

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RÜZGAR ENERJİSİ VE RÜZGAR ENERJİSİNDEN  
ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİM MALİYETİ**

**Elektrik Mühendisi Yeşim YAKAR**

93697

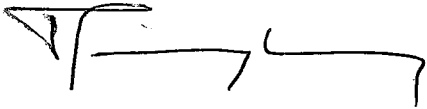
**F.B.E. Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**



**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Ferit ATTAR**

Prof. Dr. Hüseyin ŞAKIR



Doç. Dr. Şerafettin ÜZBEY



**İSTANBUL, 2000**

**EC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ŞEKİL LİSTESİ.....	ii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	iii
ÖNSÖZ.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
1 GİRİŞ.....	1
2. ENERJİ KAYNAKLARI.....	2
2.1 Fosil Yakıtlar.....	2
2.1.1 Petrol.....	2
2.1.2 Taşkömürü ve linyit.....	2
2.1.3 Doğal gaz.....	3
2.2 Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	4
2.2.1 Hidrolik enerji.....	4
2.2.2 Nükleer enerji.....	4
2.2.2.1 Nükleer enerji nedir.....	4
2.2.2.2 Dünyada nükleer enerjinin kullanımı.....	5
2.2.2.3 Nükleer enerjinin sebep olduğu sorunlar.....	7
2.2.3 Güneş enerjisi.....	11
2.2.4 Rüzgar enerjisi.....	12
2.2.5 Jeotermal enerji.....	12
2.3 Türkiye'nin Enerji Durumu.....	13
3. RÜZGAR ENERJİSİ.....	16
3.1 Rüzgar Enerjisi Kullanımının Gerekliliği ve Dünya Genelinde Durumu.....	16
3.2 Rüzgar Enerjisinin Tarihçesi ve Gelişimi.....	19
3.3 Rüzgar Enerjisi Teknolojilerinde Türkiye'deki Durum ve Gelişmeler.....	21
3.4 Rüzgar Enerjisi Teknolojisinde Almanya Emdren Bölgesi Örneği.....	25
3.5 Rüzgar Enerjisi Potansiyellerinin Belirlenmesi.....	26
3.5.1 Rüzgar potansiyellerinin hesaplanmasıyla ilgili bir çalışma.....	27
3.6 Rüzgar Enerjisi ve Çevre.....	29
3.7 Rüzgar Enerjisi Dönüşüm Sistemleri.....	33
3.7.1 Uygun bölge seçimi.....	33
3.7.2 Rüzgar santralleri teknolojisi.....	35
3.7.3 Türbin tipleri.....	37
4. RÜZGAR SANTRALİ MALİYETLERİ.....	43
4.1 Dünya Genelinde Rüzgar Santrali Maliyetlerine Ait Bilgiler.....	43

4.2	Ülkemizde Rüzgar Enerjisi Yatırımları .....	49
4.3	Bir Rüzgar Enerjisi Santralinde Toplam Yatırım Tutarını Oluşturan Faktörler.....	51
4.4	Bir Rüzgar Enerjisi Santralinde Yıllık İşletme Giderlerini Etkileyen Faktörler....	51
5.	RÜZGAR SANTRALİ MALİYETLERİNE İLİŞKİN SAYISAL UYGULAMA	53
6.	SONUÇ ve DEĞERLENDİRME .....	58
KAYNAKLAR .....		59
ÖZGEÇMİŞ .....		62



## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1	Türkiye uzun yıllar ortalama rüzgar hızları dağılımı .....	23
Şekil 3.2	Türkiye için önerilen rüzgar kurulu gücü ve enerji üretimi .....	25
Şekil 3.3a	Bandırma rüzgar gülü .....	27
Şekil 3.3b	Bandırma rüzgar hız histogramı .....	28
Şekil 3.4	Sera etkisinin şematik gösterimi .....	30
Şekil 3.5	Bir rüzgar türbini teknesi içi .....	36
Şekil 3.6	Rotor çapı aynı olan değişik rüzgar türbinlerinin içi .....	37
Şekil 3.7	İleri ve geri rüzgarlı yatay eksenli türbinler .....	38
Şekil 3.8	Dikey eksenli rüzgar türbini .....	39
Şekil 3.9	Rüzgar enerjisi dönüştürme sistemleri ve bileşenleri .....	40
Şekil 3.10	Esnek rotor konfigürasyonları .....	41
Şekil 3.11	Deniz üstü rüzgar türbinleri ve dip yapıları .....	42
Şekil 4.1	Rüzgardan üretilen elektriğin MWh / yıl maliyetinin trendi .....	43
Şekil 4.2	Türbin fiyatları trendi .....	44
Şekil 4.3	Rotor süpürme alanının metrekaresine düşen kurulma maliyeti trendi .....	45

## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	Ülkelere göre nükleer güç dağılımı.....	6
Çizelge 2.2	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve TEAŞ tarafından yapılan elektrik enerjisi planlama çalışması .....	15
Çizelge 3.1	Dünya rüzgar enerjisi kurulu gücü ve 2002 yılı hedef kapasiteleri .....	18
Çizelge 3.2	Çeşme istasyonu noktasal analiz sonuçları özet çizelgesi.....	28
Çizelge 3.3	Çalışma alanı içinde seçilmiş bazı yerler için hesaplanan ortalama rüzgar hızı, enerji yoğunluğu ve üretilebilecek yıllık enerji miktarları .....	29
Çizelge 3.4	Küresel ısınmaya yol açan karbondioksit için elektrik üretimi sırasında karşılaştırmalı emisyonlar.....	32
Çizelge 3.5	Asit yağmuruna yol açan kükürtdioksit için elektrik üretimi sırasında karşılaştırmalı emisyonlar.....	32
Çizelge 3.6	Asit yağmuruna ve duman oluşumuna yol açan azot oksitler için elektrik üretimi sırasında karşılaştırmalı emisyonlar .....	33
Çizelge 4.1	Temel yakıt tiplerinin maliyetinin rüzgar enerjisi ile karşılaştırılması.....	46
Çizelge 4.3	30 MW'lık örnek bir rüzgar santraline ait kar ve finans tablosu.....	48
Çizelge 4.4	Türkiye'de rüzgarenerjisi yatırımları.....	50
Çizelge 5.1	Rüzgarsantrali fizibilite hesapları .....	54
Çizelge 5.2	2500 kW kurulu güçteki örnek bir rüzgar santraline ait kar ve finans tablosu.	56

## ÖNSÖZ

Bu tezin tamamlanmasında, yoğun çalışma temposu arasında benden değerli yardımlarını esirgemeyen danışmanım, Sayın Yrd. Doç. Dr. Ferit Attar'a, ayrıca yine desteklerinden ve yardımlarından ötürü, Sayın Doç.Dr. Celal Kocatepe'ye,

1 yıldan beri Transtek A.Ş.'de birlikte çalışmakta olduğum Müdürüm Sayın Kemal Necefbaş'a ve mesai arkadaşım Beyhan Önderoğlu'na,

Arkadaş ve meslektaş olarak çok değerli desteklerini ve yardımlarını gördüğüm Sayın Ahmet Sarıkaya'ya, Sayın Mustafa Baysal'a, Sayın Özkan Çakır'a ve Sayın Nuh Erdoğan'a;

Ve hayatımın her döneminde olduğu gibi bu çalışmamda da, başlangıç aşamasından sonuna kadar beni sürekli destekleyerek, moral vererek, yardımcı olarak ve sabır göstererek başarımda büyük payı olan anneme, babama ve ablama en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yeşim YAKAR

## ÖZET

Ülkemizde ve dünyada hızla artan enerji ihtiyacı, bu artış karşısında mevcut tükenir enerji kaynaklarındaki azalma ve bazı kaynakların yol açtığı çevresel sorunlar; yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarını gündeme getirmiştir.

Bu amaçla, öncelikle enerji kaynakları incelenmiş olup; kaynakların şu andaki ve gelecekteki potansiyelleri üzerinde durulmuştur.

Rüzgar enerjisinin Dünya'daki ve Türkiye'deki durumu ve bu sınırsız enerji kaynağı ile ilgili gelişmeler incelenmiş, rüzgar türbinleri teknolojileri üzerinde durulmuş, bir rüzgar santrali kurarken dikkat edilmesi ve incelenmesi gereken hususlar araştırılmıştır.

Dünya genelinde rüzgar santrali maliyetleri ve zaman içerisinde bu maliyetlerdeki azalmalar incelenmiştir. Türkiye'deki rüzgar enerjisi yatırımlarına yer verilmiştir. Mevcut birim maliyetler kullanılarak, bir rüzgar enerjisi santralinde toplam yatırım tutarını oluşturan ve yıllık işletme giderlerini etkileyen faktörler göz önüne alınarak 7 MW kurulu güçteki bir işletme için olan hesaplama sonuçları verilmiştir.

## **ABSTRACT**

New and renewable energy resources are currently issued by the increasing demand on energy in our country and worldwide. The decrease in these current energy sources according to that demand and enviromental problem caused by some resources.

In this purpose; first of all, energy resources are researched and the situation of the resources, today and in the future, has been pointed out.

The state of the wind energy in Turkey and in the world and the developments about this endless energy resource are examined, wind turbine technologies and the points that are necessary to establish wind power plant have been discussed.

Worldwide, wind powerplant cost and the decreases on these costs at that time have been researched. The investments on the wind energy in Turkey are situated. Using current costs units and by taking on the factors that effect the annual industrial costs and that make total investment costs, the calculation results that belong to a industry with a 7 MW established, are given.

## 1. GİRİŞ

Dünya üzerinde; özellikle de nüfusun yoğun ve artmakta olduğu yerlerde enerji ihtiyacı da her geçen gün hızla artmakta, bu enerji açığını kapatabilmek için artık sınırlı, tükenir enerji kaynaklarını kullanmanın yanı sıra yenilenebilir kaynaklara yönelmenin gerekliliği göze çarpmaktadır.

Rüzgar enerjisi, son yıllarda yenilenebilir kaynaklar arasında en önemli yeri teşkil eden ve teknolojik gelişmeleri açısından da oldukça önemli adımlar atılmış bir kaynak durumundadır. Bunun en önemli sebepleri arasında; sınırsız, tükenmez, doğal ve öz kaynak oluşu yani başka bir ülkeye enerji hammaddesi açısından bağımlılık yaratmaması sayılabilir.

Bunların dışında, hava kirliliğine ve küresel ısınmaya yol açan hiçbir etkisi bulunmamakta olup, çevre dostu olarak nitelendirilmektedir.

Rüzgar santrali kurma maliyetleri, son yıllarda yapılan çalışmalar ve teknolojik gelişmeler sayesinde hızla düşmüş, bu nedenle rüzgar potansiyeline sahip ülkeler için değerlendirilmesi gereken önemli bir kaynak haline gelmiştir.

Ülkemiz de, üç tarafının denizlerle çevrili olması nedeniyle zengin bir potansiyele sahiptir. Yapılan uzun süreli ölçümler bunun göstermektedir.

Bu çalışmada; enerji kaynakları incelenmiş, rüzgar enerjisinin Türkiye’de ve Dünyadaki potansiyeli ve teknolojik gelişmeler araştırılmış olup, dünya genelinde rüzgar enerjisi maliyetlerinin eski ve şimdiki seviyeleri değerlendirilmiş; maliyetleri etkileyen faktörler incelenmiş, rüzgar santrallerine ait sayısal örnekler verilmiştir.

## **2. ENERJİ KAYNAKLARI**

### **2.1 Fosil Yakıtlar**

#### **2.1.1 Petrol**

Dünyada enerji ihtiyacının yaklaşık %45'i petrolden karşılanmaktadır. 1990 istatistiklerine göre dünya petrol üretiminin %76'sını gerçekleştiren ülkeler arasında ilk sırayı %26,4'lük payla Orta Doğu Ülkeleri almaktadır.

Günümüz teknolojileri petrol kökenlidir. Fakat petrol kaynaklarının önümüzdeki 30-40 yıl içinde tükeneceği tahmin edilmektedir. 1973'lü yıllardan sonra petrol fiyatları artmaya başlamış, petrol dış alımı yapan ülkeler ekonomik açıdan darboğazla karşılaşmıştır. Ayrıca bu durum, dış alım yapan ülkeleri enerji kaynağı açısından petrol ihraç eden ülkelere bağımlı kılmaktadır.

Türkiye her yıl yaklaşık 20 milyon ton ham petrol ithali yaparak, 2,5 milyar dolar ödemektedir (İzdeş vd.,1998). Bu yüzden artık petrole yönelik teknolojiler yerine; potansiyeli fazla olan, mevcut yenilenebilir, sınırsız öz enerji kaynaklarımız üzerine yoğunlaşmanın gerekliliği görülmektedir.

#### **2.1.2 Taşkömürü ve linyit**

Dünyada en büyük rezerve sahip fosil yakıt, kömürdür. Taşkömürü üreticisi ülkelerin başında %32,1 ile Çin gelmektedir. Linyit üretiminde ise %22,5 ile ABD ilk sıradadır.

Türkiye'nin taşkömürü yatakları açısından en zengin bölgesi Zonguldak'tır. Türkiye genelindeki linyit rezervlerinin yarıdan fazlası, 1500 Kcal/kg gibi oldukça düşük bir ısı değere sahiptir. 3000 Kcal/kg ve üstü ısı değere sahip linyit rezervleri ise toplamın %7'sine tekabül etmektedir. Bu yüzden üretilen linyitin büyük bölümü ısınma yerine elektrik üretiminde kullanılmaktadır.

Kömür; açığa çıkardığı azot ve kükürt oksitler ve asit yağmurları nedeniyle çevre için büyük sakınca oluşturmaktadır. Yakılan kömür, çok büyük miktarda karbondioksit oluşumuna sebep olmakta, bu da yeryüzünden ısı biçiminde uzaya giden radyasyonu önleyerek sera etkisiyle yeryüzü sıcaklığının artmasına sebep olmaktadır. Bu durum, bilim adamları tarafından çok olumsuz olarak değerlendirilmekte, ileride anormal iklim değişikliklerine yol açacağı öngörülmektedir (İzdeş vd.,1998).

İklimdeki ani değişmeler ve atmosferdeki ısınmanın hızlı bir şekilde artması; kutuplardaki buzulların erimeye başlamasına yol açmakta ; bu da deniz seviyesinin yükselerek bazı adaları ve kıyıları su basmasına sebep olmaktadır. Ani fırtınalar ve şiddetli yağışlar, tarım topraklarına zarar vermekte, can ve mal kayıplarına sebep olmaktadır. Diğer taraftan uzun süren kuraklıklar neticesinde, çöller genişlemekte, su kaynakları kurumakta, kurak araziler çöle dönüşmektedir (Alpan,1999).

### 2.1.3 Doğal gaz

Bilinen fosil yakıtların en temizidir. Dünyanın en büyük doğal gaz rezervine sahip ülkeleri; Eski SSCB, İran, Birleşik Arap Emirlikleri, ABD, Suudi Arabistan, Katar, Cezayir, Venezüella, Kanada, Nijerya, Endonezya ve Libya'dır.

Doğal gaz, hızla artan çevre ve atmosfer kirliliği nedeniyle önemi artan ve alternatif olarak düşünölen bir enerji kaynağı olma özelliğe sahiptir. TPAO; 1976 yılında, ilk kez Türkiye kaynaklı doğal gaz üretimi için teşebböslere başlamış olup, 1980'li yıllarda da gaz talep tahmini ve benzeri çalışmalar, BOTAS tarafından gerçekleştirilmiştir (Türkyılmaz, 1999).

Doğal gaz, özellikle kış aylarında aşırı değerlere ulaşan hava kirliliğine çözüm olarak görölmüş ve ilk olarak 1987 Haziran ayında Hamitabat Kombine Çevrim Santrali'nde elektrik üretimi için kullanılmaya başlanmıştır. 1987 yılında 430 milyon m<sup>3</sup>'ü Rusya'dan olmak üzere toplam 513 milyon m<sup>3</sup> doğal gaz ithal edilmiştir. Bu doğal gazın %100'ü elektrik enerjisi üretiminde kullanılmıştır. İthal edilen doğal gazın 1990 yılında %70'i ( 2.555 milyon m<sup>3</sup>), 1992 yılında %58 (2.558 milyon m<sup>3</sup>), 1996 yılında %53'ü (4.050 milyon m<sup>3</sup>) elektrik enerjisi üretiminde kullanılmıştır (İzdeş vd.,1998).

Ucuzluğu, kullanımdaki kolaylığı, temizliği ile avantaj sağlamasına rağmen; bazı açılardan riskli bir enerji kaynağı olduğu görölmektedir. Bugün yaklaşık 10 milyar m<sup>3</sup> olan doğal gaz ithalatinin % 75-80'i Rusya'dan, kalanı Cezayir ve diğer ölkelerden yapılmaktadır. Stratejik bağımlılığın yanı sıra biten bir kaynak olması nedeniyle doğal gaz, fiyat açısından da risklidir. Bugünkü üretim ve tüketim rakamlarına göre, doğal gazın 62 yıllık ömrünün var olduğu bilinmektedir. Ancak tüketim hızındaki aşırı artış, bu ömrün çok daha kısılacacağı fikrini düşöndürmektedir. Dolayısıyla böylesine hızlı tükenen bir kaynağın fiyatının da artacağı çok net bir gerçektir. Bu risk sadece ölkemiz için değil, yine doğal gaza bağımlı olan bazı Avrupa ölkeleri ve Amerika için de geçerlidir.

## 2.2 Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları

### 2.2.1 Hidrolik enerji

Hidrolik enerji kaynağının yeri ve tüketim alanları farklı yerler olması nedeniyle enerji kayıplarının bazen fazla olduğu bilinse de; yine de yenilenebilir enerji kaynakları arasında en büyük çapta kullanılmakta olanıdır (Aybers ve Şahin,1995).

Üretilen enerji miktarı; suyun debi ve düşü değişkenlerine bağlıdır. Bir hidroelektrik santralin en sakıncalı tarafı yük faktörünün su rejimine bağlı olarak değişken ve oldukça düşük olmasıdır (Ültanır, 1999).

Ayrıca; suyun sınırlı oluşunun,doğal çevre dengelerinin ve ekolojik dengelerin bozulması gibi ciddi anlamdaki problemlere yol açacağı düşünülerek; bir çok çevre korumacısı tarafından barajlara karşı çıkılmaktadır (İzdeş vd.,1998).

Hidroelektrik enerji, suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi ile elde edilir. Suyun potansiyel enerjisi türbinde kinetik enerjiye, türbine akupile edilmiş generatör aracılığıyla da elektrik enerjisine dönüştürülmektedir.

Bir hidrolik santralin masrafları; arazi ve su hakları bedeli, baraj inşaatı, santralin mekanik aksamı, cebri boru, transformatör ve taşıma hatları masraflarıdır. Bu santraller; genellikle elektrik yük merkezlerine uzak olduklarından yüksek gerilim taşıma hatları için amortisman ve bakım masrafları da enerji maliyetine yansıtılmalıdır. Hidrolik santrallerde yakıt masrafı olmadığından giderler; sigorta, vergi, amortisman bedeli, işletme ve bakım masraflarıdır (Aybers ve Şahin, 1995).

### 2.2.2 Nükleer enerji

#### 2.2.2.1 Nükleer enerji nedir?

Bir nükleer tepkimede, yani herhangi bir atom çekirdeğinde bazı değişikliklere yol açan bir tepkimede açığa çıkan enerjiye, nükleer enerji ya da çekirdek enerjisi denir. Normal bir kimyasal tepkimede, bu tepkimeye giren atomların yalnızca en dıştaki bazı elektronları arasında alışverişler gerçekleşir; yani, elementlerin atomları birbirleriyle birleşerek molekülleri oluştururken değişmeden kalırlar. Kimyasal tepkimeler sırasında, maddedeki atomların yerleşiminden kaynaklanan kimyasal enerjinin bir bölümü açığa çıkabilir; yanma olayı bu tür bir tepkimedir. Nükleer tepkimede ise, atomun tam ortasında bulunan, nötron ve protonlardan oluşan atom çekirdeği değişikliğe uğrar ve bu tür tepkime sırasında atom

kütlesinin bir bölümü enerjiye dönüşür. Nükleer tepkimede, herhangi bir kimyasal tepkimede açığa çıkabilecek olanın, milyonlarca katı kadar enerji açığa çıkar ve kimyasal tepkimeden farklı olarak, bir element bir başka elemente dönüşür. İki tür nükleer tepkime vardır: Çekirdek bölünmesi (nükleer fisyon ya da kısaca fisyon) ve çekirdek kaynaşması (nükleer füzyon ya da kısaca füzyon).

Çekirdek kaynaşması yoluyla da nükleer enerji üretimi mümkün olmakla birlikte, bunun güçlüğü sebebiyle günümüzde kullanılan reaktörlerde, ağır atomların parçalanmasıyla açığa çıkan çekirdek bölünmesi enerjisinden yararlanılmaktadır.

Atom çekirdeği bölünebilen elementlere "bölünebilir element" denir. Doğada bulunan tek bölünebilir element "uranyum"dur. Uranyum doğada iki ana biçiminin (izotopunun) bir karışımı halinde bulunur. Bu karışımın %99'undan çoğunu uranyum-238 (U-238), %1'den daha azını da uranyum-235 (U-235) oluşturur. Buradaki rakamlar kütle numarasını, yani çekirdekteki proton ve nötron sayılarının toplamını göstermektedir. U-238'in çekirdeğinde üç nötron fazlası vardır ve bu nedenle iki izotop, farklı fiziksel özelliklere sahiptir. Yalnızca U-235'in atomları bölünebilir, U-238'in atomları ise doğurgandır yani kolayca bölünmeye uğramazlar, ama yüksek hızdaki nötronları soğurarak, daha ağır bir element olan plütonyum-239 atomlarına dönüşürler. Plütonyumun bu izotopu ise bölünebilir özelliktedir. Hem uranyum hem de plütonyum nükleer reaktörlerde yakıt olarak kullanılır.

Nükleer enerji santralleri, kömürle çalışan termik santrallerden pek farklı değildir. Termik santrallerde kömür yakılarak su kaynatılır, böylece elde edilen buhar gücüyle bir türbin döndürülür ve türbin elektrik üretir. Nükleer enerji santrallerinde ise gerekli ısı, atomların bir reaktörde bölünmesiyle üretilir.

#### **2.2.2.2 Dünyada nükleer enerjinin kullanımı**

ABD'de 1954'te çıkarılan Atom Enerjisi Yasası ile dünyada nükleer enerjinin barışçıl amaçlar için kullanılması yaygınlaşmıştır. 1955'te Cenevre'de toplanan "1.Barış için Atom Konferansı" ile, özel sermayenin devlet kontrolü altında nükleer ticarete girmesi mümkün hale gelmiştir.

Petrolün dünyada kısıtlı bir enerji kaynağı olması ve de petrol üreten ülkelerin bunu politik bir güç olarak kullanmaları nedeniyle, 1973'lü yıllarda Dünya'da nükleer enerji çalışmaları hızlanmıştır(Öztürk ve Gökmen, 1999).

Çizelge 2.1'de ülkelere göre Nükleer Enerji Reaktör Güçlerinin dağılımı görülmektedir.

Çizelge 2.1 Ülkelere göre nükleer güç dağılımı (Öztürk ve Gökmen, 1999)

ÜLKE ADI	İŞLETMEDE		İNŞA HALİNDE	
	ÜNİTE ADEDİ	GÜÇ (MWE)	ÜNİTE ADEDİ	GÜÇ (MWE)
ARJANTİN	2	935	1	692
ERMENİSTAN	1	376		
BELÇİKA	7	5.712		
BREZİLYA	1	626	1	1.245
BULGARİSTAN	6	3.538		
KANADA	21	14.902		
ÇİN	3	2.167	1	
ÇEKOSLOVAKYA	4	1.648	2	1.824
FİNLANDİYA	4	2.355		
FRANSA	57	59.948	3	4.355
ALMANYA	20	22.282		
MACARİSTAN		4		1.729
HİNDİSTAN	10	1.695	4	808
İRAN			2	2.146
JAPONYA	53	42.335	2	2.111
KAZAKİSTAN	1	70		
KORE	11	9.120	5	3.870
LİTVANYA	2	2.370		
MEKSİKA	2	1.308		
HOLLANDA	2	504		
PAKİSTAN	1	125	1	300
ROMANYA	1	650	1	650
RUSYA	29	19.843	4	3.375
GÜNEY AFRİKA	2	1.842		
SLOVAKYA	4	1.632	4	1.552
SLOVENYA	1	632		
İSPANYA	9	7.207		
İSVEÇ	12	10.040		
İSVİÇRE	5	3.078		
TAYVAN&ÇİN	6	4.884		
İNGİLTERE	35	12.928		
UKRAYNA	16	13.765	5	4.750
A.B.D	110	100.579		
TOPLAM DÜNYA	442	350.825	36	27.678

1970'li yıllardaki petrol krizleri dolayısıyla, elektrik enerjisi üretimi için yeni teknolojiler geliştirilmiştir. Tabii ki, bir teknolojinin geçerli kılınabilmesi için ekonomik açıdan da uygun olması gerekmektedir. Nükleer enerji için ise Dünya Bankası'nın ve Asya Kalkınma Bankası'nın görüşleri sırasıyla şöyledir:

“Enerji sektörüne banka kredisi verilmesi, sektör yatırımlarının, kurumlarının ve politikalarının gözden geçirilmesini gerektirir. Enerji sektöründe nükleer santraller ekonomik olmamaktadır; bu santraller pahalı, istenmeyen ve elde tutulması zor özelliktedir.”

“Banka (nükleer enerjiye ait) bu arka planın farkındadır ve bir dizi kaygı nedeniyle Kalkınmakta Olan Üye Ülkelerdeki nükleer enerji üretim tesislerinin finansmanına karışmamaktadır. Bu kaygılar; nükleer teknoloji transferinin, yakıtın elde edilebilirliği ve buna ait zorluklar, nükleer maddelerin yayılması riski, çevre ve güvenlikle ilgili konuları içermektedir. Banka, nükleer enerji üretimine finansman sağlama işine girmeme politikasını koruyacaktır.” Ayrıca, Amerikan iş dünyası dergilerinden “Forbes” a göre:

“ABD nükleer enerji programının başarısızlığı, iş dünyası tarihindeki en büyük yönetim felaketi sayılmaktadır” (Keskin, 1998).

Rüzgar, hidroelektrik ve foto voltaj gibi kaynakların tamamı, enerjisini güneşten almaktadır. Isınma neticesinde ortaya çıkan ısı hava akımları rüzgarı, su döngüsüyle meydana gelen potansiyel enerji hidroelektrik tanımı ve bu enerjilerden direk olarak elektrik enerjisi üretilir. Kısaca güneş var olduğu sürece bu kaynaklar da var olacaktır. Fakat nükleer enerjinin yakıtı da tükenecektir.

### **2.2.2.3 Nükleer enerjinin sebep olduğu sorunlar**

Geleceğin enerji kaynağı olarak umut bağlanan nükleer enerjinin yaratacağı sorunlar büyük boyutlardadır.

Nükleer reaktörler, hem tesiste çalışanların ışınlama uğrama tehlikesini hem de atmosfere ışınlama sızmasını olabildiğince azaltacak biçimde tasarlanır. Buna rağmen nükleer reaktör kazaları, meydana gelmektedir.

Örneğin İngiltere'nin kuzeyindeki Cumbria'da kurulu olan Sellafield Santralindeki sızıntılar, İrlanda Denizi'nde 1950'lerden bu yana ciddi radyoaktif kirlenmeye yol açmıştır.

1979 yılında ABD'nin Pennsylvania eyaletindeki Harrisburg'ta kurulu olan Three Mile Island reaktöründe, aşırı ısınmadan kaynaklanan ve reaktörün kalbinde meydana gelen bir erime nedeniyle radyoaktif gazlar atmosfere kaçmıştır. Bu ilk büyük nükleer kazadan sonra ABD'de nükleer enerji yatırımları çok önemli ölçüde dururken; (Rusya, Fransa ve Japonya gibi bazı ülkelerde bu durum herhangi bir olumsuz gelişmeye yol açmamıştır. Fakat 26 Nisan 1986 Rusya Chernobly nükleer kazası, nükleer enerji gelişmelerine ikinci darbeyi indirmiştir. Hasar gören reaktörden kaçan radyoaktif parçacıkların oluşturduğu dev bir bulut Avrupa'nın içlerine, 2000 km'lik bir uzaklığa yayılmıştır. O tarihteki SSCB'de 31 kişinin öldüğü ve 200 bin kadar kişinin de evlerini terk etmek zorunda kaldığı bu kaza, takip eden yıllarda ortaya çıkan kanserden ölümlerin ve sakat doğum olaylarının sebebi olarak görülmektedir.

Nükleer enerjinin sebep olduğu sorunların bir kısmı nükleer kazalardan kaynaklanmakta olup, nükleer enerji üretimi sırasında açığa çıkan nükleer atıklar ise, ayrıca büyük bir tehlike arz etmektedir. Beyaz Rusya'da 2,5 milyon, Ukrayna'da 3,5 milyon, Rusya'da 3 milyon olmak üzere, Eski Sovyetler Birliği'nde en az 9 milyon kişi Chernobly felaketinden etkilenmiştir. Bu üç ülkede tiroid kanserlerinde büyük bir artış gözlenmiştir. Avrupa Tiroid Kanseri Birliği Başkanı Dilwyn Williams, radyasyona maruz kalmış binlerce çocuğun, ölümlerindeki 30 yıl içinde tiroid kanserine yakalanacağını bildirmiştir (Keskin, 1998).

Standart ölçülerdeki bir reaktör, bir yılda bir ton maddeyi fisyonu uğratar ve bu sırada aynı miktar kadar radyoaktif sağlığa zararlı parçalanma ürünleri ortaya çıkar. Bu parçacıklar bozunur ve ışınım (radyasyon) yayar. Yayılan ışınım kansere ve gelecek kuşaklarda gen bozukluklarına yol açabilir; vücuttaki dokuları tahrip ederek ölümlere neden olabilir. Parçalanma ürünlerinin bir tonunu seyreltmek için  $10^{13}$  m<sup>3</sup> su gereklidir (dünya yüzündeki tüm suların hacmi  $1,36 \cdot 10^{18}$  m<sup>3</sup> olarak hesap edilmiştir).

Radyoaktif atıkların pek çoğu, duvarları çok katlı tanklarda depolanır. Atıklar, bir tür camsı madde içine yerleştirilerek yer altına da gömülebilir. Birçok atık ürün son derece yavaş bozduğundan, bunların radyoaktifliği binlerce yıl boyunca sürer; bu da uzun süreli bir tehlike oluşturur. Başta ABD olmak üzere bazı ülkeler, bu radyoaktif kalıntıların zararlarından korunmak amacıyla büyük araştırma harcamaları yapmaktadır. Bu çalışmalar şu gibi alternatif çözümleri gündeme getirmiştir:

- a) Okyanuslara daldırarak,
- b) Güney Kutbunun buz veya kayalarına gömerek,
- c) Eski ve kullanılmış maden ocaklarında ya da,
- d) Uzaya fırlatarak muhafaza etmek.

İlk üç şık; kaza, sabotaj gibi riskleri daha çok içerdiğinden; en pahalı yöntem olan radyo kirlilikleri uzaya göndermek suretiyle tehlikenin önlenmesi düşünülmektedir.

Görüldüğü gibi radyo kirliliklerin yok edilmesi güçlükleri, diğer enerji kaynakları üzerindeki araştırmaların uygarlık için ne kadar önemli olduğunu kanıtlamaktadır (Baykut vd., 1987).

Nükleer enerji, yıllardır gündemde olmasına rağmen, çevre açısından radyoaktif atıklarla başa çıkabilmenin yine de tam bir çaresi yoktur ve hatta radyoaktif atıkların sürekli üretilmesiyle de; ciddi anlamdaki bu problem, gün geçtikçe daha da büyümektedir. Henüz dünyanın hiç bir bölgesinde nükleer atıkların saklanması ve imhası için lisanslı, nihai bir çözüm ve depolama alanı bulunmamaktadır. Bir nükleer santralin günlük çalışmasında, birtakım atık maddeler gaz halinde atmosfere ve sıvı halde denizlere bırakılarak direk olarak çevreye salınmış olmaktadır (Keskin, 1998).

Nükleer fizikçi Prof. Dr. Hayrettin Kılıç'ın aktardığına göre; dünyadaki nükleer kaza sayısı iddia edildiği gibi çok az değildir, ABD Nükleer Denetleme Komisyonu kayıtlarında 169 kaza kaydı bulunmaktadır.

Ayrıca nükleer santrallerin ekonomik olmadığı da ortaya çıkmıştır. 1978 yılından beri ABD'de de ekonomik bulunmamakta ve artık yeni siparişler verilmemektedir. Hatta kurulmuş olan nükleer santrallerin bile getirdiği ek maliyetler nedeniyle kapatılmalarına karar verilmektedir. ABD'de Maine Yankee santralının sökülebilmesi, farklı hesaplamalara göre 500 milyon – 2 milyar dolar arasında bir ek maliyet getirmektedir. Yine ABD'de henüz ömürlerini tamamlamadıkları halde 11 tane nükleer santralin enerji sektöründeki rekabet ortamı nedeniyle kapatılacakları bildirilmektedir. Almanya'da kapatılması kararlaştırılan bir nükleer santralin söküm çalışmaları 17 yıldır sürmekte olup, söküm çalışmalarının ancak beş yıl içinde sonuçlanması beklenmektedir (Uyar,2000).

1970'li yıllarda 500-800 milyon dolar olan yatırım maliyeti, 1999'da 4 –5 milyar dolara çıkmıştır. Yapımı 14 – 15 yıl süren nükleer santral maliyetleri zaman içinde katlanmaktadır. 1000 MW'lık bir nükleer santralin söküm maliyeti 200 milyon dolar olarak hesaplanmıştır. Fakat bunun yanı sıra; söküm sonucu ortaya çıkan 18 bin metreküp radyoaktif yakıt ve malzemenin çevreden yalıtım gideri olarak 500 – 700 milyon dolar da ilave olmaktadır. Bu durumda da söküm maliyeti 1 milyar dolara mal olmaktadır.

Son 17 yıldır ABD'de nükleer santral yapılmamakta olup, Chernobly nükleer kazasından sonra 126 nükleer santralin de iptaline karar verilmiştir. İspanya'da ise 56 santral yapılması planlanmış, sekiz tanesi yapıldıktan sonra diğerleri iptal edilmiş, 1984'te de

projelendirilmelerine rağmen maliyeti yüksek olduğu için beş santralin yapımı hükümet tarafından durdurulmuştur (TMMOB 99-2000 Çalışma Raporu).

1950'li yıllardan bugüne 500'den fazla nükleer kaza meydana gelmiş olup, bunlardan bazılarını şu şekilde örneklemek mümkündür:

1952 Kanada; deneme reaktörünün çekirdeğindeki erime sonucu patlama.

1955 ABD; deneme reaktöründeki çekirdek erimesi.

1957 ABD; reaktörde patlama.

1957 İngiltere; plutonyum üreticisi bir reaktörde yangın (1983 yılında İngiliz Hükümeti'nin tahminine göre, kaza sonucunda 39 insan kanserden ölmüştür).

1958 Yugoslavya; deneme reaktöründeki çekirdek aşırı ısınma sonucu, 6 kişinin ölümü.

1961 ABD; deneme reaktöründeki kaza sonucu 3 teknisyenin ölümü.

1971 Monticello, Minn., ABD; "Northern States Power Co" nun reaktöründe, su depolama boşluğunun kapasite aşımı sonucunda sızıntı (sonucunda, 50.000 gallonluk radyo aktif atık su; Mississippi Nehri'ne ve bir kısmı da St. Paul su sistemine karışmıştır).

1975 Japonya; 340 MW kaynar su reaktöründe sızıntı.

1979 Erwin, Tenn., ABD; Birinci derecede önemli nükleer yakıt tesisinde yüksek ölçüde zenginleşmiş uranyum kaçağı (sonucunda, 1.000 kişi bir yılda normal olarak maruz kalınabilecek radyasyonun 5 katını almışlardır).

1980 Fransa; Saint Laurent des Eaux Santrali'nda radyoaktivite sızıntısı.

1986 Gore, Oklahama, ABD; Reaktörün aşırı ısınmasıyla oluşan kaza sonucunda, 1 kişinin ölümü, 100 kişinin hastaneye yatırılması.

1986 SSCB; Chernobly nükleer kazası sonucu: 31 ölü ve 200 yaralı.

1987 İngiltere; 200 MW gaz soğutmalı reaktörün türbin bölümünde gaz patlaması.

1989 Türkiye; İstanbul Çekmece araştırma reaktöründe yangın.

### 2.2.3 Güneş enerjisi

Güneş enerjisinin elektriğe dönüştürülmesi için ilk incelemeler, 1839'da başlamış olup, bu yolla elektrik üretimi, 1954 yılında Amerika'da Bell Telefon Laboratuvarlarında PV güneş pillerinin yapımı ile gerçekleştirilmiştir (Ültanır, 1997).

Güneş ışınlarının aynalarla ve merceklerle yoğunlaştırılmasıyla; teorik olarak güneş sathındaki sıcaklıklara yakın değerlere varan sıcaklıklar elde etmek mümkündür. Eski Sirakuza'da, Archimedes'in, hücum eden Roma gemilerinin yelkenlerini yakmak için büyük miktarda parlatılmış kalkan kullandığı söylenir. Yaklaşık olarak iki asır önce Fransız bilgin Antoine Lavoisier, iki mercekli güneş fırınında platini eritmeyi başarmıştır (Laguil vd., 1998).

Güneş enerjisi, sıcak su elde edilmesi ve ısıtma amacıyla da kullanılabilir. Güneş enerjisini, elektrik enerjisine dönüştürmede kullanılan teknikler şunlardır:

- Fotoelektrik dönüşümü
- Termoelektrik generatörleri
- Fotovoltaik güneş pilleri
- Termodinamik dönüşüm (Aybers ve Şahin, 1995).

Fotoelektrik dönüşümü, diğer adıyla doğrudan dönüşüm tekniğinde temel prensip, radyasyon enerjisinin iletken metallerin elektronlarını harekete geçirerek elektrik üretmesi esasına dayanır.

Termo-elektrik generatörler ise termokupl uçlarının ısıtılması yolu ile çalışır.

Fotovoltaik pillerin küçük ve hafif olmaları, ayrıca yine sınırsız ve tükenmez bir kaynak olan güneş ışığını kullanmaları; uydu ve uzay araçlarında tercih edilen kaynak olmalarına yol açmıştır. Güneş pilleri; seri ve paralel bağlanarak foto voltaj panellerini meydana getirirler. Küçük boyutlu ve hafif olan bu paneller, istenilen gücü elde etmek amacıyla birleştirilerek de kullanılabilirler.

Sistemin çalışması için ışığın olması yeterlidir, bulutlu ve kapalı havalarda bile yani direk olarak güneşin olmaması durumunda dahi, sistem; ışık şiddetine bağlı olarak verim az olsa da yine de elektrik üretmeye devam edecektir. Geceleri ise gerekli olan enerji, sistem tarafından şarj edilen solar aküler tarafından karşılanacaktır.

Güneş pili, çalışması sırasında çevreye gürültü, ısı, gaz yaymamaktadır.

Termodinamik dönüşümle elektrik enerjisi üretimi, güneş ışınlarının bir kule üzerinde bulunan kazana; iki eksen etrafında hareketli parabolik aynalar tarafından yönlendirilmesi ve buhar üretilmesi esasına dayanır. Elde edilen buhar, burada ayrıntısı anlatılmayacak bir çevrimde kullanılarak, klasik bir turbo-generatör sistemi çalıştırılır (Aybers ve Şahin 1995).

Güneş ışığının elektrik kaynağı olarak kullanıldığı bazı uygulama alanlarını şöylece sıralayabiliriz: Meteoroloji istasyonları, masa ve cep tipi hesap makineleri, deniz fenerleri, karavanlar, su pompaları, uydu alıcılar ve radar istasyonları mobil evler ve hastaneler, sokak ve bahçe aydınlatmaları, mobil telefonlar (İstanbuluoğlu, 1998).

#### **2.2.4 Rüzgar enerjisi**

Rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi elde etme teknolojisi, özellikle son yıllarda çok büyük rağbet görmeye başlamıştır. Bunda rüzgar enerjisinin atıksız, sınırsız ve çevreye zararsız bir kaynak olmasının önemi çoktur. Bunun yanı sıra 1970'lerdeki petrol krizi sırasında, yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde yoğunlaştırılan çalışmalar; rüzgar enerjisi dönüşüm sistemleri ve elektrik üretim maliyetlerinin azaltılması açısından olumlu neticeler vermiştir (Akyüz,1997).

Rüzgar enerjisi; dış ülkelere bağımlılık yaratmayan, yerli ve tükenmeyen bir enerji kaynağıdır. Ayrıca, rüzgar enerjisi kullanımı sayesinde, tükenen fosil yakıt rezervleri korunmuş olur. Rüzgar gücü, herhangi bir radyoaktif ışınım tahribatı yaratmamaktadır. Rüzgar, yerli ve bağımsız bir enerji kaynağıdır. Rüzgar türbinleri, herhangi bir büyüklükte imal edilebilmekte ve tek olarak ya da gruplar halinde kullanılabilir. Rüzgar türbinleri, inşaatın başlamasından üretime geçişe kadar üç ay gibi çok kısa bir sürede gerçekleştirilmektedir (Uyar, 1998).

#### **2.2.5 Jeotermal enerji**

Yağmur ve kar suları, yer kabuğundaki çatlaklardan aşağı katmanlara doğru iner. Burada, magmanın ısıttığı kayalık katmanlarla karşılaşır ve ısınır. Isınan sular; sıcak su kaynakları, buhar ve sıcak su-buhar karışımı halinde yeryüzüne ulaşır. Yani kısacası jeotermal enerji, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş basınç altındaki su, buhar, gaz veya sıcak kuru kayaların içindeki ısı enerjisi demektir. Eğer suyun doğal olarak dolaşabilmesi için müsait kırık ve çatlaklar yoksa, yapay borular gibi teknikler kullanılarak, sıcak kuru kayaların dahi jeotermal enerji kaynağı olarak kullanılması mümkündür (Güven, 1998).

Jeotermal enerji, hayvan çiftliklerinde, termal tedavi merkezlerinde, turistik tesislerin ısıtılmasında, yiyeceklerin kurutulmasında ve steralizasyonunda, konservecilikte, kerestecilik ve ağaç kaplama sanayiinde de kullanım alanı bulmaktadır.

Jeotermal kaynaklardan 30°C ile 150°C arasındaki sıcaklıklarda ısıtma yapılabilmekte olup, 80°C ile 180°C arasındaki sıcaklıklarda elektrik enerjisi üretilebilmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar neticesinde izobütan, freon gibi buharlaşma sıcaklıkları düşük olan gazlardan yararlanarak, 60-90°C arasındaki sıcaklığa sahip suların da elektrik üretimi mümkün hale gelmiştir.

Jeotermal enerjiden elektrik enerjisi üretim çalışmaları, 1900'lü yıllarda başlamış olup, ilk jeotermal enerji santrali ise 1913 yılında işletmeye alınmıştır. İtalya, ABD ve daha sonraki yıllarda da Japonya'da jeotermal enerji ile ilgili çalışmalar yapılmış, İkinci Dünya Savaşı süresince bu çalışmalar durmuş, sonrasında ise Japonya'nın yaptığı büyük yatırımlar neticesinde gerçekleştirdiği araştırma-geliştirme çalışmalarından sonra, kurulu gücü 22 MW olan bir proje gerçekleştirilmiştir.

Dünyada And, Alp-Himalaya, Karayip Adaları, Orta Amerika volkanik kuşakları mevcuttur.

Türkiye, Alp-Himalaya kuşağında bulunmaktadır. Yurdumuzda, jeotermal kaynaklarla ilgili araştırmalar MTA Genel Müdürlüğü aracılığıyla yapılmakta olup, bu çalışmalar 1962'den beri süregelmektedir. Bu çalışmalar, ısıtma amaçlı olup, jeotermal enerjiden elektrik üretimiyle ilgili çalışmalar ise 1968 yılında Denizli Kızıldere sahasında, MTA ve Birleşmiş Milletler Kalkınma Fonu ile ortak olarak geliştirilen proje neticesinde başlamış olup, 1974'te 0,5 MW'lık bir elektrik santrali kurulmuştur.

Ülkemizde, Aydın Germencik ve Salavatlı, İzmir Seferihisar ve Dikili, Çanakkale Tuzla, Kütahya Simav, Afyon Ömerli ve Gecek, Manisa Salihli, Balıkesir Gönen, Sivas Sıcakçermik, Van Erciş'de jeotermal kaynaklar olduğu bilinmektedir (Güven,1998).

Yurdumuzda jeotermal kaynaklar büyük oranda, termal turizmde kullanılmaktadır (İzdeş vd.,1998).

### **2.3 Türkiye'nin Enerji Durumu**

Türkiye'deki ilk sıradaki enerji kaynakları, %50 oranında petrole bağımlıdır ve bu petrolün de yaklaşık %72'si yurtdışından temin edilmektedir.

1995 yılında Ukrayna, Litvanya, G.Afrika, Beyaz Rusya, Rusya Federasyonu, Avustralya, Polonya, ABD, Kanada, Hollanda, Almanya, İtalya, İngiltere, İspanya, Finlandiya, Romanya, Mısır, İran, Çin ve Güney Kore'den taşkömürü; Rusya Federasyonu'ndan doğal gaz; Avustralya ve Cezayir'den sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG); Libya, B.Arap Emirlikleri, İran, Mısır, Irak, Cezayir, S.Arabistan, Suriye ve Rusya'dan hampetrol; Cezayir, Suudi Arabistan, Belçika, Hollanda, İngiltere, Almanya, Yunanistan, İsveç, Malta, ABD, İspanya, Tunus, Danimarka, İsrail, İtalya, Romanya, Fransa, Bulgaristan, Rusya, Suriye, Kuveyt ve İrlanda'dan petrol ürünleri ithal edilmiştir.

Türkiye'nin taşkömürü rezervi 428 milyonu görünür olmak üzere, 1.127 milyon tondur. Yıllık üretim 2,5-3 milyon ton olup, 8-9 milyon tonluk ihtiyacın üçte ikisi ithalatla karşılanmaktadır.

Ülkemizin hidrolik enerji brüt potansiyeli, 433 milyar kWh/yıl, teknik potansiyeli 216 milyar kWh/yıl olarak belirlenmiştir. 125,2 milyar kWh/yıl olarak belirlenen ekonomik potansiyele karşı gelen güç 35.440 MW, güvenilir enerji üretim potansiyeli ise 80,7 milyar kWh / yıl'dır. 1996 yılı sonu itibarıyla bu potansiyelin %29'u değerlendirilmiştir.

Artan enerji gereksinimi dolayısıyla linyit ve hidrolik enerji kullanımı çok hızlanacak ve linyit kaynakları 2015'de hidrolik potansiyel ise 2020'de tamamen kullanılmış olacaktır (Öztürk ve Gökmen, 1999).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve TEAŞ tarafından yapılan elektrik enerjisi planlaması çalışmalarına göre brüt ve net talep, üretim için gerekli kurulu güç ve puant güç değerleri çizelge 2.2'de yer almaktadır.

Çizelge 2. 2 Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve TEAŞ tarafından yapılan elektrik enerjisi planlama çalışması (Ültanır, 1999)

Yıllar	BrütTalep (GWh)	Net Talep (GWh)	Kurulu Güç (MW)	Puant Güç (MW)
2000	134.307	115.107	30.395	23.286
2005	199.560	174.614	46.300	32.083
2010	289.820	257.687	64.703	45.802
2015	398.168	356.306	85.602	64.443
2020	547.060	492.666	108.999	88.007
2023	639.045	576.455	124.235	104.508
2025	708.952	640.248	134.892	116.463

Özellikle fosil yakıtlı kaynakların kullanılması, büyük ölçüde hava ve çevre kirlenmesine yol açmaktadır. Bu yüzden yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları gün geçtikçe önem kazanmaktadır.

### 3. RÜZGAR ENERJİSİ

#### 3.1 Rüzgar Enerjisi Kullanımının Gerekliliği ve Dünya Genelindeki Durumu

Rüzgar gücünün temiz ve sonsuz bir kaynak olması nedeniyle; rüzgar enerjisi dönüşüm sistemleri, önemi gittikçe artan teknolojilerden biri durumuna gelmiştir.

1970'lerdeki petrol şoku nedeniyle, başka enerji kaynaklarına yönelik araştırmalar ve çalışmalar hızlanmış; sonuçta da rüzgar enerjisinden elektrik elde edilmesi dönüşüm sistemleri ve elektrik enerjisi üretim maliyeti; fosil yakıtlı güç santralleriyle rekabet edebilecek düzeye inmiştir (Uyar,1999).

Ayrıca, birincil enerji kaynakları olarak adlandırılan doğal kaynakların bazılarının ömrünün oldukça sınırlı olması, yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimine ağırlık verilmesine neden olmuştur.

Dünyada enerji potansiyeli açısından en fazla rezerv, taşkömüründe bulunurken, ardından; linyit, petrol ve doğal gaz sıralanmaktadır. Bugün dünyada enerji kullanımında son derece yoğun olarak kullanılan birincil enerji kaynaklarından petrol rezervlerinin; 2040 yılında, doğal gaz rezervlerinin ise 2055 yılında tükeneceği tahmin edilmektedir.

Bu durum çevre açısından daha zararlı olan ve birçok ülkede daha pahalı olan enerji kaynaklarına yönelme sonucunu doğurmuştur. Özellikle 80'li yılların başından itibaren gelişmiş ülkelerde başlayan nükleer enerji üretiminde artış sonucunda, 1980 yılında dünya enerji üretiminde %8,4 payı olan nükleer enerji üretimi, 1996 yılında %17'ye yükselmiştir.

Aynı dönem itibarıyla, dünya enerji üretiminin yaklaşık %19'u hidrolik kaynaklardan sağlanırken, kalan kısmı kömür, petrol ve doğal gaz arasında paylaşılmaktadır. 2010 yılında ise nükleer enerji payının %10 seviyelerine gerilemesi ve buna bağlı olarak başta rüzgar ve güneş enerjisi olmak üzere diğer enerji kaynaklarının kullanımında artış olması beklenmektedir.

Rüzgar, yerli bir kaynaktır. Petrol ve doğal gaz gibi ithal edilmesine gerek yoktur; bu sayede enerji meselesi yüzünden, dış ülkelere olan bağımlılığın ortadan kalkmasında önemli rol oynar. Rüzgar; sonsuz, sınırsız bir enerji kaynağıdır. Fosil yakıtlar ve uranyum gibi tükenir olmayıp, sağlıklı yaşam ve temiz çevre için çok önemli ve değerlendirilmesi gereken bir kaynaktır.

Yapılan araştırmalara göre, Türkiye'deki toplam elektrik enerjisi tüketiminin en az iki mislinin rüzgar enerjisinden sağlanabileceği, bilim adamlarınca öngörülmektedir (Uyar, 1999).

Dünyada; ABD, Almanya ve Danimarka başta olmak üzere birçok ülke, rüzgar türbinleri ile elektrik enerjisi üretmekte ve var olan kurulu gücünü arttırma yolunda çalışmalarına devam etmektedir. Sistem kuruluş maliyetlerinin son yıllarda hızla düşmesi sonucu rüzgar potansiyeline sahip diğer ülkeler de yatırım planları yapmaktadır. Dünyada rüzgar enerjisinden faydalanan ülkelerin kurulu gleri ve 2002 yılı planlamaları izelge 3.1'de grlmektedir (Dündar ve İnan, 1999).



Çizelge 3.1 Dünya rüzgar enerjisi kurulu gücü ve 2002 yılı hedef kapasiteleri (Dündar ve İnan, 1999).

ÜLKELER	1997'ye kadar olan kurulu güç (MW)	1997 yılı içindeki kurulu güç (MW)	2002 için tahmini kurulu güç (MW)
ABD	1.511	29	2.886
Kanada	25	4	395
Latin Amerika	44	10	494
<b>Toplam Amerika</b>	<b>1.580</b>	<b>43</b>	<b>3.775</b>
Almanya	2.081	533	4.181
Danimarka	1.116	285	2.091
İspanya	512	262	1.812
Hollanda	392	44	729
İngiltere	328	55	978
İsveç	122	19	602
İtalya	103	33	603
İrlanda	35	42	268
Portekiz	39	20	109
Yunanistan	29	0	249
Fransa	13	8	303
Finlandiya	12	5	67
Diğer Avrupa Ülkeleri	58	13	458
<b>Toplam Avrupa</b>	<b>4.858</b>	<b>1.319</b>	<b>12.450</b>
Çin	146	67	896
Hindistan	940	120	1.940
Diğer Asya Ülkeleri	21	8	221
<b>Toplam Asya</b>	<b>1.107</b>	<b>195</b>	<b>3.057</b>
Avustralya ve Yeni Zelanda	8	1	118
Kuzey Afrika	9	0	334
Orta Doğu	18	8	168
Eski SSCB	19	1	219
Diğer Ülkeler	3	0	163
<b>Toplam Diğer Alanlar</b>	<b>57</b>	<b>10</b>	<b>1.002</b>
<b>Toplam Dünya</b>	<b>7.602</b>	<b>1.567</b>	<b>20.284</b>

### 3.2 Rüzgar Enerjisinin Tarihçesi ve Gelişimi

Rüzgar enerjisinin tarihi oldukça eskidir. İran, Irak, Mısır ve Çin'de, rüzgar enerjisi ile çalışan makinaların mevcut olduğu bilinmektedir.

Rüzgar enerjisi kullanımıyla ilgili ilk yazılı dökümanlar, onuncu yüzyılda Persia'da çıkmıştır. İran ve Afganistan'da o dönemden kalma tahrip olmuş dikey eksenli rüzgar türbinlerine rastlanmıştır ( Uyar, 1998).

M.Ö.200'ün hemen başlarında Ortadoğu'da rüzgar değirmenleri, tahıl öğütmek amacıyla kullanılmıştır.

M.Ö.17. Yüzyılda Babil Kralı Hammurabi'nin Mezopotamya'nın zengin topraklarını sulamak için rüzgar enerjisini kullanmayı planladığı söylenmektedir.

Ortaçağda; İtalya, Fransa, İspanya ve Portekiz'de rüzgar makinaları görülmüş ve kısa bir süre sonra da Büyük Britanya, Hollanda ve Almanya'da varlığı keşfedilmiştir.

Bazı yazarlar; rüzgar türbinlerinin Avrupa'ya gelişinin Haçlı Seferleri sırasında olduğunu öne sürmektedir. Bu makinaların, yatay eksenli ve 4 kanatlı olduğu, ana kullanım alanlarının ise tahılların öğütülmesi olduğu da ifade edilmektedir.

Hollanda'da bu makinalar M.S.1350'den itibaren; fındık ve ceviz gibi sert kabuklu yemişlerden ve hububattan yağ eldesinde, odun kesme işleminde, eski giysilerin kağıda dönüştürülmesinde ve renkli pudra yapımında kullanılmıştır.

Rüzgar enerjisinden elektrik üretimi ise ilk kez; 1890'lı yıllarda Danimarka'da yapılmıştır. 1918 yılında 20-35 kW'lık türbinlerle, 120 kırsal merkezin elektrifikasyonu sağlanmıştır. 1941 yılında ABD'de Grandpa's Knob'da kurulan 1250 kW gücündeki Putnam Rüzgar Türbini, o dönemin en büyük rüzgar türbini olmuştur ve bu; modern rüzgar makinalarının ilkidir.

İngiltere'de 1945 yılında yapılan çalışmalar neticesinde, 1950'lerin başında; 100 kW gücünde, rotoru üç kanatlı, çapı 15 m olan Andreau makinası kurulmuştur. 1947 yılında Danimarka'da başlatılan çalışmalar sonucu, 1957 yılında; 24 m çaplı, rotoru da üç kanatlı olan 200 kW'lık Gedser Türbini yapılmıştır.

Avrupa'nın o dönemdeki en gelişmiş rüzgar generatörü, 1958 yılında Fransa'da yapılan 31 m rotor çaplı ve 3 kanatlı 800 kW'lık makinadır. 1970'li yıllarda ABD'deki çalışmalar; büyük tip

yatay ve dikey eksenli makinalar üzerine olmuştur. Bunların dışında; o yıllarda Avusturya, İtalya ve İsviçre de rüzgar türbinleri üzerinde çalışmalar yapan ülkelerdir.

Rüzgar enerjisinden yararlanma çalışmalarının hızlanarak; öneminin iyiden iyiye artmasının belki de en önemli sebeplerinden biri petrol sıkıntısıdır. Bu sıkıntı nedeniyle; rüzgar enerjisi dönüşüm sistemleriyle ilgili çalışmalar hız kazanmış ve rüzgar türbinlerinden oluşan rüzgar çiftlikleri kurmak; amaç olmuştur.

1980'li yıllarda yürütülen çalışmalar sonucu; ABD, Danimarka, Hollanda, İngiltere ve İsveç'in katkılarıyla, deniz üstünde kıyıdan uzak rüzgar santralleri teknolojisi geliştirilmiştir. Avrupa'da ilk deniz üstü rüzgar türbini, 1990'da işletmeye alınan İsveç'teki 220 kW'lık Nogsund türbinidir. 11x450 kW'lık makinalardan oluşan Danimarka'nın Vindeby adasında kurulmuş olan 5 MW'lık çiftlik ise; dünyanın ilk deniz üstü rüzgar çiftliğidir.

1980'lerde, Amerika'da vergi kredileri ile desteklenen rüzgar endüstrisi, çok hızlı bir gelişim dönemine girmiş ve bu gelişim süreci, 1980-1990 yılları arasında rüzgar türbin maliyetlerinin %80 azalmasına yol açmıştır. 1989 yılında California Enerji Komisyonu; santralleri tüm ömürleri göz önüne alınarak; yakıt, yatırım ve işletme maliyetleri değerlendirildiğinde, rüzgar enerjisinin diğer tüm geleneksel kaynaklardan daha ucuz olduğu sonucuna varmıştır. 1989 yılında California'da bulunan rüzgar santralleri; San Fransisco'nun bir yıllık ihtiyacına yetecek kadar elektrik üretmiştir (Uyar,1998).

Amerikan rüzgar endüstrisinin kurulması, bu alandaki çok büyük gelişmelerin anası olmuştur. 1982-1992 yılları arasında Kaliforniya'da, yaklaşık 15.000 rüzgar türbini kurulmuş, 1993 yılında bu çiftliklerden 3 milyar kWh elektrik üretilmiştir.

Bugün dünyanın en büyük rüzgar çiftliği 370 MW gücü ile Amerika'da bulunan "Kenetech Windpower"ın "Altamount Pass" rüzgar tesisidir. Bu çiftlikte 100 kW'lık 3.500 adet ve 300-405 kW'lık 40 adet türbin bulunmaktadır.

1990 yılında dünyada rüzgar santrali kurulu gücü 2.160 MW iken, 1993 yılının başlarında 2.500 MW'a, 1994 yılında 3.738 MW'a, 1995'de 4.843 MW'a, 1996 yılında 6.097 MW'a yükselmiştir. Bu kurulu gücün %57,5'i Avrupa'da, %26,4'ü Kuzey Amerika'da (Kuzey Amerika'dakinin %98,7'si ABD'de), %14,7'si Asya'da (Asya'dakinin %91'i Hindistan'da) bulunmaktadır.

Avrupa'nın kurulu rüzgar gücü 1989 yılında yalnızca 320 MW idi. Bu kurulu güç 1990'da 477 MW, 1991'de 891 MW, 1993'de 1.123MW, 1994'de 1.723 MW, 1995'de 2.518 ve 1996 yılında 3.216 MW olmuştur. Böylece 7 yılda 10 kat artış sağlanmıştır.

Avrupa'da kurulu rüzgar gücü açısından birinci sırayı Almanya almakta, onu Danimarka takip etmektedir (Ültanır,1997).

### **3.3 Rüzgar Enerjisi Teknolojilerinde Türkiye'deki Durum ve Gelişmeler**

Üç tarafının denizlerle çevrili olması nedeniyle oldukça iyi bir rüzgar potansiyeline sahip ülkemizin, bu hem ücretsiz hem de dış ülkelere bağımlılık yaratmayan kaynağı değerlendirmek amacıyla, rüzgar enerjisi teknolojilerine daha fazla önem vermesinin gerekliliği göze çarpmaktadır.

Türkiye, şu anda elektrik enerjisinin %60'ını doğal gaz ve petrol olarak ithal etmekte olup, bunun yakın zamanlardaki enerji artışlarına paralel olarak %75'lere çıkması, tahmin edilebilecek bir sonuçtur.

Doğal gaz ithalati; ülkemizi hem dış ülkelere bağımlı bırakmakta hem de tükenir bir kaynak olduğu için fiyatının artması açısından olumsuzluk yaratmaktadır. Zaten doğal gazın tükenecek bir kaynak olması, yalnız ülkemiz için değil, bu kaynaktan yararlanan Avrupa ülkeleri ve ABD için de bir risk teşkil etmektedir.

Ülkemizin batı sahilleri, rüzgar türbinlerinin kurulması için en elverişli kesimler olarak düşünülmektedir. Ayrıca, enerji tüketiminin de batı bölgelerinde daha yoğun olması dolayısıyla enerjinin taşınması sırasında oluşan kayıplar da önlenmiş olacaktır. Çünkü doğudan batıya, örneğin bir barajdan enerji taşınması sırasında %18'lere varan kayıplar oluşmaktadır.

Türkiye'nin yenilenebilir kaynaklar dışında kullanabileceği öz kaynaklar; linyit, su ve taşkömürüdür. Linyitle çalışan termik santraller, çevre sorunlarına sebep olurken, taşkömürü ise oldukça sınırlı bir kaynak durumundadır. Barajların yapımının uzun sürmesi de birtakım sıkıntılara sebep olmaktadır.

Rüzgar enerjisinden elektrik üretiminde en büyük gelişimi Almanya göstermektedir. Almanya; dünyanın en büyük üreticisi olma yolundadır. Birkaç yüz kilometre sahili olan Federal Almanya'da böyle bir gelişme mevcut olabiliyorsa, binlerce kilometre sahili olan ülkemizin potansiyelinin ciddi anlamda değerlendirilmesi gerekmektedir.

Türkiye’de Rüzgar Atlası çalışmaları, Meteoroloji Genel Müdürlüğü ve Elektrik İşleri Etüd İdaresi’nce sürdürülmektedir. Ülkemizin ortalama rüzgar hız eğrilerinin dağılımı Şekil 3.1’de gösterilmiştir.





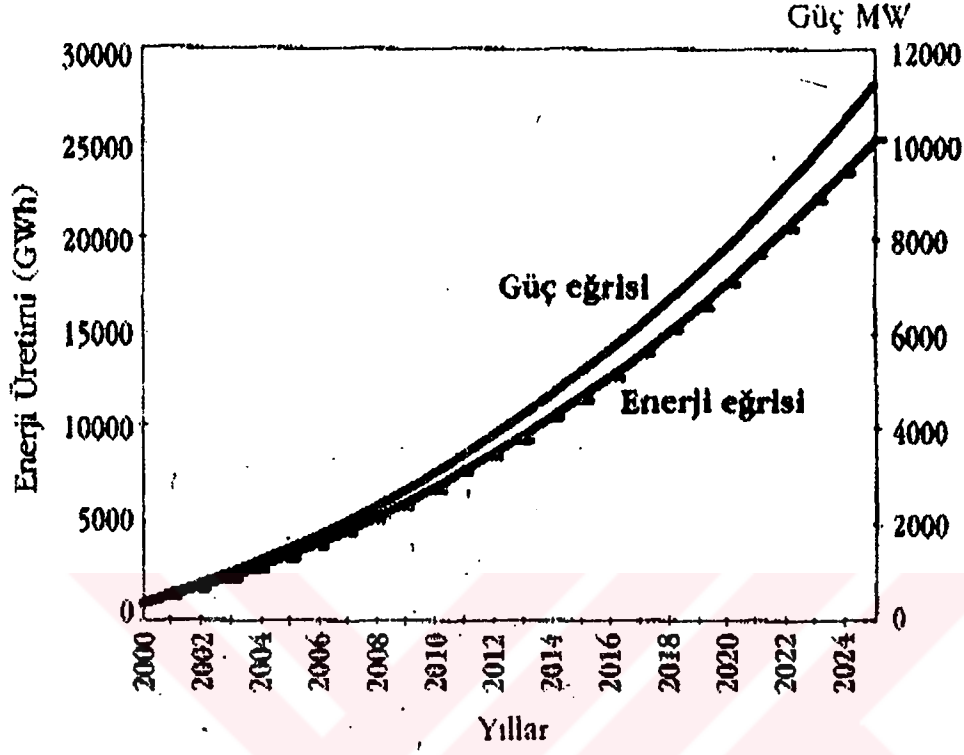
Bugüne kadar yapılan çalışmalardan çıkan sonuçlara göre; Afyon, Akhisar, Alaçatı, Anamur, Antakya, Bandırma, Belen, Bozcaada, Bozkurt, Çanakkale, Çeşme, Çorlu, Datça, Didim, Dikili, Edremit, Erdek, Erzurum, Foça, Gökçeada, Haymana, İnebolu, Karabiga, Karaburun, Karaman, Kocadağ, Kumköy, Malatya, Mardin, Nurdağ, Pozantı, Samsun, Seydişehir, Silifke, Sinop, Söke, Şarköy, Tekir Yaylası, Ulukışla, Urla, Yalıkavak yöreleri rüzgar enerjisi bakımından zengin görülmektedir. Buralarda rüzgar ölçümleri geliştirilerek ve başka yerlerde de ölçümler yapılarak, rüzgar potansiyeli açısından verimliliklerinin belirlenmesi ile ilk etapta Ege ve Marmara kıyılarında başlayan çalışmalar, böylece Türkiye'nin diğer yörelerine de yayılmış olacaktır.

Yurt genelindeki bazı bölgelerde, 10 metre yükseklikte yapılan ölçümlere göre yıllık ortalama rüzgar hızları şöyledir:

	(m/s)
Kocadağ (Çeşme)	:9,28
Şenköy (Hatay)	:7,69
Gökçeada	:7,03
Belen (İskenderun)	:7,01
Nurdağı (K.Maraş)	:7.00
Akhisar	:6,84
Karabiğa (Çeşme)	:6,52
Datça	:5,85
Yalıkavak (Bodrum)	:5,68
Göktepe (Bitlis)	:5,66
Bandırma	:5,12
Söke	:5,00
Didim	:4,81
Sinop	:4,73
Zenger (Bor)	:3,54

Çeşme yarımadasında, toplam kurulu gücü 260-290 MW arasında olacak rüzgar santrali kurulmak istenmektedir. Ege'de, kıta sahanlığı üzerindeki kayalıklar doğal zemin oluşturarak karadakine kıyasla az bir maliyet farkıyla deniz üstü rüzgar santralleri kurulabilmesi mümkündür.

Yapılan hesaplamalara göre, 2000-2025 döneminde olması gereken rüzgar kurulu gücünün gelişimi Şekil 3.2’de gösterilmiştir (Ültanır, 2000).



Şekil 3.2 Türkiye için önerilen rüzgar kurulu gücü ve enerji üretimi (Ültanır, 2000)

### 3.4 Rüzgar Enerjisi Teknolojisinde Almanya Emdren Bölgesi Örneği

Almanya’da, Emdren yakınlarındaki Krumhörn’de kurulan rüzgar türbinleri sayısında çok büyük bir artış olmuş, bunun doğal bir sonucu olarak da tahminlerin çok üstünde bir elektrik üretimi sağlanmıştır.

1980’lerin sonundaki “Growian” projesi, rüzgardan elektrik enerjisi üretiminde başarısızlığa uğramıştır. Bu proje, Kaiser-Wilhelm-Koog’da, Elbe nehrinin ağzında 3 MW’lık 3 adet generatörle, 100 metrelik bir kule ve 100 metre çapındaki bir pervaneden oluşan bir türbin kurulmasıyla oluşturulmuştur. Fakat, bu türbin sadece 330 saat enerji üretebilmiş, 13 ton ağırlığındaki pervanenin fırlamasına yol açabilecek tarzda büyük çatlaklar oluşmuş ve bu nedenle kullanılamaz duruma gelip hurdaya çıkarılmıştır.

Federal Bilimsel Araştırma Bakanlığı; Growian projesine, rüzgar enerjisi araştırmalarına ayrılan fonun yaklaşık yarısını oluşturan 90 milyon mark teşvik sağlamıştır. Bu rakam çok

büyük gibi gözükse de, atom endüstrisi için yapılan harcamaların 16 milyar mark tuttuğu dikkate alınırsa gerçek ortaya çıkmaktadır.

1988'deki bu başarısızlıktan ötürü, rüzgar enerjisi büyük ölçüde önemini yitirmiştir. Fakat görüldüğü üzere, bu çalışmanın teknik bilgi eksikliğinden kaynaklandığı açıktır.

Bundan sonra o dönemde, Yeniden Canlandırılabilir Enerji Birliği Başkanı "Uwe Thomas Carstensen", rüzgar enerjisinden enerji üretimine yönelik çalışmalarına ivme kazandırarak devam etmiş, "kariyer yapmak isteyenler, atom endüstrisini seçerler, rüzgar değirmenlerini değil" diyerek rüzgar enerjisinin temiz, güvenilir, çevreci ve geleceği olan bir kaynak olduğunu savunmuştur.

1991'de çıkarılan bir yasayla, rüzgardan elde edilen elektrik enerjisini kullanmaya teşvik edici çok önemli bir düzenleme yapılmış, bu kapsama giren bölgelerde rüzgar, çok önemli bir ekonomik değer haline gelmiştir.

Bundan sonra, dünya pazarında Danimarkalı üreticilerin yanı sıra, Almanlar da yavaş yavaş yer almaya başlamış, küçük işletmeler hızla orta ölçekteki işletmelere dönüşmüştür.

Rüzgar açısından çok zengin olan Alman sahillerinde arazisi olan çiftçiler, bu ekonomik fırsatı değerlendirmek amacıyla arazilerine rüzgar türbinleri kurulması için girişimlerde bulunmuşlardır. Yine arazisinde rüzgar çiftliği kurulmuş olan Martin Störntenbecker adlı bir çiftçi, "buralarda bazıları tahıldan çok daha fazlasını rüzgardan kazanabiliyor" demekle, bu durumu yaşayan biri olarak, bir takım olumsuz fikirlere karşı da cevap vermiş olmaktadır (Özbir, 1998).

### **3.5 Rüzgar Enerjisi Potansiyellerinin Belirlenmesi**

Rüzgar enerjisi potansiyellerinin belirlenmesi için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan biri de Danimarka Meteoroloji Teşkilatı'nın Riso Meteoroloji Laboratuvarlarında, rüzgar atlası istatistiklerini elde etmek amacıyla geliştirilmiş bir paket programı olan, WA<sup>SP</sup> (Wind Atlas Analysis and Application Program)'dır. Avrupa Rüzgar Atlası'nın hazırlanmasında da bu program kullanılmıştır.

Bu program için gerekli olan veriler; saatlik rüzgar verisi, bölge pürüzlülük bilgileri, yakın çevre engel bilgileri ve bölgenin topografyası ile ilgili bilgilerdir. Program, bu bilgileri kullanarak bölgesel rüzgar atlası istatistiklerini hesaplamaktadır.

### 3.5.1 Rüzgar potansiyellerinin hesaplanmasıyla ilgili bir çalışma örneği

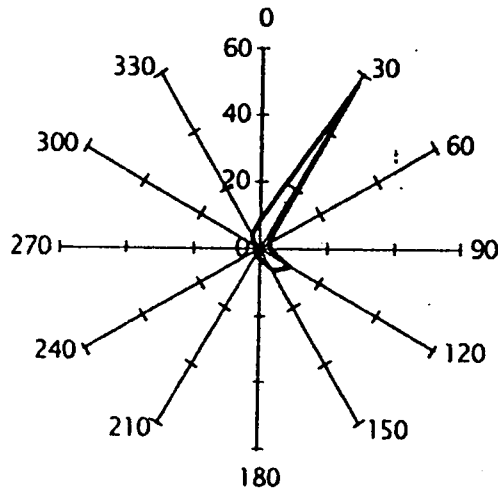
Demir İnan ve Cihan Dündar tarafından yapılan çalışmada; Bandırma, Bodrum, Bozcaada, Çeşme ve Sinop istasyonları için rüzgar enerjisi potansiyellerinin hesaplanması amaçlanmış olup, burada belirlenen istasyonlarda biri olan Çeşme bölgesine ait sonuçlara ve Bandırma bölgesine ait rüzgar gülü ve rüzgar hız histogramına yer verilmiştir.

Bu çalışmada, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün 1991-1994 yılları arasında Bodrum, Bozcaada, Çeşme ve Sinop Meteoroloji istasyonlarında kaydedilen saatlik rüzgar verileri kullanılmıştır.

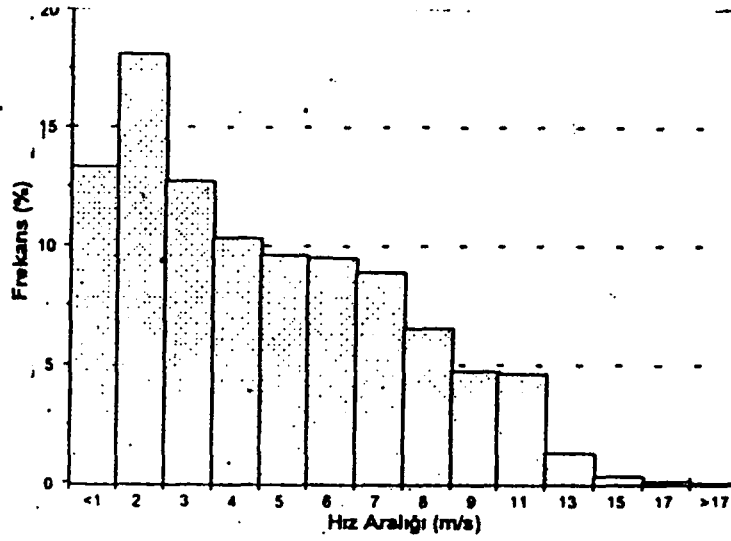
Ölçülen verilerin, rüzgar potansiyelini belirlemede doğrudan kullanılması hatalara sebep olabilir. Çünkü bu istasyonların çevresi, zaman içinde gelişerek şehirleşebilir, dolayısıyla bu izlemeler zamanla bozulabilmektedir.

Bu yüzden rüzgar hız ve yönünü etkileyen yakın çevre engelleri, 1/5000 ölçekli imar planları kullanılarak yerinde incelemelerle ve daha önce yapılmış olan bir takım çalışmalardan faydalanılarak tespit edilmiştir.

Söz konusu çalışmada, saatlik rüzgar verilerinin yönlere ve hız aralıklarına göre frekans analizlerinin sonuçlarından yola çıkarak, istasyonlar için rüzgar gülleri ve rüzgar hızı histogramları hazırlanmıştır. Araştırma kapsamındaki Bandırma istasyonuna ait grafikler Şekil 3.3 a ve b' de gösterilmiştir.



Şekil 3.3 a) Bandırma rüzgar gülü



Şekil 3.3 b) Bandırma rüzgar hız histogramı (Dündar ve İnan, 1999).

Çalışma bölgelerinde, öncelikle WA<sup>SP</sup> ile standart yüksekliklerdeki gerçek rüzgar hızları ve potansiyelleri hesaplanmış, daha sonra bu yükseklikler için düzeltilmiş ortalama hız ve potansiyel hesapları yapılmıştır. Çeşme istasyonuna ait sonuçlar Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 Çeşme istasyonu noktasal analiz sonuçları özet çizelgesi (Dündar ve İnan, 1999).

DEĞİŞKEN	Yer düzeyinden yükseklik			
	10 m	25 m	50 m	100 m
Ortalama rüzgar hızı (m/s)	1,8	6,1	7,0	7,8
Düzeltilmiş ortalama rüzgar hızı (m/s)	4,7	6,2	7,0	7,8
Değişim oranı (%)	161,1	1,6	0,0	0,0
Ortalama enerji yoğunluğu (W/m <sup>2</sup> )	13	338	480	652
Düzeltilmiş ortalama enerji yoğunluğu (W/m <sup>2</sup> )	162	364	481	652
Değişim oranı (%)	1.146,2	7,7	0,2	0,0

Üretilebilecek yıllık elektrik enerji miktarlarını belirleyebilmek amacıyla Çeşme bölgesinde yedi nokta seçilmiştir. WA<sup>SP</sup> programı kullanılarak; 40,5 m yüksekliği ve 500 kW gücünde

bir rüzgar türbini temel alınarak ortalama rüzgar hızları, enerji yoğunlukları, üretilebilecek yıllık elektrik enerjisi miktarları Çizelge 3.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 Çalışma alanı içinde seçilmiş bazı yerler için hesaplanan ortalama rüzgar hızı (v), enerji yoğunluğu (P) ve üretilebilecek yıllık enerji miktarları (E) (Dündar ve İnan, 1999).

Seçilen yer (Nokta)	v (m/s)	P (W/m <sup>2</sup> )	E (MW.saat/yıl)
Meteoroloji istasyonu	6,8	449	1.230
Ovacık	7,5	623	1.479
Bedir	7,8	687	1.552
Alaçatı	7,7	658	1.525
Ermeğan	7,6	643	1.486
Çiftlikköy	7,3	568	1.420
Kermiyan	7,3	570	1.404

8.Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği tarafından yapılan sınıflandırmaya göre, rüzgar türbini eksen yüksekliğindeki ortalama rüzgar hızları sırasıyla; 6,5 m/s için iyiye yakın, 7,5 m/s için iyi ve 8,5 m/s için ise çok iyi olarak belirlenmiştir.

Noktasal analiz sonuçlarına göre; Bandırma, Bodrum, Bozcaada, Çeşme ve Sinop’taki ölçüm noktaları için yer düzeyinden 50 m yükseklikteki düzeltilmiş ortalama rüzgar hızları sırasıyla 7,0- 8,6- 9,1- 7,0 ve 7,3 m/s olarak hesaplanmıştır.

Bu da bize, rüzgar enerjisinin kullanılması gereken bir kaynak olduğunu göstermektedir. Ayrıca bu bölgelerde, türbinleri yerleştirmek için daha açıklık ve daha yüksek alanlar olduğu düşünülürse verimin de ne denli artacağı tahmin edilebilir (Dündar ve İnan,1999).

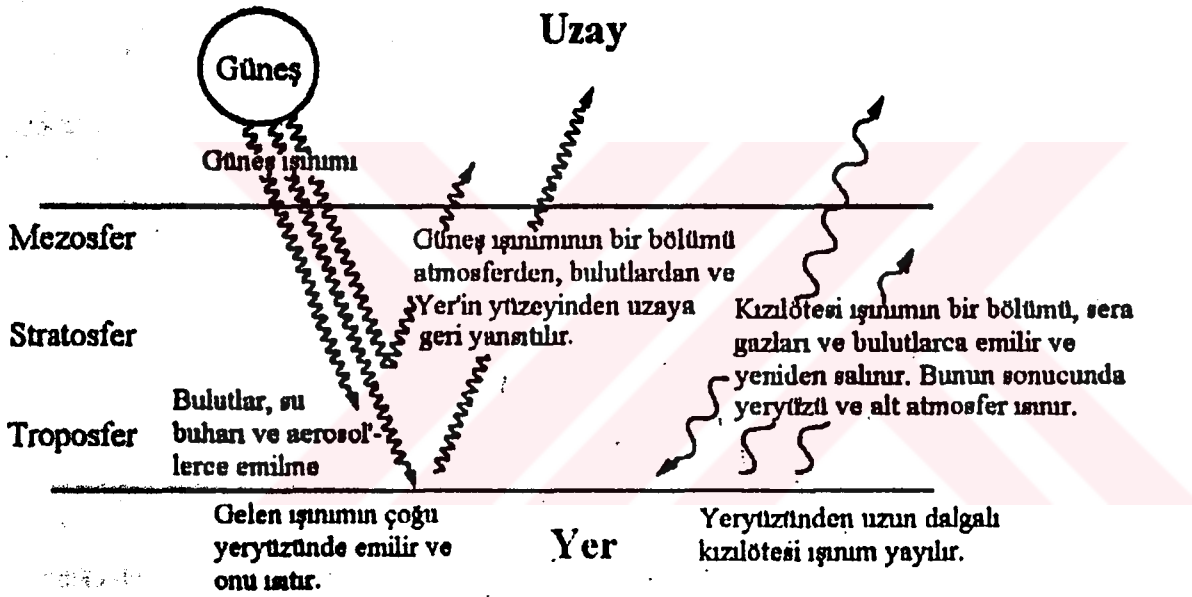
### 3.6 Rüzgar Enerjisi ve Çevre

Rüzgar enerjisinin en önemli çevresel yararı, hava kirleticileri ve sera gazları emisyonlarının olmayışıdır.

İklim sistemi için önemli olan doğal etmenlerin başında, sera etkisi gelmektedir. Bulutsuz ve açık bir havada, kısa dalgalı güneş ışınımının önemli bir bölümü atmosferi geçerek yeryüzüne ulaşır ve orada emilir. Ancak, yerkürenin sıcak yüzeyinden salınan uzun dalgalı yer ışınımının bir bölümü, uzaya kaçmadan önce atmosferin yukarı seviyelerinde bulunan çok sayıdaki ışınımsal olarak etkin sera gazları tarafından emilir ve sonra tekrar salınır. Doğal sera

gazlarının en önemlileri; su buharı (H<sub>2</sub>O), karbondioksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), diazotmonoksit (N<sub>2</sub>O) ve ozon (O<sub>3</sub>) gazlarıdır.

Ortalama koşullarda, uzaya kaçan uzun dalgalı yer ışınımı, gelen güneş ışınımı ile dengede olduğundan, Yerküre/atmosfer birleşik sistemi, sera gazlarının bulunmadığı bir ortamda olabileceğinden daha sıcak olacaktır. Atmosferdeki gazların gelen güneş ışınımına karşı geçirgen, buna karşılık geri salınan uzun dalgalı yer ışınımına karşılık çok daha az geçirgen olması dolayısıyla yerkürenin beklenenden daha fazla ısınmasını sağlayan ve ısı dengesini düzenleyen bu doğal süreç “sera etkisi” olarak adlandırılır. Şekil 3.4, sera etkisinin şematik gösterimidir.



Şekil 3.4 Sera etkisinin şematik gösterimi ( Türkeş vd., 2000)

Ortalama koşullarda, yerküre/atmosfer sistemine giren kısa dalgalı güneş enerjisi ile geri salınan uzun dalgalı yer ışınımı dengededir. Güneş ışınımı ile yer ışınımı arasındaki bu dengelyi ya da enerjinin atmosferdeki ve atmosfer ile kara ve deniz arasındaki dağılışını değiştiren herhangi bir etmen, iklimi de etkileyebilir. Yerküre/atmosfer sisteminin enerji dengesindeki herhangi bir değişiklik “ışınımsal zorlama” olarak adlandırılmaktadır.

Atmosferdeki insan kaynaklı sera gazı birikimlerinde, sanayi devriminden beri oldukça büyük bir artış gözlenmektedir. CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O birikimleri, yaklaşık 1750 yılından beri, sırasıyla %30, %145 ve %15 oranlarında artmıştır. Fosil yakıtların kullanılması da, azot ve kükürt oksitlerle, karbondioksit oluşumuna sebep olmaktadır ( Türkeş vd., 2000).

Rüzgar türbinleri, elektrik üretmek için sadece havayı kullanırlar, bu sayede zararlı gaz çıkışı önlenmiş olur. Örneğin 600 kW'lık bir rüzgar türbini yılda, 1.200 ton karbondioksit oluşumunu önleyecek kadar elektrik üretir (Uyar, 1998).

Bunun yanı sıra şu an en temiz kaynak olarak görülen doğal gaz bile yanarken oksijen tüketmektedir. Halbuki 600 kW'lık bir rüzgar türbini, aynı enerjiyi kömürle yakan santrallere göre 80 bin ağaca eşdeğerde oksijen sağlamaktadır.

ABD de, çevreye olumsuz katkılarda bulunan ülkelerden biridir. 2010 senesinde sadece elektrik üretim sektöründe, 1 milyar ton karbondioksit fazlası olacağı öngörümü yapılmaktadır. Dolayısıyla ABD; sera gazı emisyonlarını, bu yıllara kadar 1990'daki seviyeye indirmek durumundadır.

Ülkemizde olduğu gibi ABD de, zengin bir rüzgar potansiyeline sahiptir. Amerikan Rüzgar Enerjisi Birliği; 2010 senesinde ABD'nin rüzgar enerjisi kapasitesinin 30.000 MW olacağını ve yılda 105 milyar kWh elektrik enerjisi üreteceğini öngörmektedir. Bu da, karbondioksit emisyonlarının 100 milyon ton azaltılması anlamına gelmektedir.

Rüzgar enerjisi teknolojilerinin gelişmesi, yeni iş olanaklarının doğmasına da sebep olacaktır. Dünya Enerji Konseyi, 2020 yılında dünyanın rüzgar kapasitesinin 180.000 MW ile 474.000 MW olacağını öngörmüştür. Bu ise, 150 milyar ile 400 milyar dolar değerinde bir iş kapasitesi demektir.

Amerikan Enerji Bakanlığı'nın bilgi kuruluşu EIA'nın verileri kullanılarak, Amerika Rüzgar Enerjisi Birliği tarafından rüzgar ve diğer yakıtların karşılaştırmalı emisyonlarını bulmak için bir takım istatistikler yapılmıştır. Karbondioksit, kükürtdioksit ve azot oksitlerin elektrik üretiminde salınan miktarları, karşılaştırmalı olarak sırasıyla Çizelge 3.4, 3.5 ve 3.6'da gösterilmiştir (Uyar,1999).

Çizelge 3.4 Küresel ısınmaya yol açan karbondioksit için elektrik üretimi karşılaştırmalı emisyonlar

Yakıt	Üretilen kWh başına salınan CO <sub>2</sub> (pound)	Üretilen kWh, 1995 (milyar)	Salınan CO <sub>2</sub> toplam üretim (milyon ton)
Kömür	212	1.653	1.754
Doğal gaz	1,34	268	180
Petrol	1,96	56	55
ABD ortalama yakıt karışımı	1,33	2,995	1,991
Rüzgar	0	3	0

Çizelge 3.5 Asit yağmuruna yol açan kükürtdioksit için elektrik üretimi sırasında karşılaştırmalı emisyonlar

Yakıt	Üretilen kWh başına salınan SO <sub>2</sub> (pound)	Üretilen kWh, 1995 (milyar)	Salınan SO <sub>2</sub> toplam üretim (bin ton)
Kömür	0,0136	1.663	11.260
Doğal gaz	0,000007	268	1
Petrol	0,0123	56	345
ABD ortalama yakıt karışımı	0,0078	2.995	11.608
Rüzgar	0	3	0

Çizelge 3.6 Asit yağmuruna ve duman oluşumuna yol açan azot oksitler için elektrik üretimi sırasında karşılaştırmalı emisyonlar (Uyar, 1999).

Yakıt	Üretilen kWh başına Salınan NO <sub>x</sub> (pound)	Üretilen kWh, 1995 (milyar)	Salınan SO <sub>2</sub> toplam üretim (bin ton)
Kömür	0,0079	1.653	6.514
Doğal gaz	0,0046	268	614
Petrol	0,0036	56	102
ABD ortalama yakıt karışımı	0,0048	2.995	7.233
Rüzgar	0	3	0

1992’de Rio de Janeiro, 1997’de Kyoto, 1998’de Buenos Aires ve 1999’da Bonn’da gerçekleştirilen toplantılar sonunda “Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Antlaşması” imzaya açılmış ve halen daha ayrıntılar üzerinde tartışmalar devam etmektedir. Küresel iklim değişikliğine yol açan kömür, doğal gaz ve petrol gibi tüm fosil yakıtların kullanımının sınırlandırılması da tartışılan konular arasındadır. BM İklim Değişikliği Çerçeve Antlaşması’nda, fosil yakıtlı santrallerin yol açtığı karbondioksit, metan gibi sera gazı emisyon kaynaklarının temizlenmesinin de maliyet getirdiği bildirilmektedir (Uyar,2000).

### 3.7 Rüzgar Enerjisi Dönüşüm Sistemleri

#### 3.7.1 Uygun bölge seçimi

Uygun bölge seçimi, istatistiksel yöntemlerle hesaplanan kararlı rüzgar rejimlerine göre yapılmaktadır. Rüzgarın sürekliliği; enerjiden elde edilecek kara karşılık işletme ve bakım masrafları düşünüldüğünde, santral alanının kendisini kurtarması için, önemli bir kriterdir.

Rüzgar hız ve yön ölçümleri, topografik yapı ve arazi pürüzlülüğü; rüzgar rejimini belirleyen kriterlerdir.

Rüzgar türbinlerinin yerleştirileceği bölgenin, özellikle birçok rüzgar türbininin bir arada bulunduğu rüzgar çiftliğinin kurulması düşünülen yerlerin geniş arazi gerektirmesi de, bölge seçiminde dikkat edilmesi gereken bir husustur. Bu santral alanlarında; türbinlerin birbirlerine çok yakın yerleştirilmeleri, türbinlerin rüzgar hızını azaltmaları yüzünden mümkün değildir.

Ancak yine aynı nedenle santral alanının efektif olarak kullandığı alan, aradaki yolları ve tesisleri de içine alsa dahi %1'i geçmez ve geri kalan arazi tarım ve hayvancılık amacıyla kullanılabilir (Ültanır,1997).

Ayrıca rüzgar enerjisi yönünden uygun bölgelerin değerlendirilmelerinde, yöresel sosyo-ekonomik faktörler de dikkate alınmalı, arazinin mevcut ve potansiyel kullanım amaç ve imkanları, mukayeseli maliyetler açısından araştırılarak en uygun kullanım imkanının belirlenmesi yönünde değerlendirilmelidir.

Rüzgar santralının kurulacağı yerin tespit edilebilmesi için öncelikle en az bir yıllık rüzgar ölçümleri yapılmalıdır. Rüzgar ölçümleri; rüzgarın hızı, yönü, hava basıncı vb. içermektedir.

Bu ölçümlerin en önemlisi rüzgar hızı ölçümüdür. Ölçüm, tahmini türbin yüksekliklerine yerleştirilmiş ve genellikle 10 dakikalık ortalamalar halinde rüzgar hızını kaydeden anemometreler ile yapılır. Bu anemometreler; buzlanma, yıldırım gibi dış etkenlere karşı oldukça dayanıklı olarak yapılmış elektronik anemometrelerdir. İlk aylarda yapılan ölçümler, çok olumlu olsa bile yine de uzun vadeli ölçüm sonuçları alınmalıdır.

Bunun sebeplerinden biri, rüzgarda enerjinin kübik gitmesidir. Bir örnekle açıklamak gerekirse, 4 m/s hızla esen rüzgar ile 5 m/s hızla esen rüzgar arasında, üretilen enerji açısından iki misli fark vardır. 4 m/s için enerji 39 W/m<sup>2</sup> iken 5 m/s için 76,3 W/m<sup>2</sup> olmaktadır.

Ayrıca bir rüzgar enerjisi projesinin, işletme giderleri son derece düşük olmasına rağmen, ön yatırımı oldukça pahalıdır. Bu sebeple rüzgar çiftliği kurabilmek için uzun süreli ölçüm sonuçlarından yararlanılmalıdır. Aksi takdirde Avrupa'da bazı bölgelerde olduğu gibi %1-2 kapasite ile çalışan ölü rüzgar çiftlikleri yaratılabilir.

Rüzgarın esiş yönünü tayin etmek amacıyla, rüzgar gülleri kullanılmaktadır. Rüzgar gülleri, Avrupa Rüzgar Atlas standardına göre, her biri 30°'ye karşılık gelen 12 bölgeye ayrılmıştır. Her bölgede, üç adet gösterge bulunmakta olup, bunlardan ilki rüzgarın zamanın yüzde kaçında hangi yönden estiğini, ikincisi esiş yönlerinin rüzgar hızı ile çarpımını, üçüncüsü ise esiş yönlerinin rüzgar hızının kübü ile çarpımını göstermektedir.

Bu ölçümlerden sonra, pürüzlülük sınıflarına göre değerlendirmeler yapılır. Yani rüzgarın türbine geliş yönündeki arazi incelenir. Pürüzlülük sınıfı sıfır ile dört arasında bir değerdir. Deniz yüzeyi ideal olarak kabul edilmiş olup, pürüzlülük sınıfı sıfırdır. Çok binalı ve ağaçlı tip yerler üçüncü veya dördüncü sınıftır. Buna göre 1 km'ye kadar olan engellerin rüzgar hızına olan etkileri hesaplanır. Bu da "geçirgenlik" olarak adlandırılır. Bir binanın

geçirgenliği %0 olup, bir ağaç topluluğunun dalları arasındaki boşluklara göre, %30 ile %70 arasında bir geçirgenlikten söz edilebilir. Engellerin tümünün rüzgar hızına etkileri göz önüne alınarak çalışmaya devam edilmelidir (Bahar ve Demirören, 1999).

### 3.7.2 Rüzgar santralleri teknolojisi

Rüzgar santralının ana yapı elemanı aerogeneratör de denilen rüzgar türbinidir. Bir rüzgar türbini; kanatların, göbeğin ve milin bağlandığı rotor, vites kutusu, frenleme mekanizması, generatör, kule, denetim ve güvenlik sistemlerinden oluşan alt sistemlerden oluşur. Türbinin gövde içi Şekil 3.5’de gösterilmiştir.

Rüzgar türbinleri, yatay eksenli veya dikey eksenli olarak üretilirler. Türbin tipleri, Bölüm 3.7.3’de daha ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

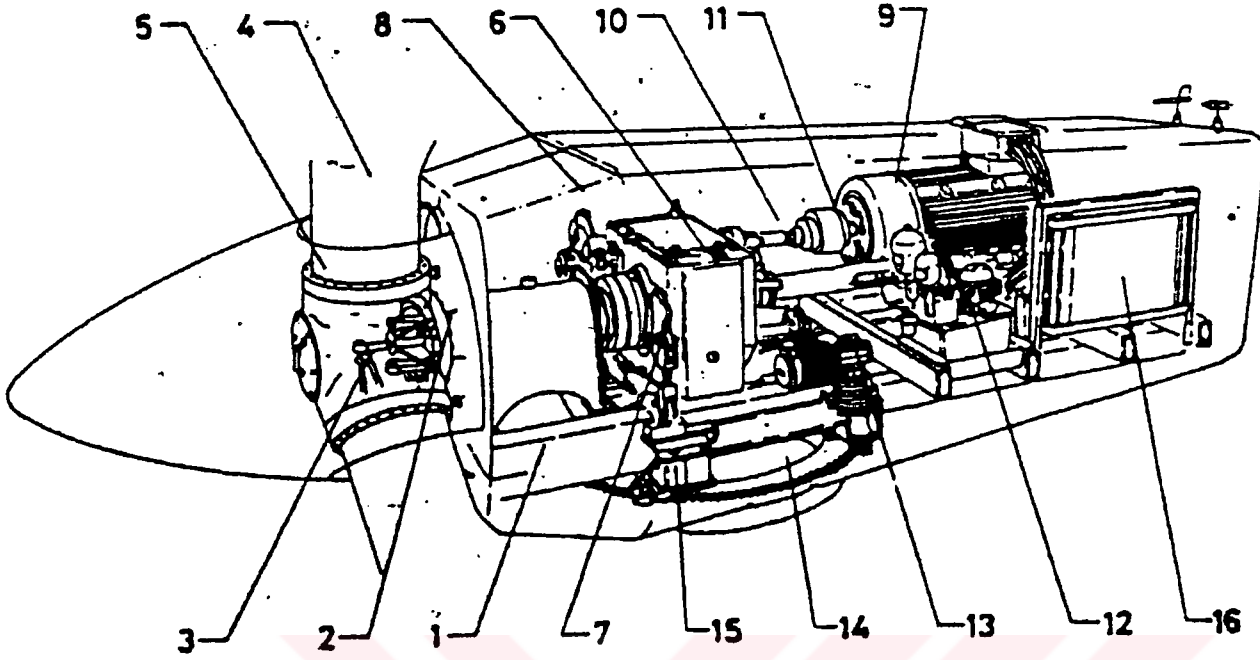
Bir rüzgar türbininde, güç üretiminin temel prensibini, kanatlara gelen rüzgarın oluşturduğu moment teşkil etmektedir. Kanatlar aracılığıyla bir vites kutusu üzerinden rotora ulaştırılan güç en büyük oranda, rüzgar hızına bağlıdır. Çünkü rüzgar hızı, çıkış gücünü kübü oranında etkilemektedir.

Rüzgarın oluşturduğu moment, pervaneyi dişli çark düzenine bağlayan ve düşük devirle dönen bir mil üzerine aktarılır. Bu mil üzerinde, hidrolik ünitenin frenleme mekanizması için gerekli iletim boruları da bulunmaktadır. Aktarılan moment, bir dişli çark kutusu üzerinden 1.500 d/d hızla dönen bir başka mile iletilir. Bu mil doğrudan generatörü tahrik eder ve üzerinde, hidrolik frenleme ünitesinin çalışmaması durumunda acil frenleme yapabilmek amacıyla bir mekanik fren sistemi de bulunmaktadır.

Generatör senkron veya asenkron olarak seçilebilir. Asenkron generatörler, basit ve ucuz olmalarına rağmen şebekeden reaktif güç çekmeleri dezavantajlarıdır. Senkron generatörlerin ise reaktif güç problemi olmamasına karşın, bunlar da pahalıdır. Kullanımdaki türbinlerin çoğunda asenkron generatörler kullanılmaktadır.

Rüzgarın tam olarak karşıdan alınabilmesi amacıyla, türbin içerisindeki ayar mekanizması aracılığıyla türbinin yönü birkaç derece kadar döndürülebilir. Bunun için bir elektronik kumanda sistemi, türbin üzerindeki anemometre ve ilgili cihazlarla bağlantı kurarak ayar mekanizmasını yönlendirir.

Generatörün soğutulmasını sağlamak amacıyla sistemde bir de havalandırma ünitesi mevcuttur (Bahar, Demirören, 1999).

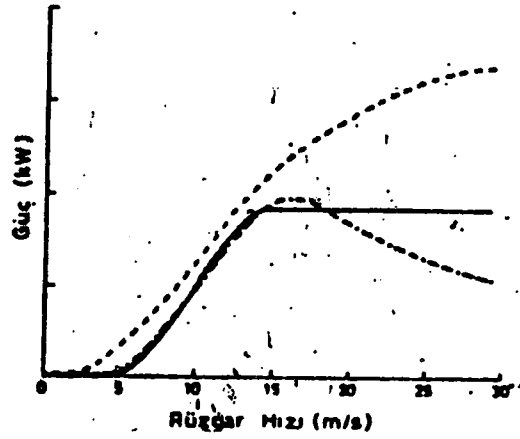


1.Makine şasesi, 2. Ana mil (şaft), 3. Göbek (hub), 4. Kanat, 5. Döküm çelik bağlantı ucu, 6. Dişli kutusu 7. Dişli bağlama çubuğu, 8. Disk fren, 9. Generatör, 10. Kardan mili, 11. Kavrama, 12. Hidrolik ünite, 13. Yav dişlisi, 14. Yav halkası, 15. Yav kontrol, 16. Kontrol ünitesi.

Şekil 3.5 Bir rüzgar türbini teknesinin içi (Ültanır, 1999).

Bir türbinin gücü; rüzgar hızının, rotor süpürme alanının ve güç faktörünün (iyilik derecesinin) bir fonksiyonudur. Üretilen güç; analitik olarak güç faktörü, süpürme alanı ve rüzgar hızının kübü ile doğru orantılıdır.

Aynı çaplı değişik rotorların güç karakteristik eğrileri, Şekil 3.6'de gösterilen biçimde birbirinden farklı olmaktadır. Rüzgar hızı yükseldikçe arttığından, aynı çaplı bir rüzgar rotorunun daha yüksek bir kuleye yerleştirilmesi ile elde edilebilecek güç artmakta ise de, kule kütlesinin ve maliyetinin artması bir sınır koymaktadır. Türbinden bir yıl boyunca üretilen enerji ise yıllık ortalama rüzgar hızına ve rüzgar frekansına bağlıdır (Ültanır,1997).



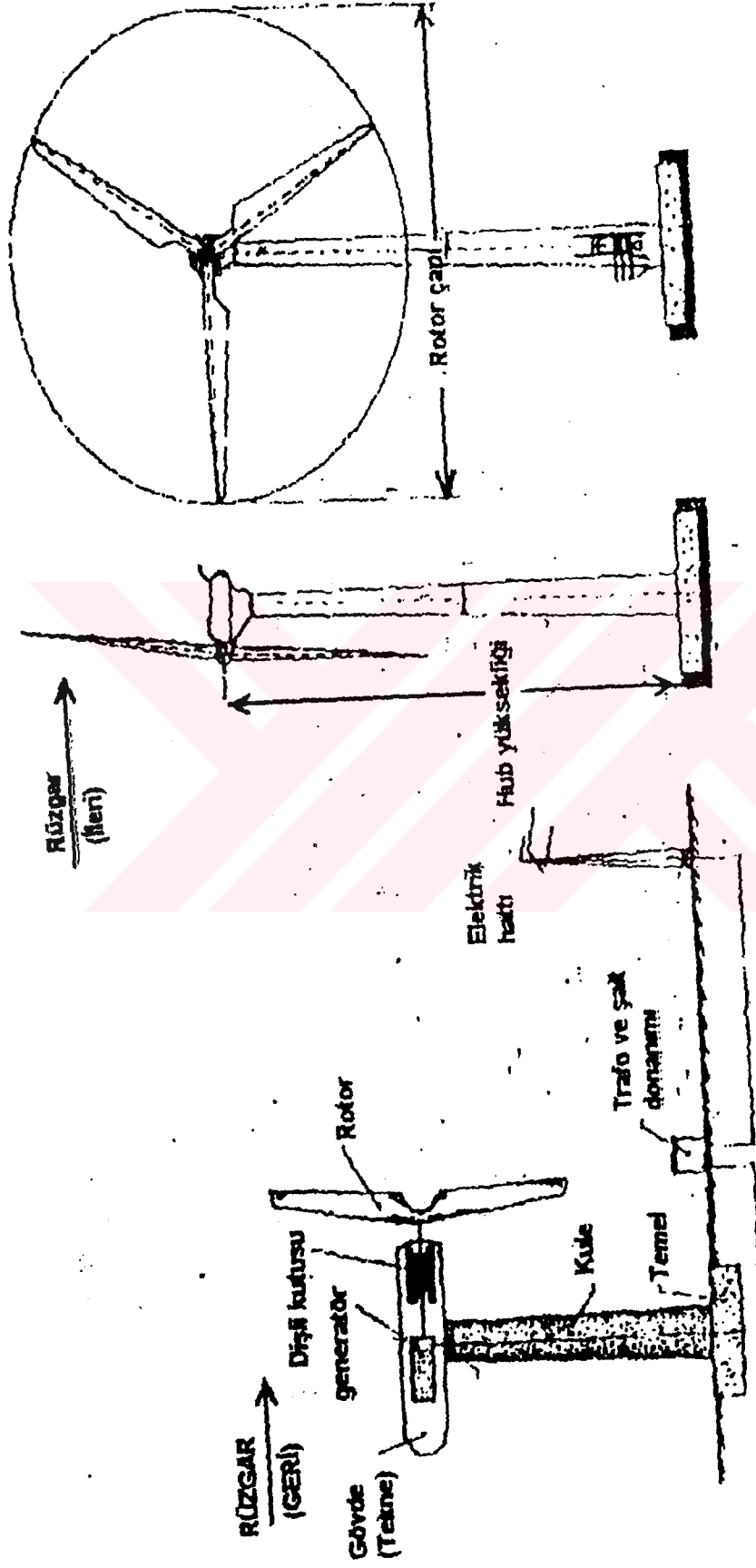
Şekil 3.6 Rotor çapı aynı olan değişik rüzgar türbinlerinin tipik güç eğrileri (Ültanır, 1997).

### 3.7.3 Türbin tipleri

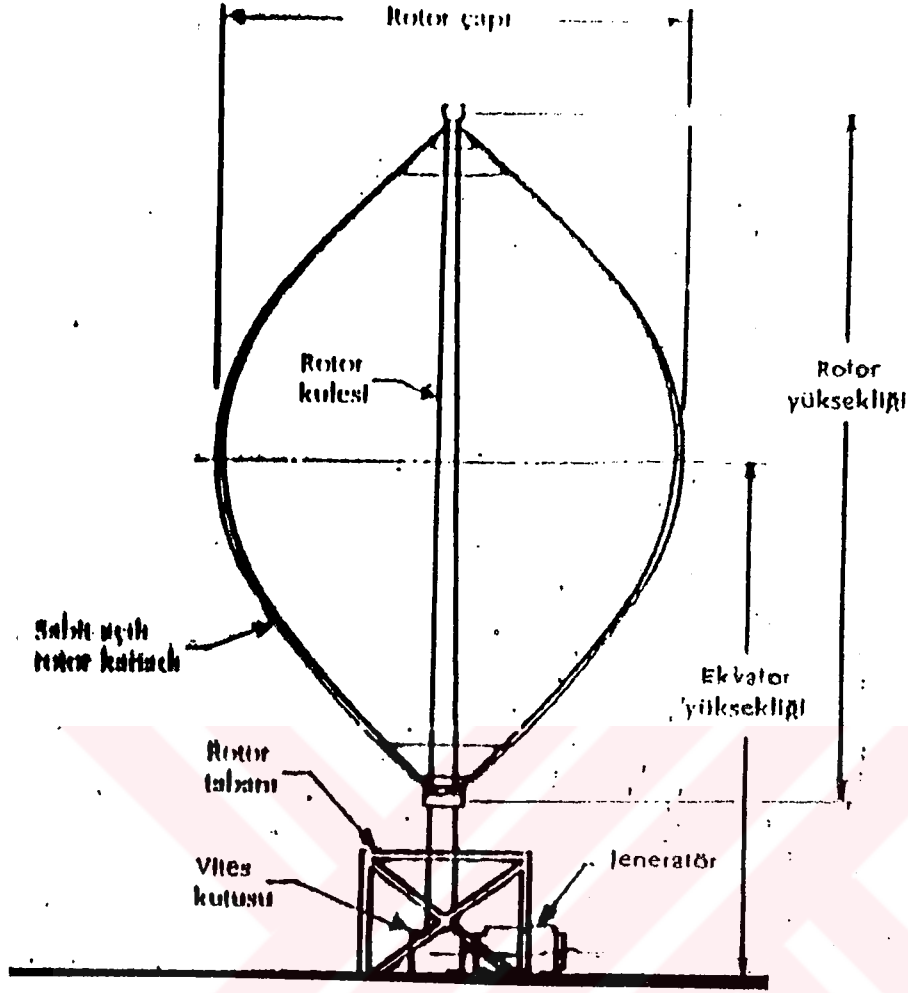
Türbinler; döntüş eksenlerinin doğrultusuna göre, yatay eksenli ve dikey eksenli türbinler olarak ikiye ayrılmalarına rağmen, şu anda kullanımda olan ve üretilen türbinlerin büyük çoğunluğunu, yatay eksenli türbinler teşkil etmektedir.

Yatay eksenli türbinler, rüzgarın kuleyi yalamadan rotora çarpması durumunda ileri ya da üst rüzgarlı, önce kuleye dokunup sonra çarka gelmesi koşulunda geri ya da alt rüzgarlı türbin adını alırlar.

Dikey eksenli türbinler, rüzgarın esiş yönünden bağımsız çalışabilme avantajlarına rağmen henüz yüksek güçlerde üretilmemektedir. Orta güçlerdeki dikey eksenli rüzgar türbinleriyle ise daha verimli bir işletme elde edilebilmektedir. İleri ve geri rüzgarlı yatay eksenli türbinler Şekil 3.7'de ve dikey eksenli rüzgar türbini ise Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7 İleri ve geri rüzgarlı yatay eksenli türbinler (Ültanır, 1997)

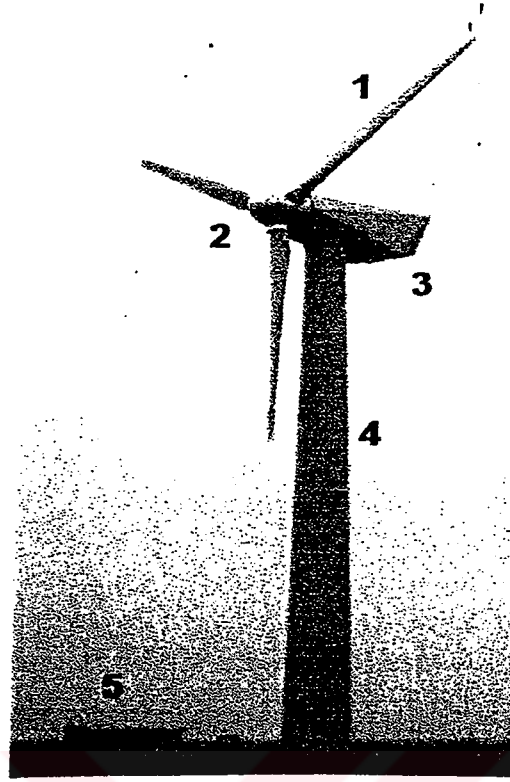


Şekil 3.8 Dikey eksenli rüzgar türbini ( Uyar, 1994)

Rüzgar türbinleri boyut ve tip olarak çeşitlilik gösterirler. Yüksek devirli türbinler, tek veya rüzgar çiftlikleri halinde kurulup, ulusal elektrik şebekesine bağlı olarak elektrik üretebilirler. Şu anda ticari olan türbinlerin tipik büyüklükleri şu değerler arasındadır:

Rotor çapı:	40-65 metre ,
Kule yüksekliği:	40-90 metre,
Pala sayısı:	2 veya 3,
Nominal güç:	250-2.500 kW,
Arazi kullanımı:	%1 rüzgar çiftliği alanı.

Rüzgar enerjisi dönüştürme sistemlerini oluşturan bileşenler, Şekil 3.9'de gösterilmiştir.



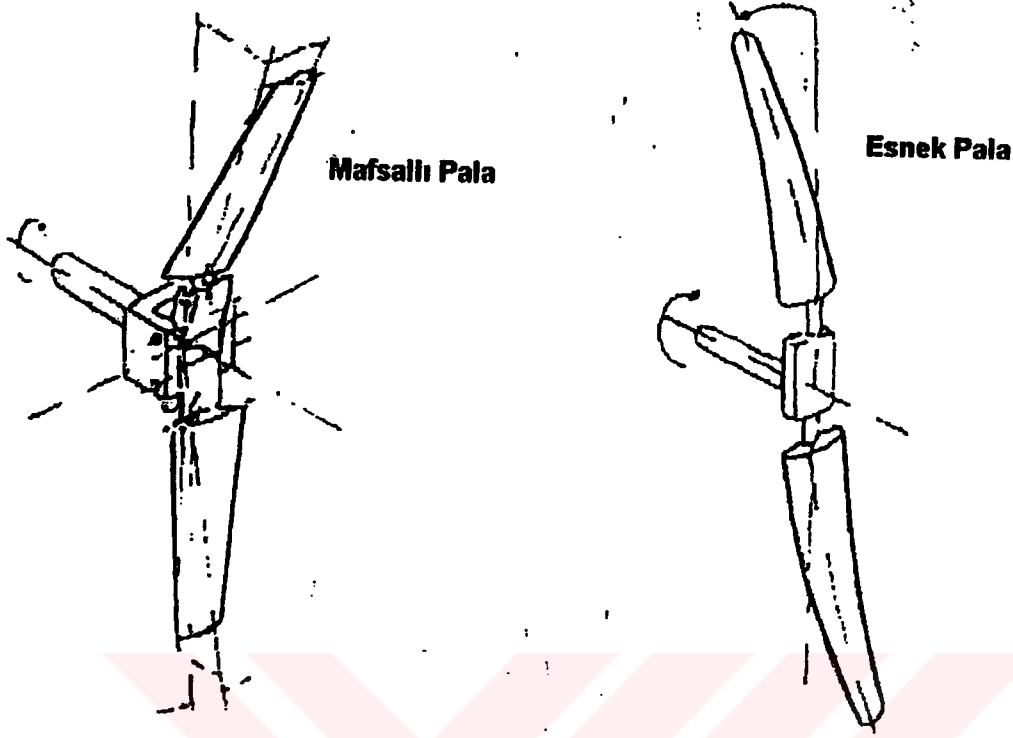
1.Palalar, 2. Rotor göbek bağlantısı, 3. Generatör ve güç aktarımı, 4.Kule, 5. Güç kontrol ve destek sistemleri

Şekil 3.9 Rüzgar enerjisi dönüştürme sistemleri ve bileşenleri (Ültanır, 1997)

Rotor palaları, uçak kanadına benzer kesit profillerine sahiptir. Pala malzemesi olarak cam elyafı ile desteklenen polyester ve epoksi, ince tabakalara ayrılmış ağaç, alüminyum veya çelik kullanılmaktadır.

Hafif ancak güçlü kompozit malzemelerden yapılan palalar, çalkantılı rüzgarlara dayanım gösterebilmekte ve daha az rotor aşınmasına neden olmaktadır. Artık çok az kullanılan çelik ise imalat kolaylığı, dayanıklılık ve düşük maliyet sebebiyle tercih edilebilmektedir. Ağaç tabakalarının ise mükemmel bir yorgunluk dirençleri vardır.

Rotor göbeğinin esnek veya hareketli yapılması sayesinde rotor verimi artar, yapısal yükler ve şaftın uğrayacağı zarar en aza indirgenmiş olur (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Esnek rotor konfigürasyonları (Ültanır, 1997).

Sabit hızlı türbinlerde, basit ve ucuz olmaları dolayısıyla çoğunlukla asenkron generatörler kullanılmaktadır. Türbin devir sayısının generatör senkron devrine çıkarılması için kullanılan vites kutusu; paralel shaft ve dişli çark olmak üzere iki ayrı tipte olabilmektedir. Paralel shaft tasarımları basittir, ancak ağırdır. Dişli kutuları, maliyet ve ağırlık yönünden de daha sık tercih edilmektedirler.

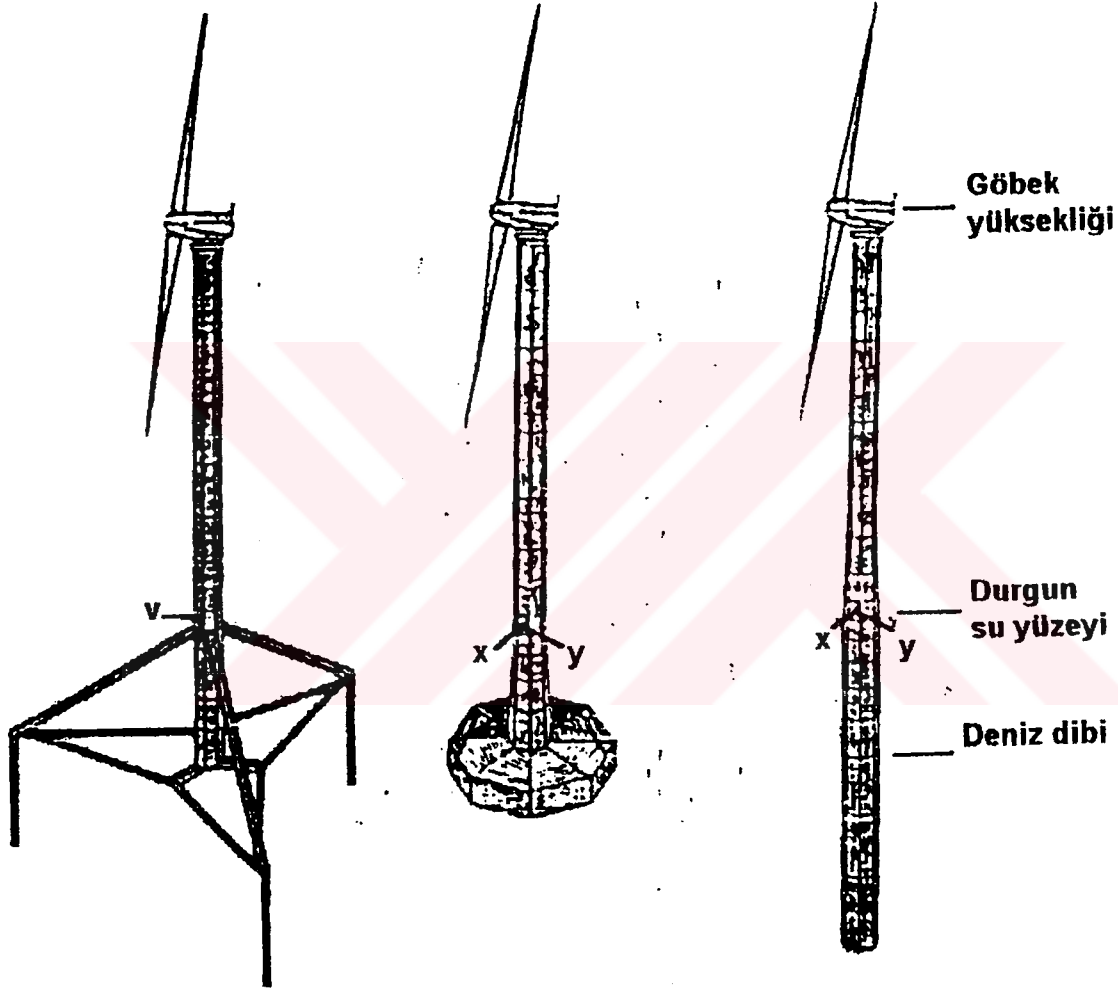
Türbin sistemlerinin üzerine inşaa edildiği kuleler, kafes yapılı veya boru tipi olmak üzere iki ayrı tipte inşaa edilmektedirler. Kafes kulelerin maliyeti daha düşüktür, boru tipi ise dış görünüş, cihazların hava koşullarından korunması ve bakımlarında sağladığı kolaylık sebebiyle tercih edilmektedir.

Rüzgar yönlerinin gösterdiği sürekliliğin yetersiz olduğu durumlar için kule sistemleri ya da türbin kısmı rüzgara yönelmeli yapılabilir. Değişken rüzgar rejimleri altında çalışan sistemlerde, gücün kesintisiz olarak eldesi için, dönüşüm sistemlerinde; elektronik ve bilgisayar kontrolünden yararlanır.

Son yıllarda deniz üstü türbin sistemleri, çok önem kazanmaya başlamıştır. Türbin sistemlerinin karada çok geniş bir araziye yayılmasından doğabilecek problemler, böylece

sorun olmaktan çıkmaktadır. Ayrıca rüzgarın arazi koşulları ve çeşitli engeller yüzünden kararsız rejimlere girmemesi de, deniz üstü türbin sistemlerinin avantajlarından biridir. (Şekil 3.11).

Deniz üstüne tesis edilen santrallerin, karada kurulmuş olan bir rüzgar santraline oranla maliyetleri; 1,5 – 2 kat fazladır. Bu maliyet artışının en önemli sebebi; deniz üstüne tesis edebilmek amacıyla kullanılan demir temellerdir (Bahar, Demirören, 1999).



Şekil 3.11 Deniz üstü türbinler ve dip yapıları (Ültanır, 1997).

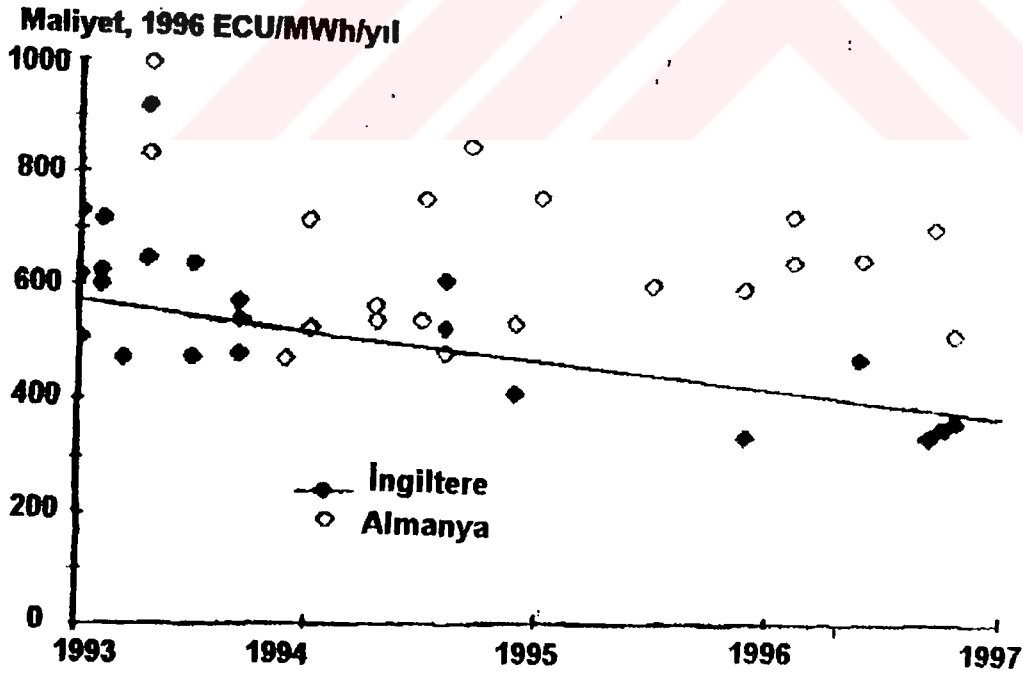
## 4. RÜZGAR SANTRALİ MALİYETLERİ

### 4.1 Dünya Genelinde Rüzgar Santrali Maliyetlerine Ait Bilgiler

Rüzgar enerjisi teknolojileri, ekonomik maliyet açısından çok hızlı ve istikrarlı bir gelişme göstermektedir. "Pasific Gas & Electric ve Electric Power Research Institue", rüzgar enerjisinin en ucuz elektrik üretim kaynağı olacağı yolunda, 1990'lı yılların başlangıcında, ileriye dönük görüşler bildirmiştir.

Amerika'da 1981 yılında ilk rüzgar enerjisi projelerinde rüzgar elektriğinin birim maliyeti 30 Cts/kWh iken, onbeş yıl sonrasında 5 Cts/kWh'in altına düşürülmüş olup, 1996 yılında 3,9 Cts/kWh'a kadar inen uygulamalar vardır.

Avrupa'da rüzgar elektriğinin en yüksek maliyeti, 0,09 ECU / kWh (10,2 Cts/kWh) ile kurulu gücün en çok olduğu Almanya'da görülmekte, en düşük maliyet ise İngiltere'de 0,05 ECU / kWh ( 5,7 Cts/kWh) düzeyinin altında bulunmaktadır. Ancak Almanya'da 5,6 Cts/kWh'a düşen, İngiltere'de ise 6,2 Cts/kWh'a çıkan uygulamalar vardır.

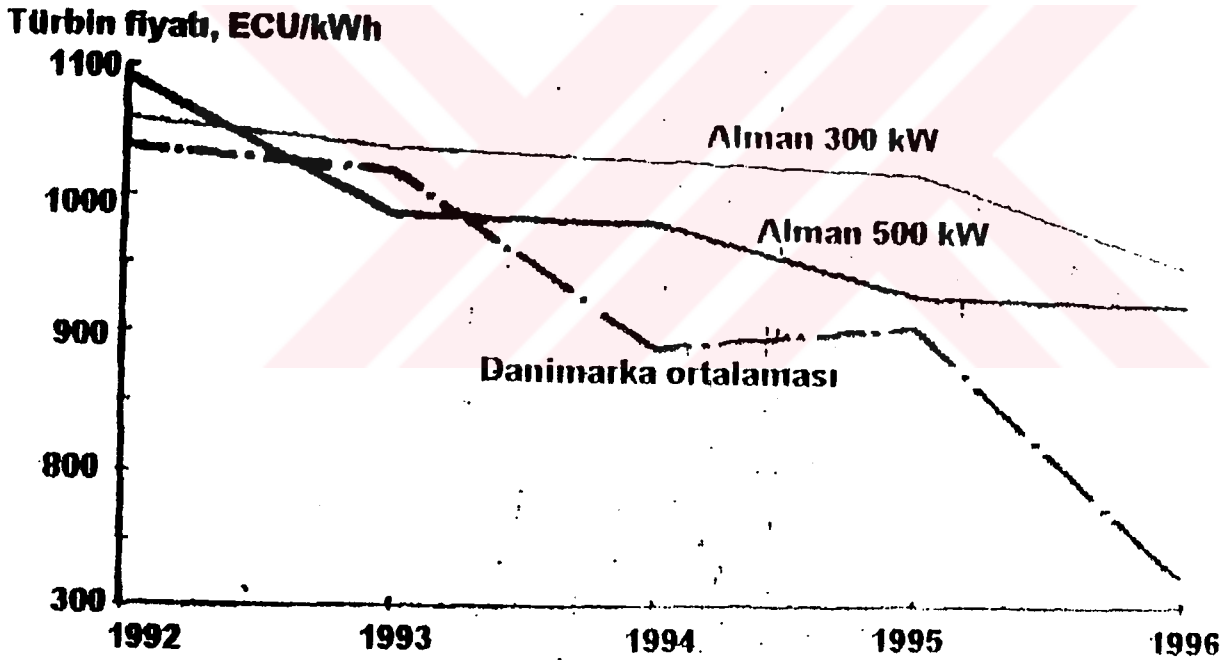


Şekil 4.1 Rüzgardan üretilen elektriğin MWh/yıl maliyetinin trendi (Ültanır, 1997).

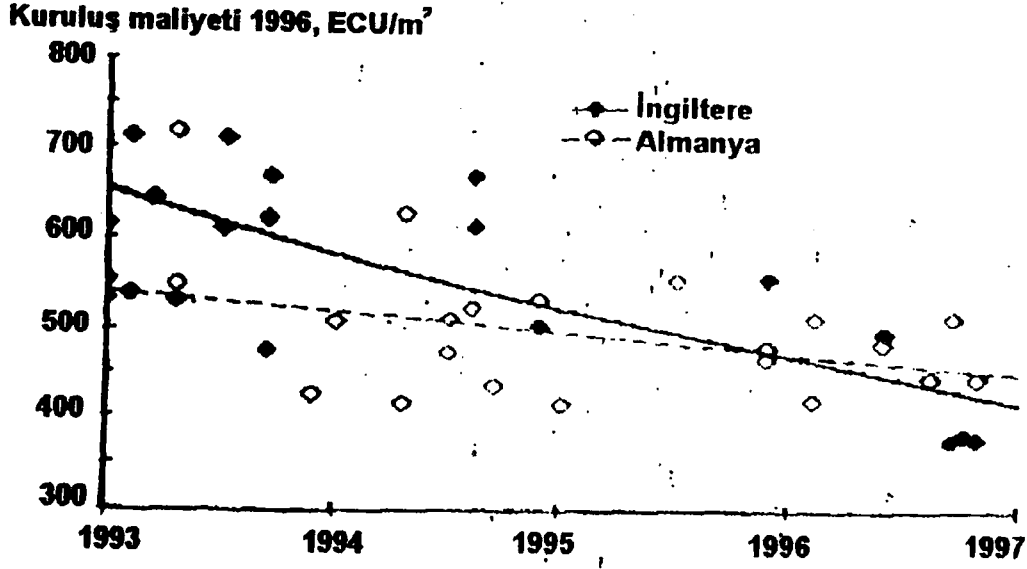
Ekonomik değerlendirmede, türbinlerin birim güç fiyatları da önemlidir. Avrupa'da rüzgar türbini üretici 18 büyük firmadan Türkiye için alınan tekliflere göre, özgül türbin fiyatları 900-1.250 \$/kW arasında bulunmaktadır.

Genelde türbin gücünün artması ile özgül türbin fiyatı düşmektedir. Örneğin, 100 kW'ın altındaki makinalarda özgül fiyatın 1.300-1.700 \$/kW düzeylerine yükseldiği grlmektedir. 100-250 kW arasındaki türbinler için özgül fiyat 1.150- 1.400 \$/kW düzeylerindedir.

Türbin fiyatları ülkelere göre değişiklik göstermektedir. Türbin fiyatlarının Almanya ve Danimarka'da 1992-1996 yılları arasındaki değişim trendi Şekil 4.2'de grafik olarak verilmiştir. Şekil 4.3'de ise İngiltere ve Almanya'da rotor süpürme alanının metre karesi başına türbin kurulma maliyetinin trendi gösterilmiştir (ltanır, 1997).



Şekil 4.2 Türbin fiyatları trendi (ltanır, 1997).



Şekil 4.3 Rotor süpürme alanının metrekaresine düşen kurulma maliyeti trendi (Ültanır, 1997).

Danimarka'daki Vestas Rüzgar Sistemleri Şirketi, dünyanın önde gelen rüzgar türbin üreticisidir. Şirketin genel müdürü Johannes Poulsen, rüzgar gücü maliyetinin 1987'den bugüne kadar %30 azaldığını ve 2003 yılına kadar %20-30'luk azalma daha olacağını açıklamıştır.

Washington'daki Yenilenebilir Enerji Politikaları Projesi bulgularına göre 1997 yılında 1000 \$/kW olan rüzgar türbinlerinin yatırım maliyetleri 2006 yılında 600 \$/kW'a düşecektir.

Minnesota Kamu Elektrik Şirketleri Komisyonu'na, Amerikan arazi koruma grubu "İzaak Walton League" tarafından 1998 ayının Temmuz ayında yapılan sunuşta, rüzgar enerjisi maliyetlerinin en ucuz olarak bilinen doğal gaz maliyetlerinin de altına düşeceği açıklanmıştır. Buna göre, 400 MW yeni rüzgar güç kapasitesi geliştirmek aynı kapasitedeki doğal gaz kombine çevrim santralinden %7 daha ucuzdur. Bu sunuşun neticesi olarak da, oybirliğiyle 400 MW yeni rüzgar kapasitesinin kurulması kararlaştırılmıştır. Bu uygulama, rüzgar enerjisi ekonomisinin her geçen gün daha da iyiye doğru gittiğinin ilk kanıtı olmuştur.

Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği tarafından, 22 Nisan 1999 tarihinde yapılan basın açıklamasında dünya rüzgar kapasitesinin 10.000 MW'ı aştığı duyurulmuştur. Bu, 10 milyar dolar değerinde rüzgar türbininin satıldığını ifade etmektedir. Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliğinin hedefi, Avrupa için 2010 yılında 40.000 MW, 2020 yılında ise 100.000 MW rüzgar güç santral kapasitesini tesis etmektir.

Gelişen rüzgar enerjisi sayesinde imalat ve bakımla ilgili olmak üzere yeni iş olanakları da doğacaktır. 1990'lı yıllarda dünya genelinde rüzgar enerjisi, yıllık %25,7 oranında artmıştır. Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliğine göre 2010 yılında hedeflenen 40.000 MW kapasiteye ulaşılması yılda 1 milyon kişilik bir iş kapasitesi meydana getirecektir .

“Kaliforniya Enerji Komisyonu” çeşitli enerji seçeneklerinin maliyetlerini ve pazara hazırlıklarını incelemektedir ve rüzgar maliyetlerinin artık fosil yakıtların en ucuz seçenekleri olan kömür ve gaz ile rekabet edebilir duruma geldiğini ve ABD Federal Üretim Kredisi ile rekabetin daha da iyileştirilebileceğini savunmaktadır. Çizelge 4.1’de çeşitli yakıt tiplerinin karşılaştırmalı maliyetleri gösterilmektedir (Uyar,1999).

Çizelge 4.1 Temel yakıt tiplerinin maliyetinin rüzgar enerjisi ile karşılaştırılması

Yakıt	Maliyet (sent/kWh)
Kömür	4,8-5,5
Gaz	3,9-4,4
Hydro	5,1-11,3
Biomass	5,8-11,6
Nükleer	11,1-14,5
Rüzgar (ABD Federal Üretim Vergi Kredisi hesaba katılmadan)	4,0-6,0

Rüzgar yeni bir teknoloji olmasına rağmen maliyeti, geleneksel üretimlere göre daha hızlı düşmektedir. Rüzgar türbinlerinin tasarım ömrü 20 yıl olup, işletme ve bakım maliyetleri yatırım maliyetlerinin %2-3’ü kadardır. Ayrıca yakıt maliyeti olmadığından doğal gaz, petrol ve uranyuma benzer temin ve fiyat artışı riskleri yoktur (Uyar,1998).

Çizelge 4.2’de kullanım yerlerine göre belirli güçlerdeki rüzgar türbin tiplerine ait teknik özellikler gösterilmiştir. 30 MW’lık, toplam yatırım tutarı 40.605.000 USD, özkaynağı (%15) 6.090.750 USD, dış kredisi (%85) 34.514.250 USD, 10 yıl vadeli ve faizi %7 olarak kabul edilen, örnek bir rüzgar santralına ait kar ve finans tablosu Çizelge 4.3’de görülmektedir.

Çizelge 4.2 Kızgar türbinlerinin teknik özellikleri

Tip	A	B	C	D	E	F
Kullanım Yeri	Rüzgarlı Bölge	Rüzgarlı Bölge	Az Rüzgarlı Bölge	Off-Shore	Rüzgarlı Bölge	Az Rüzgarlı Bölge
Güç (kW)	500	600	600	1250	1250	1000
Start Rüzgar hızı (m/s)	2,5	2,5	2,5	4,5	3	3
Max. Güç Rüzgar Hızı (m/s)	12,5	11,5	11	15	12,5	11,5
Stop Rüzgar Hızı (m/s)	25	22	20	30	30	30
Güç / Devir Kontrol	Pitch	Pitch	Pitch	Pitch	Pitch	Pitch
Kanat Çapı (m)	41	46	48	56	60	62
Kanat Tarama Alanı (m <sup>2</sup> )	1.320	1.662	1.808	2.462	2.827	3.017
Kanat Ayarı	FSB (Full Span Pitch)		FSP	FSP	FSP	FSP
Kule Yüksekliği	40/55/60/70	40/55/60/70	60/70	50	50/66,5	62
Ana Fren Sistemi	Pitch kontrol	Pitch kontrol	Pitch kontrol	Pitch kontrol	Pitch kontrol	Pitch kontrol
Emniyet Fren Sistemi	Diskli fren	Diskli fren	Diskli fren	Diskli fren	Diskli fren	Diskli fren
Generatör	Asenkron	Çift Beslemeli Asenkron	Asenkron	Asenkron	Çift Beslemeli Asenkron	Asenkron
Anti Yıldırım Sistemi	Rotor kanatlarına yerleştirilmiş Alüminyum profillerle sağlanır					
Anti Buz Sistemi	Rotor kanatlarına yerleştirilmiş Elektrikli Isıtıcılarla sağlanır					
Uzaktan Kontrol- Kumanda	Telefon hattından otomatik data aktarımı ile sağlanmaktadır					
Gürültü Seviyesi (8 m/s) (dB)	99,6	97,9	108,2	101,8	99,8	99,8

2.10 YILLIK ÜRETİM GELİRİ = 5.255.685 USD										
1.10 YILLIK ÜRETİM GELİRİ = 11.095.335 USD										
YILLAR	KREDİ BORÇ BAKIYESİ	KREDİ TAKSİTİ	KREDİ FAİZİ	YILLIK İŞLETME	YILLIK KIRASI	GİDERLER TOPLAMI	YILLIK GELİRİ	YILLIK KARI \$	KAR NAKLİ YEKÜN \$	
1.YIL	34.514.250	0	2.415.998	560.000	121.815	3.097.813	11.095.335	7.997.523	7.997.523	7.997.523
2.YIL	34.514.250	3.451.425	2.415.998	560.000	121.815	6.549.238	11.095.335	4.546.098	12.543.621	12.543.621
3.YIL	31.062.825	3.451.425	2.174.398	560.000	121.815	6.307.638	11.095.335	4.787.697	17.331.318	17.331.318
4.YIL	27.611.400	3.451.425	1.932.798	560.000	121.815	6.066.038	11.095.335	5.029.297	22.360.615	22.360.615
5.YIL	24.159.975	3.451.425	1.691.198	560.000	121.815	5.824.438	11.095.335	5.270.897	27.631.512	27.631.512
6.YIL	20.708.550	3.451.425	1.449.599	560.000	0	5.461.024	11.095.335	5.634.312	33.265.823	33.265.823
7.YIL	17.257.125	3.451.425	1.207.999	560.000	0	5.219.424	11.095.335	5.875.911	39.141.734	39.141.734
8.YIL	13.805.700	3.451.425	966.399	560.000	0	4.977.824	11.095.335	6.117.511	45.259.245	45.259.245
9.YIL	10.354.275	3.451.425	724.799	560.000	0	4.736.224	11.095.335	6.359.111	51.618.356	51.618.356
10.YIL	6.902.850	3.451.425	483.200	560.000	0	4.494.625	11.095.335	6.600.711	58.219.067	58.219.067
11.YIL	3.451.425	3.451.425	241.600	560.000	0	4.253.025	5.255.685	1.002.660	59.221.727	59.221.727
12.YIL	0	0	0	560.000	0	560.000	5.255.685	4.695.685	63.917.412	63.917.412
13.YIL	0	0	0	560.000	0	560.000	5.255.685	4.695.685	68.613.097	68.613.097
14.YIL	0	0	0	560.000	0	560.000	5.255.685	4.695.685	73.308.782	73.308.782
15.YIL	0	0	0	560.000	0	560.000	5.255.685	4.695.685	78.004.467	78.004.467
16.YIL	0	0	0	560.000	0	560.000	5.255.685	4.695.685	82.700.152	82.700.152
17.YIL	0	0	0	560.000	0	560.000	5.255.685	4.695.685	87.395.837	87.395.837
18.YIL	0	0	0	560.000	0	560.000	5.255.685	4.695.685	92.091.522	92.091.522
19.YIL	0	0	0	560.000	0	560.000	5.255.685	4.695.685	96.787.207	96.787.207
20.YIL	0	0	0	560.000	0	560.000	5.255.685	4.695.685	101.482.892	101.482.892

## 4.2 Ülkemizde Rüzgar Enerjisi Yatırımları

Çizelge 4.4’de, Ülkemizde şu andaki mevcut rüzgar enerjisi yatırımları gösterilmektedir.

Çizelge 4.4’deki firmaların dışında, rüzgar enerjisi konusunda büyük atılım ve yatırımlar yapmayı planlayan kuruluşlar da mevcuttur. Bunlardan birisi de, Medya Holding ortaklarından Bilgin Holding’tir. Bilgin Holding – Escort Enerji Ortak Girişim Grubu , Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’ndan gerekli yatırım izninin çıkması halinde İzmir bölgesine 100 milyon dolarlık rüzgar santralleri kurmayı planlamaktadır.

Grup yetkilileri, bu amaçla projenin finansmanı için yurtdışından kredi arayışlarına başladıklarını ve lisansın ardından proje finansmanının rahatça karşılanabileceğini ifade etmektedirler. Grup, Foça’da 29,6 MW, Urla – Özbek’te 29,6 MW ve Petkim – Aliağa’da 20 MW kurulu güçte 3 santral ile 100 milyon dolarlık bir yatırım yapmayı ayrıca Karacabey’de 20 MW, Gelibolu’da 16 MW, Marmara’da 10 MW ve Nurdağ’da 30 MW kurulu güçte santraller kurmayı planlamaktadır.

Çizelge 4.4 Türkiye'de rüzgar enerjisi yatırımları

YATIRIMCI KURULUŞ	PROJE YERİ	TÜRBİN SAYISI	TÜRBİN GÜCÜ (kW)	KAPASİTE (MW)	STATÜ
<b>A- İŞLETMEYE ALINAN PROJELER</b>					
Güçbirliği Holding(Ares)	Çeşme – Alaçatı	12	600	7,2	Y.İ.D
Demirer Holding	Çeşme – Germiyan	3	500	1,5	Otopr.
<b>B – SÖZLEŞME AŞAMASINDAKİ PROJELER</b>					
As Makinsan	Çeşme – Kocadağ	84	600	50,4	Y.İ.D
As Makinsan	Çanakkale	50	600	30	Y.İ.D
Demirer Holding	Bozcaada	17	600	10,2	Y.İ.D
Demirer Holding	Çeşme – Alaçatı	65	600	39	Y.İ.D
Demirer Holding	Muğla – Datça	50	600	30	Y.İ.D
Demirer Holding	Manisa – Akhisar	50	600	30	Y.İ.D
Güçbirliği Holding	Muğla – Datça	25	600	15	Y.İ.D
Güçbirliği Holding	Muğla – Yalıkavak	25	600	15	Y.İ.D
Güçbirliği Holding	Bandırma	25	600	15	Y.İ.D
Güçbirliği Holding	Manisa – Beyoba	25	600	15	Y.İ.D
Güçbirliği Holding	Çanakkale – Lapseki	25	600	15	Y.İ.D
Güçbirliği Holding	Çeşme – Karaburun	37	600	22,2	Y.İ.D
Interwind – Galkon	Çanakkale – İtepe	50	600	30	Y.İ.D
Santaş A.Ş.	Çanakkale – İtepe	22	600	13,2	Y.İ.D
Ak – En Enerji (Sasaş)	Manisa – Akhisar	20	600	12	Y.İ.D
Yenigün İnşaat	Bozcaada	10	500	5	
<b>D – FİZİBİLİTE RAPORU BEKLENEN PROJELER</b>					
Simelko	Gökçeada	3	600	1,8	Y.İ.D
Mage A.Ş.	Çeşme – Yaylaköy	35	600	21	Y.İ.D
Mage A.Ş.	Çeşme – Kocadağ	72	600	43,2	Y.İ.D
Akfırat A.Ş.	Hatay – Şenköy	20	600	12	Y.İ.D
Prokon	Çeşme – Urla	20	600	12	Y.İ.D
Demirer Holding	İzmir – Hacıömerli	75	600	45	Y.İ.D
<b>E – ÖN BAŞVURU YAPILAN VE ÖLÇÜM SONUÇLARI BEKLEYEN PROJELER</b>					
As Makinsan	Çanakkale- Karabiga	84	600	50,4	Y.İ.D
As Makinsan	Bandırma- Kapıdağ	50	600	30	Y.İ.D
As Makinsan	Karaburun – Yellice	117	600	70,2	Y.İ.D
Teknik Ticaret	Hatay – Belen	50	600	30	Y.İ.D
Teknik Ticaret	Çanakkale- Karabiga	11	600	6,6	Y.İ.D
Demirer Holding	Çanakkale – Kumkale	21	600	12,6	Y.İ.D
Ak – En Enerji (Sasaş)	Çanakkale- Karabiga	20	600	12	Y.İ.D
Hatay Tekstil A.Ş.	Hatay – Belen	3	1250	3,75	Otopr.

TOPLAM	1.176	Adet	706,25 MW
--------	-------	------	-----------

### 4.3 Bir Rüzgar Enerjisi Santralinde Toplam Yatırım Tutarını Oluşturan Faktörler


1. İnşaat İşleri
2. Elektro mekanik Teçhizat ve Montaj
3. Enterkonnekte Sisteme Kadar Hat ve Bağlantı Giderleri
4. Keşif Bedeli
5. Tesis Bedeli
6. Etüt Proje Kontrollük
7. Sigorta
8. Kamulaştırma
9. Bağımsız Müşavir
10. İşletme Sermayesi
11. KDV
12. Proje Bedeli
13. Yatırım Dönemi Faizleri
14. Kredi Masrafları

### 4.4 Bir Rüzgar Enerjisi Santralinde Yıllık İşletme Giderlerini Etkileyen Faktörler

1. İşçilik, Personel
2. Bakım, Onarım, Malzeme ve Yedek Parça
3. Genel Giderler (Yönetim, Vergi, Resim, Harç, Araç Bakımı, İdari, Beklenmedik Giderler)
4. Sigorta
5. Amortisman ( Ekipman %5, İnşaat %5)

Bu giderleri aşağıdaki gibi ayrıntılandırmamız mümkündür:

## İşletme Masrafları

- Yedek Parça
  - Tesis Sigortası (Yangın, yıldırım, infilak, deprem, sabotaj, terör, fırtına, vs)
  - Personel Masrafları ( Mühendis, Teknisyen, Bekçi, vs –Sosyal Sigorta / Kıdem Tazminatı vs)
  - Sosyal Sigorta
  - Vergi, Resim ve Harçlar
  - Araç Bakım
  - İdari Giderler ( Büro, Muhasebe, Telefon vs)
  - Sair Giderler
- 

## 5. RÜZGAR SANTRALI MALİYETLERİNE İLİŞKİN SAYISAL UYGULAMA

Çizelge 5.1’de rüzgar santraline ait fizibilite hesapları, birim maliyetleri verilerek hesaplanmış olup, 2 adet 1250 kW’dan oluşan, 2500 kW gücündeki örnek bir santrale ait toplam yatırım maliyeti, yıllık işletme ve bakım masrafları ile yıllık üretim geliri hesapları mevcuttur. Çizelge 5.2’de ise yine bu santrale ait kar ve finans cetveli gösterilmektedir.



2500 kW (1250 x 2 Ad) \$/DM = 1,9

## FİZİBİLİTEYE ESAS ALT YAPI YATIRIM MASRAFLARI

CİNSİ	MİKTAR	BİRİM	BİRİM FİYATI (\$)	TUTARI (\$)	BİRİM FİYATI (DM)	TUTARI (DM)
Servis yolları ve montaj sahası tanzimi	5	Km.	36.000	180.000	68.400	342.000
Kablo kanalı harfiyat + dolgu	5.000	m.	70	350.000	133	665.000
Yer altı kablo temini ve montajı	5.000	m.	8	40.000	15	76.000
Şalt tesisi	1	Grup	20.000	20.000	38.000	38.000
Enerji nakil hattı - 34,5 kV (havai hat)	10	Km.	25.000	250.000	47.500	475.000
İdari tesisler - depo v.s.	100	m <sup>2</sup>	150	15.000	285	28.500
Arazinin tel çitle çevrilmesi	0	m.	8	0	15	0
			Toplam	855.000		1.624.500

RÜZGAR TÜRBİNİ KURULUŞ MALİYETİ	2	Adet	1.350.000	2.700.000	2.565.000	5.130.000
<b>TOPLAM YATIRIM MALİYETİ</b>				3.555.000		6.754.500

## YILLIK İŞLETME VE BAKIM MASRAFLARI

CİNSİ	MİKTAR	BİRİM	BİRİM FİYATI (\$)	TUTARI (\$)	BİRİM FİYATI (DM)	TUTARI (DM)
Sistemin komple sigortası	2	adet	5.600	11.200	10.640	21.280
Yıllık bakım kontratı	2	adet	7.500	15.000	14.250	28.500
Bekçi maaşları	3	kişi	3.000	9.000	5.700	17.100
Teknisyen maaşları	1	kişi	8.000	8.000	15.200	15.200
Muhasebeci maaşları	1	kişi	8.000	8.000	15.200	15.200
			Toplam	51.200		97.280

## YILLIK ÜRETİM GELİRİ HESABI

BİR TÜRBİNİN BRÜT ÜRETİMİ	5.600,00	MWh	=	5.600.000	kWh (ölçüm yapılmış bir değer baz alınmıştır)
BİR TÜRBİNİN NET ÜRETİMİ -%10	5.040,00	MWh	=	5.040.000	kWh
2 ADET TÜRBİNİN NET ÜRETİMİ	10.080,00	MWh	=	10.080.000	kWh
HAT KİRAŞI İÇİN ÖDENEN %3	302,40	MWh	=	302.400	kWh
RÜZGAR SANTRALI NET ENERJİSİ	10.382,40	MWh	=	10.382.400	kWh

RÜZGAR SANTRALI YILLIK GELİRİ (1.10 YIL) Tarife : 7,00 Cent = 726.768 \$  
(KDV hariç) = 1.380.859 DM

RÜZGAR SANTRALI YILLIK GELİRİ (2.10 YIL) Tarife : 7,00 Cent = 726.768 \$  
(KDV hariç) = 1.380.859 DM

Yızeige 3.2 2000 kW kurulu güçteki örnek bir rüzgar santralına ait kar ve finans tablosu

**TOPLAM YATIRIM**

TUTARI 3.555.000 USD

Özkaynak (%15) 533.250 USD

Dış Kredi (%85) 3.021.750 USD

FAİZİ : 6%

10 YIL VADELİ

2.10 YILLIK ÜRETİM GELİRİ = 726.768 USD

2.10 YILLIK ÜRETİM GELİRİ = 726.768 USD

YILLAR	KREDİ BORÇ BAKIYESİ	KREDİ TAKSİTİ	KREDİ FAİZİ	YILLIK İŞLETME	YILLIK ARAZI KIRASI	GİDERLER TOPLAMI	YILLIK GELİRİ	YILLIK KARI (\$)	KAR NAKLİ YEKÜN \$
1.YIL	3.021.750	0	181.305	51.200	35.550	268.055	726.768	458.713	458.713
2.YIL	3.021.750	302.175	181.305	51.200	35.550	570.230	726.768	156.538	615.251
3.YIL	2.719.575	302.175	163.175	51.200	35.550	552.100	726.768	174.669	789.920
4.YIL	2.417.400	302.175	145.044	51.200	35.550	533.969	726.768	192.799	982.719
5.YIL	2.115.225	302.175	126.914	51.200	35.550	515.839	726.768	210.930	1.193.648
6.YIL	1.813.050	302.175	108.783	51.200	0	462.158	726.768	264.610	1.458.258
7.YIL	1.510.875	302.175	90.653	51.200	0	444.028	726.768	282.741	1.740.999
8.YIL	1.208.700	302.175	72.522	51.200	0	425.897	726.768	300.871	2.041.870
9.YIL	906.525	302.175	54.392	51.200	0	407.767	726.768	319.002	2.360.871
10.YIL	604.350	302.175	36.261	51.200	0	389.636	726.768	337.132	2.698.003
11.YIL	302.175	302.175	18.131	51.200	0	371.506	726.768	355.263	3.053.266
12.YIL	0	0	0	51.200	0	51.200	726.768	675.568	3.728.834
13.YIL	0	0	0	51.200	0	51.200	726.768	675.568	4.404.402
14.YIL	0	0	0	51.200	0	51.200	726.768	675.568	5.079.970
15.YIL	0	0	0	51.200	0	51.200	726.768	675.568	5.755.538
16.YIL	0	0	0	51.200	0	51.200	726.768	675.568	6.431.106
17.YIL	0	0	0	51.200	0	51.200	726.768	675.568	7.106.674
18.YIL	0	0	0	51.200	0	51.200	726.768	675.568	7.782.242
19.YIL	0	0	0	51.200	0	51.200	726.768	675.568	8.457.810
20.YIL	0	0	0	51.200	0	51.200	726.768	675.568	9.133.378

RÜZGAR SANTRALİNİN AMORTİSMAN SÜRESİ :1,95 YIL (Özkaynak geri ödeme süresi)

Tüm bu birim maliyetler, Bölüm 4.3'deki "Bir Rüzgar Enerjisi Santralında Toplam Yatırım Tutarını Oluşturan Faktörler" ve Bölüm 4.4'deki "Bir Rüzgar Enerjisi Santralında Yıllık İşletme Giderlerini Etkileyen Faktörler" göz önüne alınarak, 7 MW kurulu güçteki, brüt enerji üretimi 24,37 GWh/yıl, net enerji üretimi 18,44 GWh/yıl olan bir işletme ile ilgili yapılan hesaplamalarımızda,

Toplam Yatırım Tutarı: 8.500.000 ABD \$

Yıllık İşletme Giderleri: 250.000 ABD \$

olarak bulunmuştur. Görüldüğü üzere,rüzgar santraline ait yıllık işletme giderleri oldukça düşüktür.

Buradan:  $\{(Toplam\ yatırım\ tutarı \times \%10) + Yıllık\ işletme\ giderleri\} / Net\ enerji\ üretimi$  (kWh) formülü dikkate alınarak; üretilen enerjinin kWh bedeli,

$\{(8.500.000 \times 0,1) + 250.000\} / 18.440.000 = 0,059 \$ / kWh = 5,9\ sent / kWh$  olmaktadır.

## 6. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Ülkemizin bazı bölgelerinde yapılan uzun süreli rüzgar ölçümleri, bize bu yerlerin bir rüzgar santrali kurmak için elverişli olduğunu göstermektedir.

Rüzgar enerjisi, hammaddesi ücretsiz olan, tükenmeyen, çevre sorunlarına yol açmayan bir kaynaktır. Yurdumuzdaki her geçen gün artan hava kirliliği oranları dikkate alındığında rüzgarın boş yere esmemesi, değerlendirilmesi gerektiğini düşündürmektedir. Ayrıca, rüzgar enerjisinin kullanımı ile hammaddesi sınırlı, tükenir olan kaynaklarımızın da kullanımı azaltılmış olur.

Yapılan hesaplamalar sonucunda, ülkemizde bir rüzgar santralinde, üretilecek enerjinin kWh bedeli 5,9 sent olmaktadır.

ABD’de yapılan araştırmalar ve çalışmalar neticesinde bu bedelin 4 – 6 sent arasında değişmekte olduğu belirlenmiştir.

Bu sonuçlar bize, rüzgar potansiyeli açısından zengin olan ülkemizde, bir rüzgar santrali kurmanın maliyet olarak da, dünya standartlarında ve mevcut enerji açığımızın kapatılmasında rahatça yararlanabilecek bir kaynak olduğunu göstermektedir.

## KAYNAKLAR

Akyüz, A. A. ve Tolun, S. (1997), “Rüzgar Enerjisi Dönüştürme Sistemleri ve Gelişmeler”, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 8 Kasım 1997, Ankara.

Albright, D., Berkout, F. and Walker, W. (1996), Plutonium and Highly Enriched Uranium, World Inventories, Capabilities and Policies.

Alpan, S. (1999), “Türkiye Kıyılarında Rüzgar Enerjisi Potansiyellerinin Belirlenmesi”, 2000’li Yıllarda Ulusal Enerji Politikaları, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası.

Altaş, İ. H. (1999), “Fotovoltaik Güneş Pilleri : Uygulama Örnekleri”, 3e Dergisi, Sayı: 60, Sayfa: 26-29.

Altuntaşoğlu, Z. T. (1998), “ 2000 Yılında Rüzgar Teknolojisinin Muhtemel Durumu ve Ekonomisi”, Elektrik Mühendisliği Dergisi, 39 (403): 17-20.

Ambrosini, G., Benato, B., Garavaso, C., Botta, G., Cenerini, M., Comand, D. and Stork, C. (1992), Wind Energy Potential in Emilia Romagna, Italy, J. Of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 39:211-220.

Ay, S., Enerji Ekonomisi Ders Notları. ( Yayımlanmamış), Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği.

Aybers, N. ve Şahin B. (1995), Enerji Maliyeti, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayını Yayın No:299, İstanbul.

Bahar, C. ve Demirören, A. (1999), “Rüzgar Enerjisinin İncelemesi ve Türkiye’eki Son Durumu”, Elektrik – Elektronik – Bilgisayar Mühendisliği 8.Ulusal Kongresi, 6 – 12 Eylül 1999.

“Basından”, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, Şubat 2000, İstanbul.

Beurskens, J. (1998), “Rüzgar Enerjisi Projelerinin Uygulanması”, Elektrik Mühendisliği Dergisi, 39 (403): 41-46.

“Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Seminer Notları”, Çevre Bakanlığı, 7 Nisan 1999, Ankara.

Brower, M. (1990), “Cool Energy:The Renewable Solution to Global Warming”, Union of Concerned Scientists, Cambridge, Massachusetts.

Dündar, C. ve İnan, D. (1997), “Wind Energy Potential in Çeşme, Turkey”, ISES 1997 Solar World Congress, August 1997, Taejon, Korea.

Dündar, C. ve İnan, D. (1999), “Türkiye Kıyılarında Rüzgar Enerjisi Potansiyellerinin Belirlenmesi”, 2000’li Yıllarda Ulusal Enerji Politikaları, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası.

Dünya Enerji Konseyi, Renewable Energy Resources: Opportunities and Constraints 1990 – 2020, Londra.

Güven, H. (1998), “Jeotermal Enerji” , Elektrik Mühendisliği Dergisi, 39 (403):37-40.

İnternet kaynakları:

www.dewind.de

www.windpower.dk.

İstanbuluoğlu, S. (1998), “Güneş; Elektrik Kaynağı”, Elektrik Mühendisliği Dergisi, 39 (403):35-36.

İzdeş, M., Acar, M. ve Kara, S. (1998), “Türkiye’de Elektrik Enerjisi ve Doğal Gaz”, Doğal Gaz Dergisi, Sayı: 54, Sayfa: 136-152.

Keskin, M.,(1998), “Nükleer Enerji İklim Değişikliğinin Çözümü Değil”, Elektrik Mühendisliği Dergisi, 39 (403):54.

Kocatepe, C., Enerji Maliyeti Ders Notları. (Yayımlanmamış), Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği.

Laquil, P., Kearney, D., Geyer, M. and Diver, R. (1998), “Güneş – Isı Elektrik Teknolojisi”, Elektrik Mühendisliği Dergisi, 39 (403):32-33.

“National Report on Climate Change”, Çevre Bakanlığı, Kasım 1998, Ankara.

Özbir, U., “Rüzgar Enerjisi”, Global Enerji Dergisi, Sayı:1, Sayfa:55-58, 1998.

Öztürk,S. ve Gökmen G. ,(1999), ‘Dünyada ve Türkiye’de Nükleer Enerji’,3e dergisi, 59:26.

Santek Makine ve İnşaat sanayi LTD. ŞTİ., Ankara, Firma Katalogları

Tarkan, N. ve Öztürk S., “Değişik Santral Tiplerinin Çevre Sorunları Bakımından Karşılaştırılması”, ODTÜ FEMB 30. Yıl Sempozyumu, 1989, Ankara.

Tokinan, N., Hamzaoğlu, A. ve Yurteli C. (1997), “Rüzgar Enerjisinden Elektrik Üretiminin Türkiye’de Uygulanabilirliği Üzerine Bir Çalışma: Gökçeada Örneği” ,Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 8 Kasım 199 , Ankara.

Tolun, Süleyman (1997), “Gökçeada’da Rüzgardan Elektrik Üretimi” ,Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 8 Kasım 199 , Ankara.

Türkeş, M., Sümer, U.M. ve Çetiner G. (2000), “Küresel İklim Değişikliği ve Olası Etkileri”, T.C. Çevre Bakanlığı, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Semineri, 13 Nisan 2000, ISO Top. Sal. Odakule, İstanbul.

Türkiye 1. Enerji Şurası, Lütfi Kırdar Kongre ve Kültür Merkezi, İstanbul, 7 –9 Aralık 1998.

Uyar, T. S. (1998), “Enerji Üretiminde Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı”, Elektrik Mühendisliği Dergisi, 39 (403): 27-31.

Uyar, T.S., (1999), “Güçlenen Rüzgar Gelecek On Yılın Enerjisi”, EMO İstanbul Şubesi’99/ Kasım-Aralık:14.

Uyar, T. S., “Nükleer Yerine Havadan Enerji”, 15 Şubat 2000 Milliyet Gazetesi.

Ültanır, M.Ö.(1997), 'Rüzgar ve Güneş Elektrik Santrallerindeki Gelişmeler ve Türkiye'de Bu Santrallerin Kurulma Olanakları',Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi,8 Kasım 1997 ,Ankara.

Ültanır,M.Ö.(1999), 'Cumhuriyetin 100.Yılına Kadar Türkiye'nin Enerji Durumunda Beklenen Gelişmeler',3e Dergisi,59:65.

Ültanır, M. Ö. (1999), "Türkiye Açısından Hidrolik Enerjinin Yeri", 3e Dergisi, Sayı: 60, Sayfa: 78-82.

Walker, J. F. and Jenkins, N., (1997), Wind Energy Technology , Unesco Energy Engineering Series.



**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum Tarihi	22.05.1976	
Doğum Yeri	İstanbul, Üsküdar	
Lise	1990-1993	İzmit Derince Lisesi
Lisans	1993-1998	Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1998-2000	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Müh. Anabilim Dalı
Çalıştığı Kurumlar		
	1998-1999	Tekap Aydınlatma A.Ş.
	1999-Devam ediyor	Transtek Transformatör A.Ş.