasitesinin arttırılması,
- Kaynak ve ülke çeşitlendirilmesi,
- Yerli kaynakların kullanımı ve geliştirilmesine öncelik verilmesi,

- Farklı teknolojilerin kullanımı, geliştirilmesi ve yerli üretimin artırılması,
- Ülkemizin enerji ticaret merkezi olma potansiyelinden en iyi şekilde yararlanılması,
- Talep yönetiminin etkinleştirilmesi ve verimliliğin artırılması,
- Yakıt esnekliğinin artırılması (üretimde alternatif enerji kaynağı kullanımına olanak sağlanması),
- Orta Doğu ve Hazar petrol ve doğal gazının piyasalara ulaştırılması sürecine her aşamada katılım sağlanması,
- Enerji sektörünün, işleyen bir piyasa olarak şeffaflığı ve rekabeti esas alacak şekilde yapılandırılması,
- Bölgesel işbirliği projelerine katılım ve entegrasyon,
- Her aşamada çevresel etkilerin göz önünde bulundurulması.

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2010-2014 Stratejik Planı'ndaki hedeflerden bazıları da şunlardır [29]:

- Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi içindeki payının 2023 yılında en az %30 düzeyinde olmasının sağlanması,
- Yapımına başlanan 5.000 MW'lık hidroelektrik santrallerin 2013 yılı sonuna kadar tamamlanması,
- 2009 yılı itibari ile 802,8 MW olan rüzgar enerjisi kurulu gücünün, 2015 yılına kadar 10.000 MW'a, 2023 yılına kadar da 20.000 MW'a çıkarılması,
- 2009 yılı itibari ile 77,2 MW olan jeotermal enerjisi kurulu gücünün, 2015 yılına kadar 300 MW'a, 2023 yılına kadar 600 MW'a çıkarılması,
- Yürütülen enerji verimliliği çalışmaları çerçevesinde, 2015 yılına kadar birincil enerji yoğunluğunda 2008 yılına göre %10 azalma sağlanması,
- Bakanlığa bağlı, ilgili ve ilişkili kuruluşlarca yürütülen Ar – Ge yatırımlarının da 2015 yılına kadar, 2009 yılı Ar – Ge yatırımlarına göre %100 oranında artırılması.

6.2 Türkiye'de RES Projelerinin Lisanslandırma Süreci

Lisanslandırma süreci EPDK'na lisans başvurusunda bulunulması ile başlar.

Lisans başvurusunda sunulması gereken belge ve bilgiler www.epdk.org.tr adresinde mevcut olup, toplam 14 adet belge, beyan ve bilgiyi içermektedir.

Belge ve bilgilerin eksiksiz olması durumunda, lisans başvurusu inceleme ve değerlendirmeye alınır.

İnceleme ve değerlendirmeye alınan lisans başvurularına ilişkin, öncelikli olarak ilgili dağıtım şirketi ve TEİAŞ'a bağlantı ve sistem kullanımı konusunda görüş sorulur. Bununla beraber, Kamulaştırma Dairesi Başkanlığı'ndan söz konusu proje için inşaat öncesi döneme ilişkin sürenin belirlenmesi istenir.

Bağlantı ve sistem kullanımı hakkında görüşün olumlu olması ve Kamulaştırma Dairesi Başkanlığı tarafından inşaat öncesi döneme ilişkin sürenin belirlenmesi sonrasında, lisans başvurusu hakkında Kurul Kararı ile uygun bulma kararı alınır.

Lisans başvurusu Kurul Kararı ile uygun bulunan başvuru sahibi tüzel kişiden;

- Ana sözleşmesini ilgili mevzuata uygun hale getirmesi,
- Sermayesini yatırım tutarının %15 tutarına yükseltmesi,
- Teminat miktarını Lisans Yönetmeliği'nin ilgili hükmü ile belirlenen miktara çıkarması,

Bu yükümlülüklerini, Kurul Kararını tebliğ ettiği tarihten itibaren 90 gün içinde yerine getirmesi talep edilir.

Yükümlülüklerini öngörülen süre içerisinde yerine getiren tüzel kişilere Kurul Kararı ile üretim lisansı verilir [36].

RÜZGÂR ENERJİSİ SANTRAL YATIRIM MALİYETLERİ

Rüzgâr enerjisinin tükenmez ve yenilenebilir olması, çevreye zararsız olması ve yakıt maliyetinin olmaması gibi özellikleri rüzgâr enerjisini daha da ekonomik kılmaktadır. Türbinin dizaynı, üretilmesi, inşası ve işletilmesini içeren rüzgâr enerjisi endüstrisi hızla büyümektedir.

Bir rüzgâr santrali yapımında en büyük avantaj yakıt maliyeti olmamasıdır. Rüzgâr enerjisi mevcut üretim teknolojileri ile kW başına yüksek sermaye gerektiren ancak yakıt ve işletme maliyeti en düşük olan enerji kaynaklarından biridir.

Rüzgâr Enerjisi yatırımı yapılmadan önce yatırımın uygulanabilir olması için dikkat edilmesi ve bilinmesi gereken en önemli noktalar; 50 metredeki rüzgâr hızının 7 m/s veya üzeri olması, 50 metredeki kapasite faktörü %35 veya üzeri olması, trafo merkezleri ya da enerji iletim hatlarına yakın yerler tercih edilmesi, rüzgâr türbinlerinin ortalama ömrünün 25 yıl olmasıdır.

Rüzgâr enerjisi tabanlı sistemlerin düşük işletme maliyetleri ile geri dönüş süreleri yaklaşık 10 yıldır. Devlet YEK kapsamında 10 yıllık alım garantisi vermiştir. Rüzgâr türbinlerinin ortalama ömrü 25 yıl olduğundan yatırım yapılması oldukça verimli olan bir yenilenebilir enerji kaynağıdır [30].

Özellikle yatırım giderleri ve kapasite faktörü ekonomik verimlilik açısından kritik önem taşımaktadır.

Kapasite faktörü, tesisin kurulacağı alanın, yapılan rüzgâr ölçümleri ile belirlenen yıllık ortalama rüzgâr hızında üretilen elektrik enerjisinin türbinin maksimum gücüne ulaştığı

rüzgar hızında üreteceği elektrik enerjisine bölünmesinden elde edilen “%” cinsinden değerdir. Genelde rüzgâr santrallerinde kapasite faktörü %20-%45 arasında değişmekte olduğundan üretilen enerji için yatırım maliyetini etkilemektedir [31].

Rüzgâr kaynaklı elektrik enerjisinin maliyetinin alternatiflerinden daha düşük olabilmesi için kapasite faktörünün %30’un üzerinde olması gerekir. Bu nedenle rüzgâr santralleri, kapasite faktörünü belirleyen rüzgâr hızı ve rejimi bakımından uygun yerlere kurulmalıdır [32].

Rüzgar gücünün maliyeti son yıllarda azalmıştır. Rüzgar enerjisinin maliyeti, endüstri büyüdükçe ve olgunlaştıkça düşmüş, bundan sonraki dönemde de düşmesi beklenmektedir. Bu düşen maliyetlerle de birlikte yeni yatırımcıların rahatça sektöre adım atma imkanı yaratacak ve sektörün büyüyüp gelişmesini sağlayacaktır.

Türbinler sisteminin maliyetini etkileyen temel faktörlerin başında gelir. Onu da yatırım maliyeti, amortisman süresi, faiz oranları, türbin verimi, rüzgâr rejimi, teknolojik imkanlar, işletme ve bakım maliyetleri ile sistem ömrü izler. Buna ek olarak da türbin imalat maliyeti, altyapı ve tesis maliyeti, inşaat işleri, mühendislik ve şebekeye bağlantı maliyetlerinin de önemi vardır.

7.1 Yatırım Maliyeti

Rüzgâr enerjisi santrallerinin toplam maliyetlerinin yaklaşık olarak %75’ i türbin maliyetinden oluşur. Rüzgâr enerjisi santrallerinde yakıt fiyatlarının maliyete hiçbir etkisi yoktur. Fosil kaynaklı yakıtlarla çalışan enerji üretim santrallerinde, örneğin doğalgazla çalışan elektrik üretim santrallerinde üretilen elektriğin maliyetinin yaklaşık %40–70’ lik kısmı yakıt maliyeti ve bakım onarım maliyetlerinden meydana gelir [33].

Çizelge 7.1’de Avrupa’ da kurulacak tipik bir 2 MW kapasiteli rüzgâr enerjisi santralının yatırım giderleri görülmektedir. Yatırımın en büyük payını %75 ile türbin maliyeti oluşturmaktadır. Daha sonra da yaklaşık %19’luk bir pay ile inşaat işleri gelmektedir. Bu santralin ortalama maliyeti 1,23 milyon €/MW’ tır. Ancak bu tutar ülkeden ülkeye farklılıklar arz etmektedir. En düşük maliyetler Danimarka’ da karsımıza çıkarken maliyetlerin en yüksek olduğu İngiltere, İspanya, Almanya ve Kanada’ da bu tutar Danimarka’ ya göre %20–30 daha yüksektir. Maliyet farklılıkları kurulum ve şebeke bağlantısında da ülkelere göre önemli ölçüde değişmektedir.

Çizelge 7. 1 Avrupa'da 2 MW'lık tipik bir rüzgâr türbininin yapımındaki maliyet yapısı [34]

	YATIRIM (€1000/MW)	TOPLAM MALİYETTEKİ PAY %
Türbin	928	75,6
Şebeke Bağlantısı	109	8,9
Temel	80	6,5
Arazi Kirası	48	3,9
Elektrik Tesisatı	18	1,5
Danışmanlık	15	1,2
Finansal Maliyetler	15	1,2
Yol Yapımı	11	0,9
Kontrol Sistemleri	4	0,3
TOPLAM	1228	100

Türbin maliyetini belirleyen kriterler arasında türbinin birer parçası olan kule, pervane, dişli kutusu, kontrol sistemi, alternatör, gibi etmenler de maliyeti büyük ölçüde belirler. Kule malzemesinin çelik veya beton olmasına göre ve kule yüksekliğine bağlı olarak maliyet değişim gösterir. Rüzgâr pervanesinde ise pervanenin alüminyum, titan, çelik, elyaf ile güçlendirilmiş plastik gibi malzemelerden yapılması aynı şekilde maliyeti değiştirmektedir. Dişli sistemi pervane milinin devir sayısını alternatörün gereksinim duyduğu devir sayısına çıkarır. Bu devir sayısının artış ve azalışını karşılayacak olan alternatöründe değişmesi gerekir. Alternatördeki bu güç değişimi maliyetin artması yönünde etkili olur. Bu gibi etkenler göz önüne bulundurulup, optimum türbin tasarımı yapılırsa maliyet de optimize edilmiş olur [35]. Ayrıca çok büyük ve çok küçük sistemler maliyeti yükseltmektedir.

7.2 İşletme, Bakım ve Onarım Maliyetleri

Yeni kurulan bir türbinde işletme giderleri kW enerji başına %15 ile %20 arasında değişmektedir. Ancak yaşlı ilerlemiş türbinlerde bu oran %35'e kadar çıkabilir. Türbin üreticileri bu oranın düşürülmesi için araştırma yapıp yeni teknolojiler üretmeye devam etmektedir.

Bu işletme giderlerini sigorta maliyetleri, periyodik bakımlar, onarım ve yedek parça olarak dört başlık altında toplayabiliriz. Kurulum aşamasında sigorta maliyetleri ve

periyodik bakımların maliyetleri tahmin edilebilirken; onarım ve yedek parça maliyetleri için bu tahmini yapmak çok zordur.

ÇEŞİTLİ SANTRALLERİN ELEKTRİK ÜRETİM MALİYETLERİNİN HESAPLANMASI VE RÜZGÂR SANTRALİYLE KARŞILAŞTIRMA ÇALIŞMASI

Elektrik üretim maliyetini hesaplamak için santrale yapılan masrafların bilinmesi gerekir. Bu masraflar da yatırım maliyeti, işletme ve bakım onarım maliyetleri ve yakıt maliyetlerinden oluşur. Bu maliyetler de söz konusu santralde üretilen elektrik miktarına oranlandığında kW başına elektrik üretim maliyeti hesaplanabilir. Bu çalışmada ülkemizin enerjisinin çok büyük bir kısmını karşılayan kömür yakıtlı santral, doğalgaz yakıtlı santral, hidroelektirik santral ve ülkemizde son yıllarda kullanımı artmış rüzgâr enerji santrallerinin yakıt maliyeti karşılaştırılmıştır.

8.1 Yatırım Masraflarının Hesaplanması

Türbin masrafları, yol masrafları, tesisat masrafları işçilik masrafları vb. bir çok masraf kaleminden oluşan yatırım masrafı bir defalık bir masraftır ve sermaye masrafları olarak adlandırılır. Yakıt masrafları ya da bakım onarım gibi her sene tekrar etmezler. Biz yatırım maliyeti olarak bir santraldeki kurulu güç için bize verilen kW başına olan yaklaşık yatırım maliyetlerini kullanarak hesap yaptık.

Sabit yıllık sermaye maliyeti hesaplanırken, faiz oranı, santral ömrü, eğer kredi alınmışsa kredi oranı, geri ödeme süresi gibi etkenler de hesaba katılarak toplam yatırım masraflarını ekonomik ömür boyunca her yıl için eşit ödemeler şekline getirebiliriz.

$$C_k = I_k \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (8.1)$$

Denklem 8.1'de C_k , yıllık sabit sermaye maliyetini; I_k , toplam sermaye maliyetini; i , faiz oranını; n ise santralin ekonomik ömrünü ifade etmektedir.

Eğer aynı zamanda kredi de alınmışsa toplam sermaye maliyeti hesaplanırken faiz yükü ve eskalasyon yükü de etki ettirilerek hesap yapılmalıdır.

Bir santraldeki yıllık elektrik üretim miktarı Denklem 8.2'deki gibi hesaplanır.

$$E_e = 8760 \times N_e \times L_f \quad (8.2)$$

Denklemden E_e , yıllık elektrik üretim miktarını; N , kurulu gücü, L_f ise yük faktörünü ifade etmektedir.

8.2 Yakıt Masraflarının Hesaplanması

Kömür yakıtlı ve doğalgazlı santrallerde yakıt masrafları hesaplanabilir. Ancak hidrolik santraller ve rüzgâr santralleri yenilenebilir enerji kaynakları olduğundan onların fosil yakıtlı santraller gibi yakıt masrafları yoktur. Yakıt masrafları kullanılan yakıtın alt ısı değerine ve termik verimden etkilenir.

$$q = \frac{860}{\eta_{th}} \quad (8.3)$$

$$c_f = \frac{F \times q}{H_u} \quad (8.4)$$

Denklem 8.3'te q , 1 kW elektrik üretmek için gerekli ısı miktarını; η_{th} ise santralin termik verimini göstermektedir. Denklem 8.4'te ise c_f , birim enerji yakıt maliyeti; F , kullanılan yakıtın fiyatı, H_u da kullanılan yakıtın alt ısı değeridir. Denklem 8.3'ten elde ettiğimiz sonucu Denklem 8.4'te yerine koyarsak birim enerji yakıt maliyetini bulmuş oluruz.

Yakıt fiyatlarının her yıl arttığı göz önüne alınırsa yakıt eskalasyonunu ve iskonto oranını hesaba katmak gerekir. Denklem 8.5'da santralin işletmeye alındığı yılki yakıt fiyatıyla yıllık sabit yakıt maliyetini buluruz. Yakıttaki artış hesaba katılırsa toplam yakıt harcamasını da (8.5) ile buluruz.

$$c_{i0} = c_f \times E_e \quad (8.5)$$

$$c_{pw-y} = \frac{c_{i0}}{r - e_y} \left[1 - (1 + e_y)^n (1 + r)^{-n} \right] \quad (8.6)$$

Denklem 8.6'de c_{fo} , işletmeye başlanan yılki yakıt masrafı; e_y , yakıt eskalasyonu; r , iskonto oranı; n ise santral ömrüdür.

8.3 İşletme, Bakım ve Onarım Masraflarının Hesaplanması

Santral türüne göre bu masraflar kW elektrik üretim başına farklı değerler alabilirler. Hesaplar yapılırken bakım ve işletme masrafları her sene sabit kabul edilebileceği gibi gerçeğe uygun olarak artışlar göz önünde bulundurulabilir.

$$C_{om} = c_{om} \times N_e \quad (8.7)$$

Burada C_{om} , hesapları yaptığımız yıla ait masraflar; c_{om} , hesaplama yapılan yıla ait kW başına düşen işletme ve bakım masrafı; N_e , bir yılda üretilen elektrik miktarıdır.

Eğer işletme ve bakım masrafları da yıldan yıla değişiklik gösteriyorsa toplam masrafları bulmak için (8.8) kullanılır.

$$C_{pw-om} = \frac{C_{om}}{r - e_{om}} \times \{1 - [(1 + e_{om})^n \times (1 + r)^{-n}]\} \quad (8.8)$$

Burada e_{om} işletme ve bakım eskalasyonudur.

8.4 Birim elektrik enerjisi üretim maliyeti

Birim elektrik enerjisi üretim maliyetini elde etmek için ise yatırım, yakıt, işletme ve bakım maliyetleri toplanıp toplam üretilen elektrik enerjisi miktarına bölünür.

$$C_{pw} = C_{pw-k} + C_{pw-y} + C_{pw-om} \quad (8.11)$$

(8.11)'de C_{pw} ömür boyu toplam masrafları, C_{pw-k} ömür boyu kurulum masraflarını, C_{pw-y} ömür boyu yakıt masraflarını, C_{pw-om} ömür boyu işletme ve bakım masraflarını ifade eder.

Toplam harcamaları bulduktan sonra bunları yıllık bir değer haline getirmemiz gerekir. Yıllık eşdeğer masraflar serisi (8.12) ile bulunur.

$$C_{Aw} = C_{pw} \left[\frac{(1+r)^n \times r}{(1+r)^n - 1} \right] \quad (8.12)$$

Elektrik üretim maliyetini bulmak için de en son olarak yıllık masrafları yıllık elektrik miktarına böleriz. Böylece her yıl için aynı yani bir değere getirilmiş elektrik üretim maliyetini buluruz (8.13).

$$g = \frac{C_{AW}}{E_e} \quad (8.13)$$

Bu bulduğumuz maliyet, her yıl için santral ömrü boyunca sabitmiş gibi düşünülebilir. Ancak gerçekte böyle değildir. Bu maliyet dağılımı geometrik artan bir seri halinde olacaktır. Bu yüzden önce bu maliyetin bugünkü değerini hesaplamamız gerekir.

$$g_0 = \frac{g}{A} \times \frac{(r-e)}{[1-(1+e)^n(1+r)^{-n}]} \quad (8.14)$$

Denklem 8.14'te A amortisman faktörünü, r iskonto oranını, e eskalasyonu ifade eder. Amortisman faktörü formülü ise (8.15)'te verilmiştir.

$$A = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (8.15)$$

Elektrik üretim maliyetinin bugünkü değerini bulduktan sonra (8.16) yardımıyla her sene için ayrı ayrı değerleri bulunabilir.

$$g_n = g_0(1 + e)^n \quad (8.16)$$

8.5 600 MW Gücündeki Kömür Yakıtlı Bir Santralin Elektrik Üretim Maliyeti

Yapılan kabuller Çizelge 8.1'de verilmiştir.

Çizelge 8. 1 600 MW gücündeki kömür yakıtlı santral için yapılan kabuller

Birim Tesis Bedeli	\$/kW _e	1400
Yıllık İşletme & Bakım Masrafları (C _{om})	\$/kW _e Yıl	60
Santral Termik Verimi (η _{th})	%	40
Santral Yük Faktörü (L _f)	%	80
Santral Ömrü (n)	Yıl	25
Faiz Oranı (i)	%	10
Eskalasyon (e)	%	5
Yakıt Eskalasyonu (e _y)	%	4
İşletme& Bakım Masraf Eskalasyonu (e _{om})	%	4
Yakıtın Alt Isıl Değeri (H _u)	kcal/ton	6×10 ⁶

Yakıtın Fiyatı	\$/ton	30
----------------	--------	----

Santralin inşaat tutarı,

$$1400 \times 600000 = 840 \times 10^6 \$$$

Ayrıca hesaplar yapılırken bankadan beş yıllık kredi alındığı (kredi faizi %5, eskalasyon ise %5'tir), yakıt masraflarının ve bakım onarım masraflarının yıllara göre değiştiği kabul edilerek hesaplar yapılmıştır. Yatırım harcamalarının ise yıllara göre dağılımı şöyledir: %20, %30, %30, %15, %5. Bu hesaplamaların sonucunda faiz ve eskalasyon yükleriyle birlikte toplam yatırım harcamaları,

$$C_{pw-k} = 1072 \times 10^6 \$ \text{ olur.}$$

Santralde bir yılda üretilen ortalama elektrik enerjisi (8.2);

$$E_e = 4,204 \times 10^9 kW_e h / Yıl$$

Santralin yıllık yakıt maliyetini hesaplayalım.

1 kW elektrik üretmek için gerekli ısı miktarı;

$$q = \frac{860}{\eta_{th}} = 2150 kcal / kW_e h$$

Birim elektrik enerjisi üretim maliyeti içinde yakıt maliyetinin payı;

$$c_f = \frac{F \times q}{H_u} = 0,01075 \$ / kW_e h$$

$$c_{fo} = c_f \times E_e = 45,2 \times 10^6 \$ / yıl$$

Yakıt eskalasyonunu da hesaba katarak toplam yakıt harcamasını bulalım (8.6).

$$C_{pw-y} = 567,85 \times 10^6 \$$$

Bakım ve işletme masrafları;

Kömürlü bir santralin yıllık ortalama bakım ve işletme masrafları;

$$c_{om} = 45 \$ / kW_{yıl}$$

$$C_{om} = c_{om} \times N_e = 27 \times 10^6 \$ / yıl$$

Santralin ömrü boyunca bakım onarım ve işletme harcamaları toplamı (8.8),

$$C_{pw-om} = 339,28 \times 10^6 \$$$

Kömürlü santralde üretilen elektriğin bir değere getirilmiş maliyeti;

$$C_{pW} = (1072 + 567,85 + 339,28) \times 10^6 = 1979,13 \times 10^6 \$$$

$$C_{AW} = C_{pW} \left[\frac{(1+r)^n \times r}{(1+r)^n - 1} \right] = 218,036 \times 10^6 \$/yıl$$

$$g = \frac{C_{AW}}{E_e} = 0,05186 \$/kW_e h$$

$$g_k = 51,8 \text{ mills}/kW_e h$$

Bu bulduğumuz değer bir değere getirilmiş üretim maliyeti olup, bizim maliyetin bugünkü değerine ihtiyacımız vardır. Denklem 8.14 ve 8.15 ile elektrik üretim maliyetinin bugünkü değerini hesaplarız.

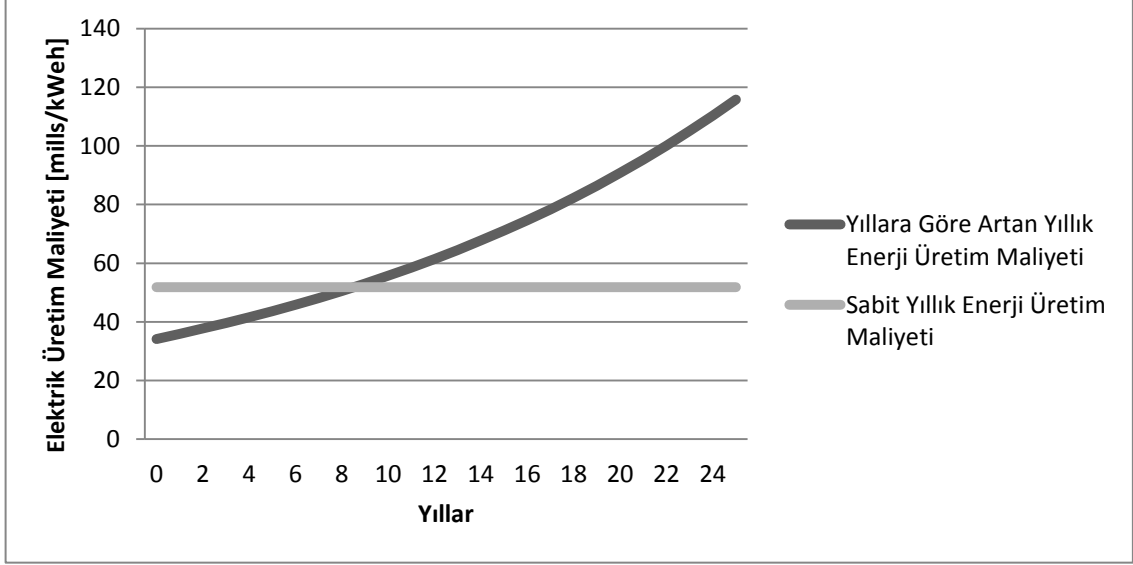
$$g_0 = 34,198 \text{ mills}/kW_e h$$

Santralin ömrü boyunca elektrik üretim maliyetinin her yılki değişimi (8.16) ile hesaplanmıştır (Çizelge 8.2). Şekil 8.1'de elektrik üretim maliyetinin yıllara göre değişimi görülmektedir.

Çizelge 8. 2 600 MW gücündeki kömürlü santralin yıllara göre elektrik üretim maliyetinin değişimi

Yıl	g_n (mills/kWeh)
0	$g_0=34,198$
1	$g_1=35,908$
2	$g_2=37,703$
3	$g_3=39,588$
4	$g_4=41,568$
5	$g_5=43,646$
6	$g_6=45,829$
7	$g_7=48,120$
8	$g_8=50,526$
9	$g_9=53,052$
10	$g_{10}=55,705$
11	$g_{11}=58,490$
12	$g_{12}=61,415$
13	$g_{13}=64,485$
14	$g_{14}=67,710$
15	$g_{15}=71,095$
16	$g_{16}=74,650$
17	$g_{17}=78,382$

18	$g_{18}=82,302$
19	$g_{19}=86,417$
20	$g_{20}=90,737$
21	$g_{21}=95,274$
22	$g_{22}=100,038$
23	$g_{23}=105,040$
24	$g_{24}=110,292$
25	$g_{25}=115,807$



Şekil 8. 1 600 MW gücündeki kömür yakıtlı santral için yıllara göre elektrik üretim maliyetinin değişimi

8.6 600 MW Gücündeki Doğalgaz Yakıtlı Bir Santralin Elektrik Üretim Maliyeti

Yapılan kabuller Çizelge 8.3'de verilmiştir.

Çizelge 8. 3 600 MW gücündeki doğalgaz yakıtlı santral için yapılan kabuller

Birim Tesis Bedeli	\$/kW _e	680
Yıllık İşletme & Bakım Masrafları (C _{om})	\$/kW _e Yıl	25
Santral Termik Verimi (η _{th})	%	45
Santral Yük Faktörü (L _f)	%	85
Santral Ömrü (n)	Yıl	30
Faiz Oranı (i)	%	10
Eskalasyon (e)	%	5
Yakıt Eskalasyonu (e _y)	%	4

İşletme& Bakım Masraf Eskalasyonu (e_{om})	%	4
Yakıtın Alt Isıl Değeri (H_u)	kcal/m ³	8250
Yakıtın Fiyatı	\$/m ³	0,314232

Santralin inşaat tutarı,

$$680 \times 600000 = 408 \times 10^6 \$$$

Ayrıca hesaplar yapılırken bankadan beş yıllık kredi alındığı (kredi faizi %5, eskalasyon ise %5'tir), yakıt masraflarının ve bakım onarım masraflarının yıllara göre değiştiği kabul edilerek hesaplar yapılmıştır. Yatırım harcamalarının ise yıllara göre dağılımı şöyledir: %20, %30, %30, %15, %5. Bu hesaplamaların sonucunda faiz ve eskalasyon yükleriyle birlikte toplam yatırım harcamaları,

$$C_{pw-k} = 520,73 \times 10^6 \$ \text{ olur.}$$

Santralde bir yılda üretilen ortalama elektrik enerjisi (8.2);

$$E_e = 4,467 \times 10^9 kW_e h / Yıl$$

Santralin yıllık yakıt maliyetini hesaplayalım.

1 kW elektrik üretmek için gerekli ısı miktarı;

$$q = \frac{860}{\eta_{th}} = 1911,11 kcal/kW_e h$$

Birim elektrik enerjisi üretim maliyeti içinde yakıt maliyetinin payı;

$$c_f = \frac{F \times q}{H_u} = 0,0728 \$ / kW_e h$$

$$c_{fo} = c_f \times E_e = 325,2 \times 10^6 \$ / yıl$$

Yakıt eskalasyonunu da hesaba katarak toplam yakıt harcamasını bulalım (8.6).

$$C_{pw-y} = 1007,44 \times 10^6 \$$$

Bakım ve işletme masrafları;

Santralin yıllık ortalama bakım ve işletme masrafları;

$$c_{om} = 25 \$ / kW_yıl$$

$$C_{om} = c_{om} \times N_e = 15 \times 10^6 \$ / yıl$$

Santralin ömrü boyunca bakım onarım ve işletme harcamaları toplamı (8.8),

$$C_{pw-om} = 203,531 \times 10^6 \$$$

Santralde üretilen elektriğin bir değere getirilmiş maliyeti;

$$C_{pw} = (1007,44 + 520,73 + 203,531) \times 10^6 = 1731,701 \times 10^6 \$$$

$$C_{AW} = C_{pw} \left[\frac{(1+r)^n \times r}{(1+r)^n - 1} \right] = 183,697 \times 10^6 \$/yıl$$

$$g = \frac{C_{AW}}{E_e} = 0,0411 \$/kW_e h$$

$$g_D = 41 \text{ mills}/kW_e h$$

Bu bulduğumuz değer bir değere getirilmiş üretim maliyeti olup, bizim maliyetin bugünkü değerine ihtiyacımız vardır. Denklem 8.14 ve 8.15 ile elektrik üretim maliyetinin bugünkü değerini hesaplarız.

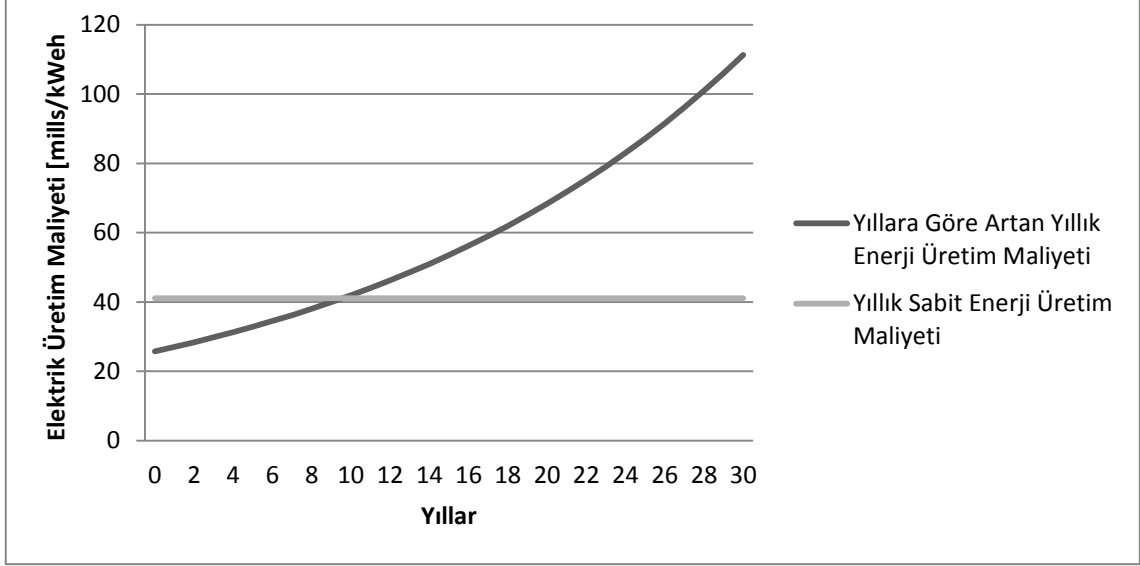
$$g_0 = 25,75 \text{ mills}/kW_e h$$

Santralin ömrü boyunca elektrik üretim maliyetinin her yılki değişimi (8.16) ile hesaplanmıştır (Çizelge 8.4). Şekil 8.2'de elektrik üretim maliyetinin yıllara göre değişimi görülmektedir.

Çizelge 8. 4 600 MW gücündeki doğalgaz yakıtlı santralin yıllara göre elektrik üretim maliyetinin değişimi

Yıl	g_n (mills/kWeh)	Yıl	g_n (mills/kWeh)
0	$g_0=25,75$	16	$g_{16}=56,209$
1	$g_1=27,038$	17	$g_{17}=59,019$
2	$g_2=28,389$	18	$g_{18}=61,970$
3	$g_3=29,809$	19	$g_{19}=65,069$
4	$g_4=31,299$	20	$g_{20}=68,322$
5	$g_5=32,864$	21	$g_{21}=71,739$
6	$g_6=34,507$	22	$g_{22}=75,325$
7	$g_7=36,233$	23	$g_{23}=79,092$
8	$g_8=38,044$	24	$g_{24}=83,046$
9	$g_9=39,947$	25	$g_{25}=87,168$
10	$g_{10}=41,944$	26	$g_{26}=91,464$
11	$g_{11}=44,041$	27	$g_{27}=95,941$
12	$g_{12}=46,243$	28	$g_{28}=100,600$

13	$g_{13}=48,555$	29	$g_{29}=50,526$
14	$g_{14}=50,983$	30	$g_{30}=53,052$
15	$g_{15}=53,532$		



Şekil 8. 2 600 MW gücündeki doğalgaz yakıtlı santral için yıllara göre elektrik üretim maliyetinin değişimi

8.7 600 MW Gücündeki Hidroelektrik Santralının Elektrik Üretim Maliyeti

Yapılan kabuller Çizelge 8.5’de verilmiştir.

Çizelge 8. 5 600 MW gücündeki hidroelektrik santral için yapılan kabuller

Birim Tesis Bedeli	$\$/kW_e$	1200
Yıllık İşletme & Bakım Masrafları (C_{om})	$\$/kW_eYıl$	10
Santral Yük Faktörü (L_f)	%	27
Santral Ömrü (n)	Yıl	30
Faiz Oranı (i)	%	10
Eskalasyon (e)	%	5

Santralin inşaat tutarı,

$$I_k = 1200 \times 600000 = 720 \times 10^6 \$$$

Denklem 8.15 ile amortisman faktörü hesaplanır.

$$AF = 0,10226$$

Sabit yıllık sermaye masrafı;

$$C_k = AF \times I_k = 73,627 \times 10^6 \text{ \$/yıl}$$

Santralde bir yılda üretilen ortalama elektrik enerjisi (8.2);

$$E_e = 1,419 \times 10^9 \text{ kW}_e\text{h/Yıl}$$

Birim enerji başına yatırım maliyeti,

$$g_k = \frac{C_k}{E_e} = 51,8 \text{ mills/kW}_e\text{h}$$

Yıllık bakım onarım masrafı,

$$C_{om} = c_{om} \times N_e = 6 \times 10^6 \text{ \$/yıl}$$

Birim enerji başına bakım onarım maliyeti,

$$g_{om} = \frac{C_{om}}{E_e} = 4,2 \text{ mills/kW}_e\text{h}$$

Yüksek gerilim taşıma hattı masrafları için de 1 mills/kW_eh ilave edersek hidroelektrik santral için toplam elektrik enerjisi maliyeti,

$$g_H = 57 \text{ mills/kW}_e\text{h}$$

Bu bulduğumuz değer bir değere getirilmiş üretim maliyeti olup, bizim maliyetin bugünkü değerine ihtiyacımız vardır. Denklem 8.14 ve 8.15 ile elektrik üretim maliyetinin bugünkü değeri hesaplanır.

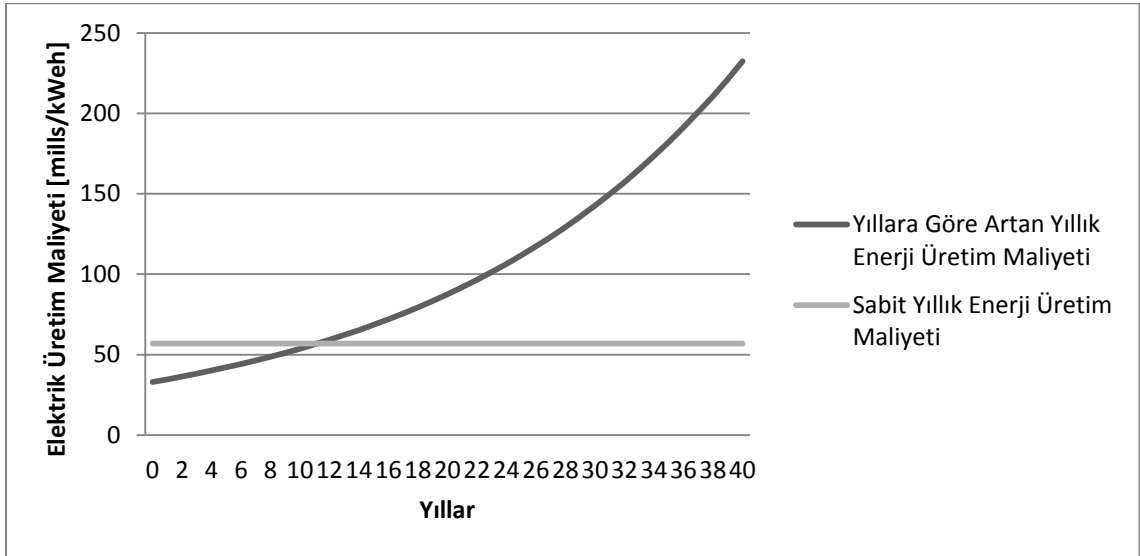
$$g_0 = 33,01 \text{ mills/kW}_e\text{h}$$

Santralin ömrü boyunca elektrik üretim maliyetinin her yılki değişimi (8.16) ile hesaplanmıştır (Çizelge 8.6). Şekil 8.3'de elektrik üretim maliyetinin yıllara göre değişimi görülmektedir.

Çizelge 8. 6 600 MW gücündeki hidroelektrik santralin yıllara göre elektrik üretim maliyetinin değişimi

Yıl	g_n (mills/kWeh)	Yıl	g_n (mills/kWeh)
0	$g_0= 33,01$	21	$g_{21}= 91,965$
1	$g_1=34,661$	22	$g_{22}=96,563$
2	$g_2=36,394$	23	$g_{23}=101,391$
3	$g_3=38,213$	24	$g_{24}=106,461$
4	$g_4=40,124$	25	$g_{25}=111,784$

5	$g_5=42,130$	26	$g_{26}=117,373$
6	$g_6=44,237$	27	$g_{27}=123,241$
7	$g_7=46,448$	28	$g_{28}=129,403$
8	$g_8=48,771$	29	$g_{29}=135,874$
9	$g_9=51,209$	30	$g_{30}=142,667$
10	$g_{10}=53,770$	31	$g_{31}=149,801$
11	$g_{11}=56,458$	32	$g_{32}=157,291$
12	$g_{12}=59,281$	33	$g_{33}=165,155$
13	$g_{13}=62,245$	34	$g_{34}=173,413$
14	$g_{14}=65,358$	35	$g_{35}=182,084$
15	$g_{15}=68,625$	36	$g_{36}=191,188$
16	$g_{16}=72,057$	37	$g_{37}=200,747$
17	$g_{17}=75,660$	38	$g_{38}=210,785$
18	$g_{18}=79,443$	39	$g_{39}=211,324$
19	$g_{19}=83,415$	40	$g_{40}=232,390$
20	$g_{20}=87,585$		



Şekil 8. 3 600 MW gücündeki hidroelektrik santral için yıllara göre elektrik üretim maliyetinin değişimi

8.8 50 MW Gücündeki Rüzgâr Santralinin Elektrik Üretim Maliyeti

Yapılan kabuller Çizelge 8.7'de verilmiştir.

Çizelge 8. 7 50 MW gücündeki rüzgâr santrali için yapılan kabuller

Birim Tesis Bedeli (10 MW'lık santral için)	\$/kW _e	1000
Yıllık İşletme & Bakım Masrafları (C _{om})	\$/kW _e Yıl	10
Santral Yük Faktörü (L _f)	%	20
İnşaat Süresi (T)	Ay	36
Santral Ömrü (n)	Yıl	20
Aylık Faiz Oranı (i _i)	%	0,5
Aylık Eskalasyon (e _a)	%	0,5
Faiz Oranı (i)	%	10
Eskalasyon (e)	%	5

10 MW'lık rüzgâr santrali için birim tesis bedeli 1000 \$/kW_e'tir. O yüzden (8.17) ile 50 MW için tesis bedelini buluruz.

$$C_s = C_{s0} \left(\frac{N_0}{N} \right)^{1-\alpha} \quad (8.17)$$

Burada C_s aradığımız N kapasitesindeki santralin yatırım maliyeti, C_{s0} referans santral yatırım maliyeti, α ise kapasite maliyet üssüdür.

$$C_s = 668 \$/kW_e \text{ olacaktır.}$$

Rüzgâr santralleri için maliyet hesaplarında kullanılan bir formül de inşaat süresince eskalasyon ve faiz etki katsayısıdır (8.18).

$$K = \left[\frac{(1 + i_i)^{T+1} - 1}{i_i} \right] \times \frac{(1 + e_a)^T}{T + 1}$$

Burada, i_i aylık faiz oranı, e_a aylık eskalasyon oranı, T inşaat süresinin ay cinsinden değeridir.

İnşaat süresince eskalasyon ve faiz etki katsayısı,

$$K = 1,31$$

$$I_K = I \times K = 668 \times 10^6 \times 1,31 = 43,754 \times 10^6 \$$$

Amortisman faktörünü hesaplırsak (8.15),

$$AF = 0,117$$

Yıllık sermaye maliyeti,

$$C_k = AF \times I_K = 5,12 \times 10^6 \text{ \$/yıl}$$

Santralde bir yılda üretilen ortalama elektrik enerjisi (8.2);

$$E_e = 87,6 \times 10^9 \text{ kW}_e\text{h/Yıl}$$

Birim enerji başına yatırım maliyeti,

$$g_k = \frac{C_k}{E_e} = 58 \text{ mills/kW}_e\text{h}$$

Yıllık bakım onarım masrafı,

$$C_{om} = c_{om} \times N_e = 1 \times 10^6 \text{ \$/yıl}$$

Birim enerji başına bakım onarım maliyeti,

$$g_{om} = \frac{C_{om}}{E_e} = 11,4 \text{ mills/kW}_e\text{h}$$

Rüzgâr santrali için toplam elektrik enerjisi maliyeti,

$$g_R = 69,4 \text{ mills/kW}_e\text{h}$$

Bu bulduğumuz değer bir değere getirilmiş üretim maliyeti olup, bizim maliyetin bugünkü değerine ihtiyacımız vardır. Denklem 8.14 ve 8.15 ile elektrik üretim maliyetinin bugünkü değerini hesaplarız.

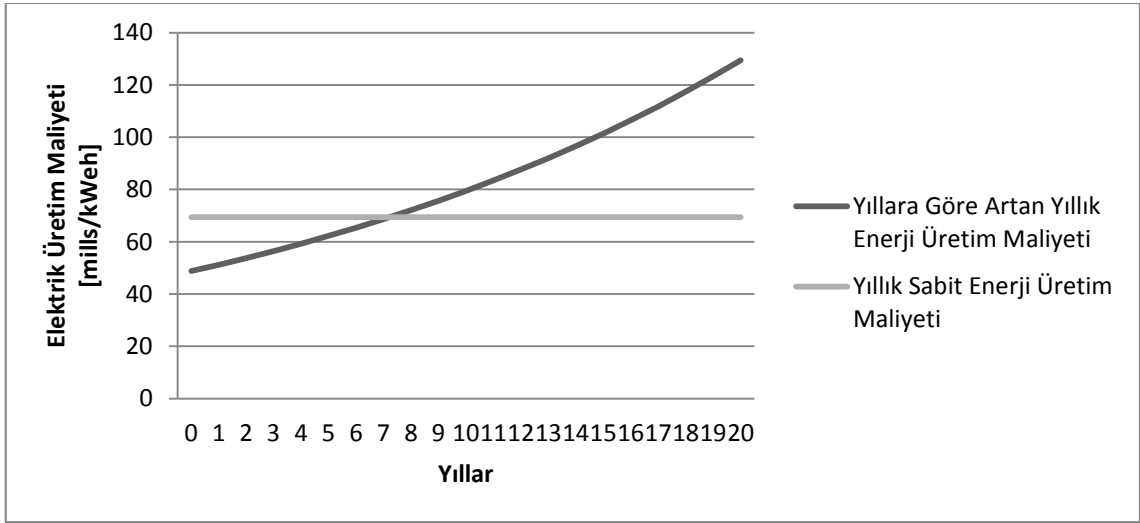
$$g_0 = 48,78 \text{ mills/kW}_e\text{h}$$

Santralin ömrü boyunca elektrik üretim maliyetinin her yılki değişimi (8.16) ile hesaplanmıştır (Çizelge 8.6). Şekil 8.3'de elektrik üretim maliyetinin yıllara göre değişimi görülmektedir.

Çizelge 8. 6 50 MW gücündeki rüzgâr santralinin yıllara göre elektrik üretim maliyetinin değişimi

Yıl	g_n (mills/kWeh)
0	$g_0=48,78$
1	$g_1=51,219$
2	$g_2=53,780$
3	$g_3=56,469$
4	$g_4=59,292$
5	$g_5=62,257$

6	$g_6=65,370$
7	$g_7=68,638$
8	$g_8=72,070$
9	$g_9=75,674$
10	$g_{10}=79,457$
11	$g_{11}=83,430$
12	$g_{12}=87,602$
13	$g_{13}=91,982$
14	$g_{14}=96,581$
15	$g_{15}=101,410$
16	$g_{16}=106,481$
17	$g_{17}=111,805$
18	$g_{18}=117,395$
19	$g_{19}=123,265$
20	$g_{20}=129,428$

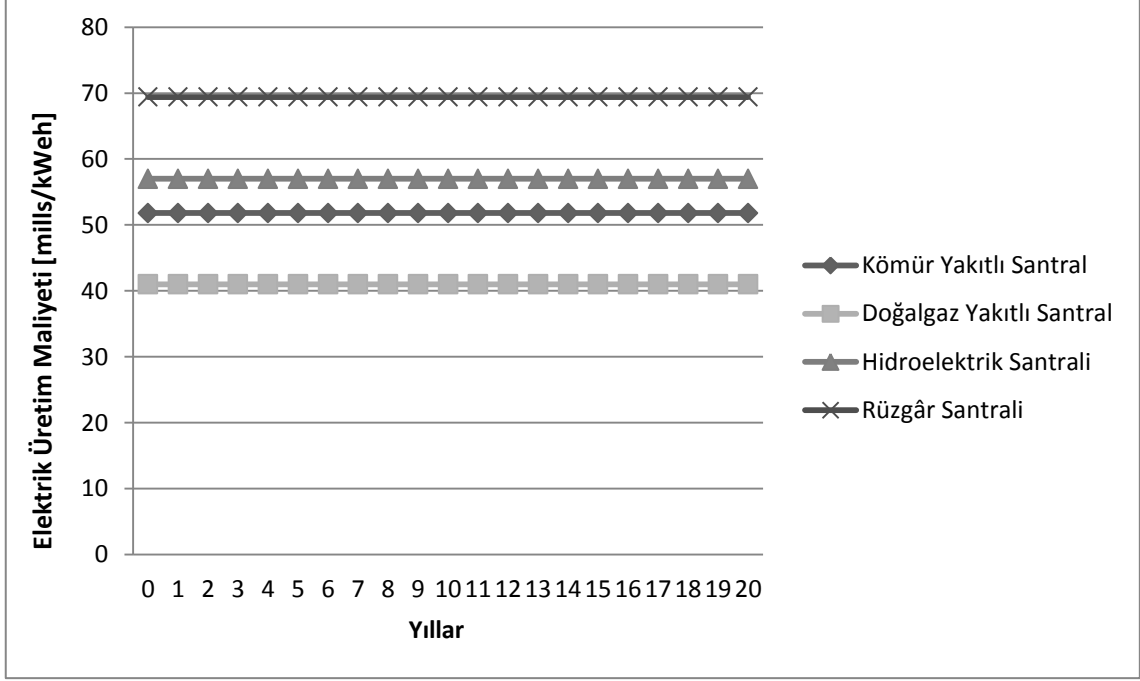


Şekil 8. 4 50 MW gücündeki rüzgâr santrali için yıllara göre elektrik üretim maliyetinin değişimi

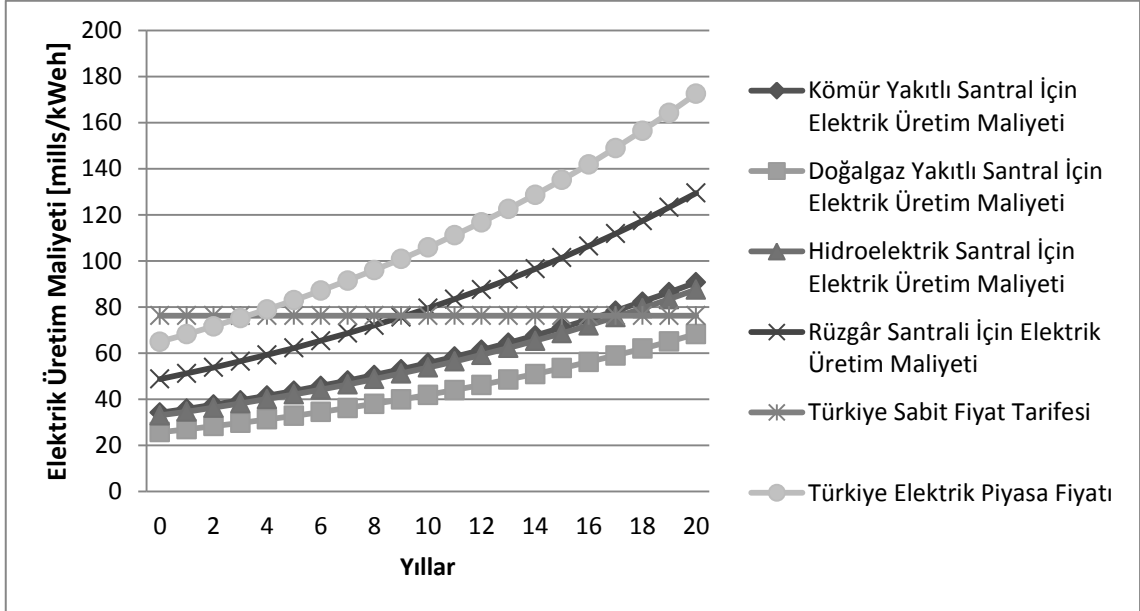
8.9 Rüzgâr Santrallerinin Diğer Sistemlerle Birlikte Çalıştığında Elektrik Üretim Maliyetlerine Etkisi

Yapılan hesaplamalarla da görüldüğü üzere rüzgâr enerjisinin kullanımı hala diğer sistemler içinde maliyet yönünden en pahalı olanıdır (Şekil 8.6). Yük faktörünün düşük olması ve diğer santral tiplerine oranla yıllık daha az saat çalışması tek başına bir bölgenin elektrik ihtiyacının karşılanmasında avantajlı olmadığından tercih edilmeme

sebeplerindedir. Ancak rüzgâr enerjisini diğer sistemlere entegre şekilde kullanırsak ve onlara destek olarak çalışırlarsa kömür yakıtlı, doğalgaz yakıtlı ve hidroelektrik santrallerinin üretim maliyetlerinin nasıl değişeceğini hesaplayıp, hangisinin daha avantajlı olacağını görelim.



Şekil 8. 5 İlk yirmi yıl için santrallerin sabit yıllık enerji üretim maliyetleri



Şekil 8. 6 İlk yirmi yıl için santrallerin yıllara göre değişen elektrik üretim maliyetleri

Türkiye'deki kurulu güçleri ele aldığımızda bulduğumuz değerlerin toplam elektrik üretim maliyetlerini nasıl etkilediğini ve rüzgâr santralının diğer sistemlerle birlikte

çalıştığında elektrik üretim maliyetlerinin nasıl etkilendiğini görmek için (8.18) denklemini kullandık. Buna da havuz maliyeti adını verdik.

$$g = \frac{(g_K \times E_K) + (g_D \times E_D) + (g_H \times E_H) + (g_R + E_R)}{(E_K + E_D + E_H + E_R)} \quad (8.18)$$

Çizelge 8.7’de TEİAŞ’ın verilerine göre 2009 yılı kurulu santral güçleri gösterilmiştir.

Çizelge 8. 7 TEİAŞ verilerine göre 2009 yılı Türkiye’deki santrallerin kurulu güçleri

Santral Türleri	Kurulu Güç (MW)
Kömür Yakıtlı Santraller	11755
Doğalgaz Yakıtlı Santraller	16221
Hidroelektrik Santraller	16170
Rüzgâr Santralleri	1358

Kurulu güçlere göre bütün santrallerin bir yılda ürettikleri elektrik miktarı (8.2) ile hesaplandı.

$$E_K = 82,38 \times 10^9 kW_e h / Yıl$$

$$E_D = 120,78 \times 10^9 kW_e h / Yıl$$

$$E_H = 38,24 \times 10^9 kW_e h / Yıl$$

$$E_R = 2,38 \times 10^9 kW_e h / Yıl$$

Tüm Türkiye için 2009 yılı değerlerine göre bir elektrik üretim maliyeti hesaplamak istersek (8.18),

$$g = 29,96 \text{ mills} / kW_e h \text{ olacaktır.}$$

Kömür yakıtlı santral ve rüzgâr enerjisi santrali birlikte çalıştığında kömürlü santral kurulu gücü olan 11755 MW’lık gücün 1358 MW’lık kısmı rüzgârdan karşılanacak, bu yüzden kömürlü santralin de yük faktörü 0,6 olacaktır. Yük faktörü değiştiğinde bu santralde üretilen elektrik miktarı da değişecektir. Yük faktörü ve güç miktarı değişirse üretilen toplam elektrik miktarı,

$E_K = 54,64 \times 10^9 kW_e h/Yıl$ olacaktır. 600 MW'lık santral örneğinden elde ettiğimiz birim elektrik üretim fiyatı da güç ve yük faktörü değiştiği için değişecektir. Ancak kurulu güç arttıkça üretilen elektriğin miktarı ve masraflar da birlikte artacağından bulunan değerler birbirine yakın olacaktır. Bu yüzden 600 MW'lık santral için bulunan değerler bu aşamada da kullanıldı.

Rüzgâr santrali ve kömür yakıtlı santral birlikte çalıştığında oluşacak yeni maliyet Denklem 8.18'in bu iki santral için uygulanmasıyla bulunabilir.

$$g_{K+R} = \frac{(g_K \times E_K) + (g_R + E_R)}{(E_K + E_R)} = 34,806 \text{ mills}/kW_e h$$

Görüldüğü gibi rüzgâr santralinin sisteme eklenmesiyle maliyet 0,608 mills artmıştır.

Doğalgaz yakıtlı santral ve rüzgâr enerjisi santrali birlikte çalıştığında doğalgaz yakıtlı santral kurulu gücü olan 16221 MW'lık gücün 1358 MW'lık kısmı rüzgârdan karşılanacak, bu yüzden doğalgaz yakıtlı santralin de yük faktörü 0,65 olacaktır. Yük faktörü değiştiğinde bu santralde üretilen elektrik miktarı da değişecektir. Yük faktörü ve güç miktarı değişirse üretilen toplam elektrik miktarı,

$E_D = 84,63 \times 10^9 kW_e h/Yıl$ olacaktır. 600 MW'lık santral örneğinden elde ettiğimiz birim elektrik üretim fiyatı da güç ve yük faktörü değiştiği için değişecektir. Ancak kurulu güç arttıkça üretilen elektriğin miktarı ve masraflar da birlikte artacağından bulunan değerler birbirine yakın olacaktır. Bu yüzden 600 MW'lık santral için bulunan değerler bu aşamada da kullanıldı.

Rüzgâr santrali ve doğalgaz yakıtlı santral birlikte çalıştığında oluşacak yeni maliyet Denklem 8.18'in bu iki santral için uygulanmasıyla bulunabilir.

$$g_{D+R} = \frac{(g_D \times E_D) + (g_R + E_R)}{(E_D + E_R)} = 26,37 \text{ mills}/kW_e h$$

Görüldüğü gibi rüzgâr santralinin sisteme eklenmesiyle maliyet 0,62 mills artmıştır.

Hidroelektrik santrali ve rüzgâr enerjisi santrali birlikte çalıştığında hidroelektrik santral kurulu gücü olan 16170 MW'lık gücün 1358 MW'lık kısmı rüzgârdan karşılanacaktır. Hidroelektrik için güç miktarı değiştiğinden bu santralde üretilen elektrik miktarı da değişecektir. Güç miktarı değişirse üretilen toplam elektrik miktarı,

$E_H = 35,03 \times 10^9 kW_e h/Yıl$ olacaktır. Rüzgâr santrali ve hidroelektrik santral birlikte çalıştığında oluşacak yeni maliyet Denklem 8.18'in bu iki santral için uygulanmasıyla bulunabilir.

$$g_{H+R} = \frac{(g_H \times E_H) + (g_R + E_R)}{(E_H + E_R)} = 34,01 \text{ mills}/kW_e h$$

Görüldüğü gibi rüzgâr enerjisi santralının sisteme eklenmesi maliyeti 1 mills/kWeh arttırmıştır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji talebinin hızla artması ve bununla birlikte fosil yakıtların da gelecek yıllarda tükenecek olması yenilenebilir enerji kullanımının artmasına sebep olmuştur. Rüzgâr enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları içinde çevreye en az zarar veren ve kurulum maliyetleri yüksek olmasına rağmen işletme maliyetleri en düşük olan enerji kaynağıdır. Bu tezde Avrupa ülkelerinde ve ülkemizde rüzgâr enerjisine verilen teşvikler hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca rüzgâr enerjisinden elde edilen elektriğin üretim maliyetleri hesaplanmış ve detaylı olarak kömür yakıtlı santrallerde, doğalgaz yakıtlı santrallerde ve hidroelektrik santrallerde üretilen elektriğin maliyetiyle karşılaştırılmıştır. Yapılan hesaplarda rüzgâr santraliyle karşılaştırılan bütün santraller aynı kapasitede kabul edildi. Kullandığımız değerler ise detaylı değerler olmamakla birlikte halihazırda kurulu olan santrallerde kullanılan değerler esas alınarak yaklaşık seçilmiştir. Rüzgâr enerjisinin elektrik üretim maliyeti diğer santrallere göre pahalı gibi görünse de sisteme dahil edilen rüzgâr hızı ve santralin kurulacağı yere göre maliyetler daha da düşük seviyelere inebilir.

Ancak rüzgâr enerjisinin süreksiz bir enerji olması ve bu sorunun en aza indirgenmesi , mevcut enerji üretim sistemleriyle entegre çalışmasını gerektirir. Bu çalışmada Türkiye 2009 yılı santral kurulu güçlerini göz önüne alarak, her bir santral için önce ayrı ayrı elektrik üretim maliyetlerini hesaplayıp tüm ülke için bir havuz maliyeti hesaplandı. Daha sonra da rüzgârın kurulu güç içindeki oranına göre maliyetini hesaplanıp, her bir santralle ayrı ayrı çalıştığında bu maliyetin nasıl etkilendiği incelendi. Yapılan hesaplamalar sonucunda rüzgâr santrali kömür yakıtlı santralle birlikte çalıştığında

maliyeti 0,608 mills/kW_eh ,doğalgaz yakıtlı santralle çalıştığında maliyeti 0,62 mills/kW_eh, hidrolik santralle birlikte çalıştığında ise maliyeti 1 mills/kW_eh arttırdığı görüldü.

Normal şartlarda elektrik ihtiyacı karşılanmasında diğer santrallere göre daha pahalıya elektrik enerjisi üreten ve süreksizliği olan rüzgâr santrallerinin, diğer santrallerle birlikte entegre olarak çalıştığında ve ihtiyaç anında kullanıldıklarında çok daha ekonomik oldukları görülmektedir.

Günümüzde hızla artan enerji talebiyle birlikte, günlük pik yük ihtiyacı da artmaktadır. Ülkemizde de hidroelektrik santraller pik yükleri karşılamaktadır. Rüzgâr santrallerinden elde edilen enerjiyi daha güvenilir hale getirmek için hidroelektrik santralle birlikte rüzgâr enerjisi santrali uygun bir yer seçilip kurularak tahmin edilen fiyatlardan da düşük fiyatlarla elektrik enerjisi elde edilebilir. Böylece yenilenebilir enerji kaynakları birlikte kullanılarak yerli enerji üretilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Şen, Z., (2002). Temiz Enerji ve Kaynakları, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- [2] MMO, (2008). Yenilenebilir Enerji Kaynakları Oda Raporu, Yayın No: MMO/2008/479, Ankara.
- [3] BP, (2011). British Petrol Statistical Review of World Energy
- [4] DEK – TMK, (2010). Enerji Raporu 2010, Yayın No: 0017/2010, Ankara.
- [5] EÜAŞ, (2010). Enerji Üretim Sektör Raporu.
- [6] MMO, (2010). Türkiye'nin Enerji Görünümü Oda Raporu, Yayın No: MMO/2010/528, Ankara.
- [7] ETKB. Mavi Kitap, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Bağlı ve İlgili Kuruluşlar Dairesi Başkanlığı, <http://www.enerji.gov.tr/>, 20 Haziran 2011.
- [8] TEİAŞ, Türkiye Elektrik İstatistikleri Türkiye Kurulu Güç ve Üretim Yıllar İtibariyle Gelişimi (1970 – 2009), <http://www.teias.gov.tr/>, 30 Mayıs 2011.
- [9] EÜAŞ, <http://www.euas.gov.tr/>, 30 Mayıs 2011.
- [10] T.C. İstanbul İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, (2006). İstanbul Çevre Durum Raporu 2005, İstanbul.
- [11] REN21, (2010). Renewables 2010 Global Status Report.
- [12] DEK – TMK, (2009). Türkiye Enerji Raporu 2009, Yayın No: 0013/2009, Ankara.
- [13] Kısar, A., O., Rüzgârdan Enerji Üretimi ve Rüzgâr Türbinlerinin Evrimi, http://www.emo.org.tr/ekler/86f1c29518c700e_ek.pdf?dergi=5, 5 Nisan 2011.
- [14] Mehel, N., (2009). Dünya ve Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli, Kullanımı ve Almanya – Türkiye Karşılaştırması, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir.
- [15] NREL, (2006). Wind Energy Information Guide.
- [16] Taç Altuntaşoğlu, Z., (2006). Rüzgâr Enerjisi, Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Türkiye Çevre Vakfı Yayınları, Ankara.

- [17] TTGV, (2010). İleri Teknoloji Projeleri (İTEP) Destek Programı Raporu, Yenilenebilir Enerji Üretim, Depolama ve Dağıtımına Yönelik Teknolojiler, Ankara.
- [18] Cansın, Y., ve Sohtaoglu, N., H., (2009). OECD/IEA Ülkelerinin Ar - Ge Harcamalarındaki Eğilimler Kapsamında Yenilenebilir Enerji Teknolojilerindeki Gelişmelerin İncelenmesi, V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 19 – 21 Haziran 2009, Diyarbakır.
- [19] GWEC, (2010). Global Wind Report Annual Market Update 2010.
- [20] EWEA, (2010). Annual Statistics 2010.
- [21] Malkoç, Y., (2007). Türkiye Elektrik Enerjisinin Karşılanmasında Rüzgâr Enerjisinin Yeri, IV. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 23 – 24 Kasım 2007, Kayseri.
- [22] TÜREB, Türkiye’deki İşletmede Olan Rüzgâr Santralleri (01.03.2011), <http://www.ruzgarenerjisibirliigi.org.tr>, 3 Temmuz 2011.
- [23] Gökçınar, R., E., (2008). Rüzgâr Enerjisi Maliyeti ve Teşvikleri, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu (UTES’2008), 17 – 19 Aralık 2008, İstanbul.
- [24] Selvitop, Ö., (2011). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Teşvik Yöntemleri: Ülkemiz ve AB Ülkelerindeki Durum, 17. Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı (ICCI), 15 – 17 Haziran 2011, İstanbul.
- [25] EWEA, (2004). Volume 5 “ Market Incentives” .
- [26] Durak, M., Avrupa Ülkelerinde Rüzgâr Enerjisi Yatırımlarına Verilen Teşvikler ve Türkiye İçin Öneriler, <http://ulutek.uludag.edu.tr/downloads/ruzgarenerjisitesvikler.pdf>, 10 Mayıs 2011.
- [27] EÜAŞ, (2010). EÜAŞ 2010 Yıllık Rapor.
- [28] DEK – TMK, (2009). 2007 – 2008 Türkiye Enerji Raporu, Yayın No: 0009/2009, Ankara.
- [29] ETKB, (2010). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2010 – 2011 Stratejik Plan.
- [30] Ertuğrul, Ö., F., ve Kurt, B., (2009). Yenilenebilir Enerji Kaynakları Maliyet Analizi ve Sürdürülebilir YEK Uygulamaları, V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 19 – 21 Haziran 2009, Diyarbakır.
- [31] EİE, (2008). Rüzgâr Enerjisi Çalışması, http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/ruzgar/ruzgar_index.html, 18 Haziran 2011.
- [32] Aybers, N., ve Şahin, B., (1995). Enerji Maliyeti, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayını, İstanbul.
- [33] Wind Energy The Facts, The Economics of Wind Power, <http://www.wind-energy-the-facts.org/documents/download/Chapter3.pdf>, 3 Temmuz 2011.
- [34] EWEA, (2009). Economics of Wind Energy.

- [35] GYTE Rüzgâr Enerjisi Araştırma Merkezi, <http://web.gyte.edu.tr/enerji/ruzgarenerjisi/s5.html>, 18 Haziran 2011.
- [36] Durak, M., (2010). 2009 Yılı Sonu İtibari ile Dünya’da ve ülkemizde Rüzgâr Elektrik Santral (RES) Projelerinin Son Durumu, 16. Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı, 13 Mayıs 2010, İstanbul.
- [37] Aras Mühendislik, Hizmetler, Rüzgâr Enerjisi, http://www.arasmuhendislik.com/ruzgar_enerjisi.asp, 20 Şubat 2011.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Gülnur ARSLANOĞLU
Doğum Tarihi ve Yeri : 15.06.1988/Üsküdar
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : gulnur_a@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Mühendisliği	Sakarya Üniversitesi	2009
Lise	Fen Bilimleri	Kenan Evren Anadolu Lisesi	2005

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2007	Ford Otosan A.Ş.	Stajyer
2008	Tırsan Treyler A.Ş.	Stajyer