

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

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI ARASINDA**  
**RÜZGAR ENERJİSİNİN ÖNEMİ VE RÜZGAR TÜRBİNİ**  
**TASARIMI**

Makine Mühendisi Halil İbrahim KARADAĞ

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Konstrüksiyon Programında**

**Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı:** Doç. Dr. Ferhat DİKMEN

**İSTANBUL 2009**

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ .....	vi
KISALTIMA LİSTESİ .....	vii
ŞEKİL LİSTESİ .....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	x
ÖNSÖZ .....	xi
ÖZET .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
1. GİRİŞ .....	1
2. ENERJİYE GENEL BİR BAKIŞ .....	3
2.1 Birincil Enerji Kaynakları .....	3
2.1.1 Yenilenemeyen Enerji Kaynakları .....	3
2.1.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları .....	3
2.1.3 Türetilmiş Enerji Kaynakları .....	3
2.2 Enerjinin Tarihçesi .....	3
2.3 Alternatif Enerji Kaynaklarının Gelişimi .....	5
2.4 Temiz Bir Çevre İçin Dünyadaki Güncel Gelişmeler .....	7
2.4.1 Kyoto Protokolü .....	7
2.4.2 Yeşil Kitap (Green Papers) .....	8
2.4.3 Yenilenebilir Enerji Ve İklim Değişikliği Paketi 2008 .....	9
2.5 Yenilenebilir Enerjide Yeni Teknolojiler .....	11
2.5.1 Güneş Enerjisi .....	11
2.5.2 Günebakan Projesi .....	12
2.5.3 Güneş Elektrik Üretim İstasyonu .....	13
2.5.4 Rüzgar Enerjisi .....	14
2.5.5 Denizlerdeki Rüzgar Enerjisi .....	15
2.5.5.1 Kıyı Rüzgar Türbinlerinin Çalışma Prensipleri .....	17
2.5.5.2 Rüzgar Gücünün Depolanması .....	17
3. ENERJİ KAYNAKLARI VE ÇEVREYE ETKİLERİ .....	19
3.1 Yenilenemeyen Enerji Kaynakları Ve Çevreye Etkileri .....	19
3.1.1 Fosil Yakıtların Çevreye Etkileri .....	19
3.1.1.1 Global Isınma ve İklim Değişikliği .....	19
3.1.1.2 Asit Yağmurları ve Global Hava Kirliliğinin Zararları .....	20
3.1.1.3 Şehirlerde Hava Kirliliği .....	20
3.2 Fosil Kaynaklı Yakıtların Kullanılması Sonucu Ortaya Çıkan Gazların Neden Olduğu Çevresel Etkiler .....	21
3.2.1 Bitki Örtüsü Üzerine Etkileri .....	21
3.2.2 İnsanlar Üzerindeki Etkileri .....	22
3.2.3 Topraklar Üzerindeki Etkileri .....	22

3.2.4	Hayvanlar Üzerindeki Etkileri.....	23
3.2.5	Yeraltı ve Yerüstü Suları Üzerindeki Etkileri .....	23
3.3	Nükleer Enerji Ve Çevreye Etkileri.....	23
3.3.1	Radyasyon Etkileri.....	25
4.	YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE ÇEVREYE ETKİLERİ .....	27
4.1	Odun .....	27
4.2	Hidrolik Güç .....	27
4.3	Güneş Enerjisi.....	29
4.4	Rüzgar Enerjisi .....	35
4.5	Jeotermal Enerji .....	37
4.6	Biyokütle Enerjisi .....	38
4.7	Deniz Enerjisi .....	38
4.8	Hidrojen Enerjisi.....	40
5.	RÜZGARIN OLUŞUMU .....	42
5.1	Türkiye’de Rüzgar Oluşumu .....	44
5.1.1	Rüzgar Oluşumundaki Kuvvet Faktörleri.....	45
6.	RÜZGAR ENERJİSİNİN DÜNYADAKİ VE TÜRKİYE’DEKİ DURUMU ....	46
6.1	Rüzgar Enerjisinin Dünyadaki Durumu .....	46
7.	RÜZGAR TÜRBİNLERİNİN SINIFLANDIRILMASI .....	53
7.1	Eksen Farkına Göre Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması .....	53
7.1.1	Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri.....	53
7.1.1.1	Darrieus Rüzgar Türbinleri:.....	55
7.1.1.2	H-Darrieus Rüzgar Türbinleri: .....	55
7.1.2	Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri .....	56
7.2	Rüzgarı Alış Yönlerine Göre Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması .....	57
7.2.1	Rüzgarı Arkadan Alan Makineler:.....	57
7.2.2	Rüzgarı Önden Alan Makineler:.....	57
7.2.2.1	Tek Kanatlı Rüzgar Türbinleri: .....	58
7.2.2.2	Çift Kanatlı Rüzgar Türbinleri: .....	58
7.2.2.3	Üç Kanatlı Rüzgar Türbinleri: .....	58
7.2.2.4	Çok Kanatlı Rüzgar Türbinleri: .....	59
7.3	Rüzgar Hızına Göre Rüzgar Türbinleri .....	59
7.3.1	Düşük Hızlarda Çalışan Rüzgar Türbinleri: .....	59
7.3.2	Yüksek Hızlarda Çalışan Rüzgar Türbinleri: .....	59
7.4	Güç Kontrol Sistemine Göre Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması.....	60
7.4.1	Stall Kontrollü Türbinler: .....	61
7.4.2	Pitch Kontrollü Türbinler: .....	63
7.4.3	Aktif Stall Kontrollü Türbinler:.....	63
7.5	Rotor Hızına Göre Türbinlerin Sınıflandırılması .....	64
7.5.1	Sabit Hızlı Türbinler:.....	64
7.5.2	İki hızlı türbinler:.....	65
7.5.3	Değişken Hızlı Türbinler: .....	65
7.6	Kullanım Yeri Göre Türbinlerin Sınıflandırılması .....	65
7.6.1	Şebeke Bağlantılı Rüzgar Türbinleri: .....	65
7.6.2	Şebeke Bağlantısız Rüzgar Türbinleri: .....	66
8.	RÜZGAR TÜRBİNİ BİLEŞENLERİ .....	68
8.1	Kanatlar Ve Rotor:.....	69
8.2	Kanat Döndürme Mekanizması (Pitch) : .....	72
8.3	Fren .....	72

8.4	Düşük Hızlı Şaft: .....	73
8.5	Dişli Kutusu: .....	73
8.6	Jeneratör: .....	73
8.7	Kontrol Kutusu: .....	73
8.8	Anemometre Ve Rüzgar Gülü: .....	74
8.9	Türbin Kafa Kısmı: .....	74
8.10	Yüksek Hız Şaftı: .....	74
8.11	Rota Mekanizması Ve Motoru (Yaw): .....	75
8.12	Kule: .....	75
9.	KANAT(PALA) RÜZGAR İLİŞKİSİ.....	76
9.1	Kaldırma Ve Sürüklenme Denklemleri: .....	76
9.2	Rüzgar Türbinlerinin Karakteristikleri .....	83
9.2.1	$\Lambda$ ( Uç Hız Oranı ) : .....	83
9.2.2	$C_p$ ( Güç Katsayısı ) : .....	85
9.2.3	$\sigma$ ( Katılık Oranı ) : .....	86
9.2.4	$P_f$ ( Faydalı Güç ) : .....	87
9.3	Rüzgar Türbinin Aerodinamik Verimi .....	87
10.	KANAT TASARIMI .....	93
10.1	Yer Seçimi .....	93
10.2	Dizayn Hızı .....	95
10.3	Türbin Karakteristiklerinin Seçimi .....	97
10.4	Kanat Dizaynı .....	101
10.4.1	Üç Boyutlu Kanat Profilinin Oluşturulması .....	101
10.4.2	Simülasyon Özelliklerini Tanımlama .....	103
10.4.3	Kanadın Basınç Katsayısının Hesaplanması .....	106
10.5	Kanat Profili Seçimi Ve Rotor Dizaynı .....	107
11.	MALİYET .....	110
11.1	Kuruluş Maliyeti .....	110
11.1.1	Türbin Maliyeti .....	110
11.1.2	Tesis Maliyeti .....	110
11.2	İşletme Maliyeti .....	111
11.3	Yaklaşık Maliyet Hesabı .....	112
11.4	Geri Ödeme Süresi .....	113
	SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	115
	KAYNAKLAR .....	118
	ÖZGEÇMİŞ .....	122
	EKLER .....	123

## SİMGE LİSTESİ

$\hat{A}$	Rotor kanatlarının kapladığı alan
$A$	Rotor kanatlarının süpürdüğü alan
$A$	Eksenel indüksiyon katsayısı
$\hat{A}$	Radyal indüksiyon katsayısı
$a$	Merkezkaç kuvvetinin birim kütleyle etki eden ivmesi
$b$	Belli bir kesitte veter uzunluğu
$c$	Veter uzunluğu (Kiriş uzunluğu)
$C_L$	Kaldırma kuvveti
$C_D$	Sürüklenme kuvveti
$C_p$	Güç katsayısı
$D$	Sürüklenme kuvveti
$F$	Rüzgarın tesir kuvveti
$K$	Boyutsuz katsayı
$L/D$	Taşıma/Sürüklenme oranı
$M$	Kütlesel debi
$P_R$	Rotordan elde edilen güç
$P$	Rüzgar gücü
$Re$	Reynold sayısı
$R_N$	Reynold sayısı
$R$	Kanat süpürme alanının yarıçapı
$S$	Rüzgarın etkisi altındaki cismin alanı
$r$	Rüzgarın dolanım yarıçapı
$V$	Serbest hava akış hızı
$V_a$	Havanın sonik hızı
$V_d$	Kanat arkasındaki rüzgar hızı
$V_{rel}$	Bağıl hız
$V_1$	Kanat önündeki rüzgar hızı
$V_2$	Kana arkasındaki rüzgar hızı
$\alpha$	Hücum açısı
$\rho$	Havanın yoğunluğu
$\mu$	Havanın viskozitesi
$\lambda$	Kanat uç hız oranı
$\Omega$	Rotorun açısal hızı
$\sigma$	Katılık oranı
$\phi$	Dönme düzlemi ile bağıl hız arasındaki açı
$\theta$	Kanat açısı
$\Gamma$	Kanat etrafındaki sirkülasyon

## KISALTIMA LİSTESİ

AC	Alternatif Current
BM	Birim Maliyet
CFRB	Carbon Fibre Reinforced Plastic
CFC	Cloro Floro Carbon
CTP	Cam Takviyeli Plastik
DC	Direct Current
DERT	Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
GRP	Glass Reinforced Plastic
GÖS	Geri Ödeme Süresi
İM	İşletme Maliyeti
NACA	National Advisory Committee for Aeronautics
PDL	Çevrede yaşayanlar için kayıp gün sayısı
REPA	Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası
TKM	Toplam Kurulum Maliyeti
TM	Türbin Maliyeti
TEM	Tesis Maliyeti
WDL	İşgücü kaybını
YERT	Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Çölde inşa edilmesi düşünülen enerji kulesi(Anonim, 2003-b) .....	12
Şekil 2.2 Güneşten elektrik üretim istasyonu(Anonim,2005-b) .....	13
Şekil 2.3 Durgun koşullarda yeterli düzeyde voltaj üretilmesini olanaklı kılan sistem (Bilim ve Teknik Dergisi, Aralık 2005) .....	15
Şekil 2.4 Deniz kıyılarına inşa edilen rüzgar türbinleri (Bilim ve Teknik, Mart 2004) .....	16
Şekil 2.5 Kıyı ötesi rüzgar türbini deniz altı yapısı (Bilim ve Teknik, Mart 2004) .....	17
Şekil 4.1 Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyeli (Anonim 2000-a).....	32
Şekil 4.2 Fotovoltaik güneş enerjisi çiftliğini(Thomas J., 2008).....	32
Şekil 4.3 Fotovoltaik güneş panelleri (Tsoutsos T., vd., 2005).....	33
Şekil 4.4 Dalga enerjisinin çalışma prensibi (Bilim ve Teknik Dergisi, Aralık 2005) .....	39
Şekil 6.1 Dünyada 1997-2007 yılları arasındaki toplam kurulu kapasite ( Anonim, 2008-e)..	46
Şekil 6.2 Bazı Ülkelerin toplam kurulu kapasiteleri ve 2007 yılı eklenen kapasiteler ( Anonim, 2008-e) .....	47
Şekil 6.3 1998-2007 yılları arasındaki kapasite artırımları ( Anonim, 2008-e) .....	48
Şekil 6.4 Yıllara göre toplam kapasite artışı ( Anonim, 2008-e).....	48
Şekil 6.5 Rüzgar enerjisi üretiminde ortalama yıllık artış (%)( Anonim, 2008-e) .....	49
Şekil 6.6 Ülkelerin 2007 yılı içerisindeki kapasite artırımını ( Anonim, 2008-e) ).....	50
Şekil 7.1 Dikey eksenli rüzgar türbini, (reuk.co.uk) .....	55
Şekil 7.2 Dikey eksenli rüzgar türbinleri (Bozcaada, Bores) .....	57
Şekil 7.3 600 Kw Stall kontrollü türbine ait güç eğrisi (Bonus) .....	62
Şekil 7.4 Stall oluşumu (Gökmen, F., 2008), .....	62
Şekil 7.5 600 Kw Pitch kontrollü türbine ait güç eğrisi (Dewind, 2007).....	63
Şekil 7.6 Aktif stall ve aktif pitch kontrollü türbinlerde güç kontrolü için gerekli pala döndürme açılarının kıyaslaması (Burton vd., 2001).....	64
Şekil 8.1 Rüzgar türbini bileşenleri (Anonim, 2008-f).....	68
Şekil 8.2 Modern bir Rotor göbeğinin iç yapısı (Enercon E82, Hannover Energy International Fair ).....	71
Şekil 8.3 Direct drive sistemi (Enercon E48) .....	71
Şekil 8.4 Direct Drive sistemli Enercon jeneratör (Enercon) .....	71
Şekil 8.5 Pitch Mekanizması (Bortolani, L., 2005) .....	72
Şekil 8.6 Fren mekanizması.....	73
Şekil 8.7 Rüzgar gülü .....	74
Şekil 8.8 Yaw Mekanizması (Bortolani, L., 2005).....	75
Şekil 9.1 Rüzgar – Kanat profili ilişkisi .....	76
Şekil 9.2 Kanat profili kesiti.....	80
Şekil 9.3 NACA 4415 Profili $C_D - C_L$ Eğrisi.....	81
Şekil 9.4 NACA 4415 Profili $C_D - \alpha$ Eğrisi.....	81
Şekil 9.5 Kaldırma katsayısının $\alpha$ ile değişimi (SymLab Programı).....	82
Şekil 9.6 Direnç katsayısının $\alpha$ ile değişimi (SymLab Programı).....	82
Şekil 9.7 Rüzgar Türbini pervanesinde gücün hıza bağlı değişimi (Ena, 2007) .....	84
Şekil 9.8 Uç Hız Oranı – Kanat Sayısı İlişkisi (Johnson, Gary L, 2001).....	85
Şekil 9.9 Rüzgar Türbini pervanesinde aerodinamik verimin uç hız oranına bağlı değişimi (Ena, 2007).....	85
Şekil 9.10 Güç katsayısının uç hız oranına göre değişimi (Johnson, Gary L, 2001) .....	86
Şekil 9.11 Kanat ön ve arka bölgelerinde hız değişimi .....	88
Şekil 9.12 Rotor önünde ve arkasında hız ve basıncın değişimi .....	88
Şekil 9.13 Hız oranı güç katsayısı ilişkisi (Johnson, Gary L, 2001) .....	91
Şekil 9.14 Yatay eksenli bir türbinin analizi için pala geometrisi ve hız- kuvvet diyagramı (Manwell vd., 2002).....	91

Şekil 10.1 Türkiye’deki bölgelerde rüzgar hızı haritası (Repa, 2007) .....	94
Şekil 10.2 Tekirdağ rüzgar hızı haritası (Repa, 2007).....	94
Şekil 10.3 Rüzgar enerjisi uygulamaları açısından uygun olmayan alanları gösteren harita (Repa, 2007).....	95
Şekil 10.4 Rüzgar Türbininin Arzu Edilen Güç Yapısı (Ena, 2007).....	96
Şekil 10.5 Tipik bir 600 kW türbine ait rüzgar hızına karşılık gelen güç eğrisi (Dewind,2007)).....	96
Şekil 10.6 Farklı Firmalara ait türbinlerin hız – güç katsayısı grafiği (Enercon, 2007).....	97
Şekil 10.7 Katılık oranındaki değişimin aerodinamik performansa etkisi (J. Swanson vd. 2002) .....	98
Şekil 10.8 Kanat sayısındaki değişimin aerodinamik performansa etkisi (J. Swanson vd. 2002) .....	98
Şekil 10.9 Çeşitli profillere ait L/D oranı ve $R_N$ Sayısı.....	100
Şekil 10.10 NACA 4415 profili.....	101
Şekil 10.11 Yapısal olarak kanat profili (Ruud V. R., Nando T., 2004).....	101
Şekil 10.12 Kanat profilinin programa gönderilmesi .....	102
Şekil 10.13 Eksen takımı atanır.....	102
Şekil 10.14 Kanat profili boyunca yüzey oluşturulur (extrude) .....	103
Şekil 10.15 Kanat profil ölçüleri kontrol edilir ve orijinal boyutlar tanımlanır.....	103
Şekil 10.16 Kanat yüzeyinde akışkan olarak havanın tanımlanması .....	104
Şekil 10.17 Kanat üzerine etki eden havanın hızının seçilmesi .....	104
Şekil 10.18 Kanadın bir bütün olarak tanımlanması .....	105
Şekil 10.19 Havanın yüksek hızda estiğinin tanımlanması .....	105
Şekil 10.20 Basınç katsayısının değişimi .....	106
Şekil 10.21 İterasyon sayısı ve zaman adımlarının tanımlanması.....	107
Şekil 10.22 Kanat yüzeyinde oluşan basıncın grafik üzerinde gösterilmesi .....	107
Şekil Ek 4 1 Fuhrlaender firmasına ait 600 kw’lık FL 600 model rüzgar türbini iç yapısı....	126
Şekil Ek 4 2 Direct Drive Sistemli Enercon E-53 model rüzgar türbinin iç yapısı.....	129



## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 4.1 Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli (Anonim 2000-a) .....	30
Çizelge 4.2 Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı (Anonim 2000-a).....	31
Çizelge 4.3 Güneş enerjisinin avantajları ve dezavantajları.....	35
Çizelge 4.4 Rüzgar enerjisinin avantajları ve dezavantajları .....	36
Çizelge 5.1 Enlemlere göre genel hakim rüzgar yönleri (Türksoy, F., 2001).....	43
Çizelge 5.2 Genel olarak rüzgarların sınıflandırılması (Özdamar, A.,2000). .....	44
Çizelge 6.1 2007 Aralık itibariyle ülkelerin kurulu kapasiteleri ( Anonim, 2008-e) .....	51
Çizelge 9.1 Çeşitli NACA profillerine ait $\alpha$ ile kaldırma ve direnç katsayılarının değişimi....	83
Çizelge 10.1 Türbin karakteristiklerinin seçimi için kullanılan test değişkenleri (J. Swanson vd. 2002) .....	97
Çizelge 10.2 Çeşitli pala sayılarına denk gelen uç hız oranları ( Olivari, 1984 ).....	99
Çizelge 10.3 Tekirdağ ve Osmaniye’de kurulabilecek türbine ait büyüklükler .....	109
Çizelge 11.1 Tesis maliyetini oluşturan kalemlerin maliyete katkıları (Milborrow vd.,.....	110
Çizelge 11.2 KWh enerji üretimi başına işletme maliyeti (Milborrow vd., 1997).....	111
Çizelge 11.3 Türbin maliyetleri.....	113
Çizelge 11.4 Tekirdağ ve Osmaniye illerinde türbinlerin gelir değerleri ve geri ödeme süreleri.....	114
EK 1 Türkiye’de kurulu güç üretiminin yıllar itibariyle gelişimi ( TEİAŞ, 2009)	123
EK 2 Dünya genelinde elektrik enerjisi üretimi (IEA, 2008).....	124
EK 3 Türkiye elektrik enerjisi tüketimi istatistikleri (TUIK, 2009).....	125
Çizelge Ek 4 1 Fuhrlaender firmasına ait FL 600 model rüzgar türbini teknik özellikleri	126
Çizelge Ek 4 2 Enercon E-53 model türbine ait teknik özellikler .....	129

## ÖNSÖZ

Tüklenen enerji kaynaklarıyla beraber yenilenebilir enerji kaynaklarını hızla faaliyete geçirmek zaman geçtikçe daha da önemli hal almaktadır. Günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde belki de en önemlisi rüzgar enerjisidir. Çünkü bu potansiyelimizi çok ihmal ettik. Dünyaya genel olarak baktığımızda Almanya, Hollanda, İsviçre gibi ülkeler ellerini biraz çabuk tutup rüzgar enerjisinden azami derecede faydalanmaya çabalamışlardır. Ülkemizde ise bu konu 2000’li yıllarda dikkat çeker hale gelmiş olup günümüzde gündemimize iyice girmiş durumdadır. Bu enerjiden faydalanmada biraz geç kalınmış olsa da açığımızı kapatmak için kolları sıvamış durumda bulunmaktayız. Zira gelişmelerden anlaşılıyor ki rüzgar enerjisi üretimi konusunda patlama yaşanacağı bariz bir şekilde gözükmektedir. Bunu EPDK’ya lisans başvurusunda bulunan firmaların çokluğundan rahatça anlayabiliyoruz. Görünen o ki en kısa sürede rüzgar türbinlerine gözlerimiz alışacak ve yörelerimizin birer sakinleri olacaklardır.

Bu tezin hazırlanması sürecinde bana her türlü kolaylığı gösteren bana karşı her zaman anlayışlı olan tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Ferhat DİKMEN’e saygılarımı sunar ve teşekkür ederim. Evliliğimin bu ilk günlerinde zamanımı tezime ayırmam gerektiğinde her türlü desteğiyle yanımda olan eşime minnettarım. İş dünyasında beraber mücadele verdiğimiz CE-KA Mühendislik Şirketi ortağım Cengiz GENÇDAL’a ayrıca bugüne kadar eğitim hayatım boyunca, bilgileriyle bana yol gösteren tüm değerli hocalarıma ve beni her zaman destekleyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

## ÖZET

Enerji sektörü genel bir bakış açısıyla incelenerek, günümüzde öne çıkan nükleer enerji ve yenilenebilir enerji kaynakları incelenmiş, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemine dikkat çekilmiştir. Bu inceleme yapılırken enerji çevre ilişkisine kapsamlı bir şekilde yer verilmiştir her zaman göz önünde bulundurulmuştur. Rüzgar enerjisinin ülkemiz için uygun bir kaynak olduğu saptanmış ve potansiyelimizi kullanmamız gerektiği açıklanmıştır. Diğer ülkeler gibi Türkiye’de rüzgar enerjisinin önemini kavramış ve bu konudaki yatırımlarına hız vermiştir. Ülkemiz 2007 yılından sonra en hareketli pazar olma özelliği taşımaktadır. Yeni teknolojilerden bahsedilmiş ve bir üretim tesisinin elektrik ihtiyacını karşılayabilecek şekilde Rüzgar türbini tasarımı yapılmıştır. Maliyetler incelenmiş ve geri dönüşüm zamanı hesaplanmıştır.

Rüzgar ile kanat ilişkisi incelendi. Rüzgar gücünden maksimum faydalanmak için kanat profili büyük önem arz etmektedir. Özellikte kanat tasarımı üzerinde duruldu. Tasarımı etkileyen faktörler açıklandı. Hücüm açısının değişmesinin güç katsayısına etkisi incelendi. En uygun kanat yapısı olarak üç kanatlı türbin seçildi. Uç hız oranı 8 olarak seçildi.

En çok tercih edilen kanat profillerinden birisi olan NACA 4415 kanat profili seçildi. SymLab programı kullanılarak tasarım yapıldı. Türbinin inşa edilebileceği iki bölge seçildi. Tekirdağ ve Osmaniye bölgeleri karşılaştırıldı. Her iki yatırımın da avantajlı yönleri açıklandı. Osmaniye bölgesi, ortalama rüzgar hızı bakımından daha yüksek potansiyele sahip olduğundan o bölgede türbin inşa edilerek üretilen enerjinin satılarak ve Tekirdağ’da üretim tesisinde kullanılan elektriğin mahsubunun yapılması uygun olacağı kanaatine varıldı.

Maliyetler açısından, Osmaniye bölgesinde inşa edilecek türbinlerin daha karlı bir yatırıma dönüşeceği sonucuna ulaşıldı. Tekirdağ’da inşa edilecek türbinlerin kendini amorti etmesi 12 yılı bulurken, Osmaniye’de inşa edilen türbinlerde amorti süresi 6 yıla kadar inmektedir. Günümüzde sermayenin önemine binaen Osmaniye bölgesinde kurulacak türbinler avantajlı konumda gözükmektedir.

## ABSTRACT

In this study, energy sector was viewed generally. Especially nuclear energy and renewable energy resources that becomes important to use day to day was examined. The relationship between energy and environment was asserted. Determined that wind energy is suitable for Turkey and we need to use this source as soon as possible. At last our country has conceived importance of wind energy and has started lots of new investment. After 2007 year our country will be greatly agitated market. New Technologies was dealt with and studied on a turbine design that produce electric for a factory needs. The costs was examined and repayable period was computed.

The relationship between airfoil and wind was examined. It is very important to use right airfoil profile Because we need to derive benefit from airfoil maximal. The airfoil was asserted due to importance of it. It was choosed tree vane because of its convenient. Tip speed ratio was choosed as 8

NACA 4415 that is favourite vane profile was choosed. This profile was designed with SymLab program. Tekirdağ and Osmaniye was selected to built wind turbine. This two area was compared. Advantages and disadvantages was compared both area. Osmaniye was selected to built turbine because of high wind speed. More electric can produce at Osmaniye zone from Tekirdağ zone on similar terms. The elektrik that will be produced at Osmaniye can sell and will be used at Tekirdağ can buy.

Thus, as can be seen the costs can put down minimal when the turbines built at Osmaniye. When the turbines built at Tekirdağ, payback period will go by 12 years. But when the turbines built at Osmaniye, the payback period will be reduce by 6 years. In conclusion, the turbines that will be builited at Osmaniye will be advantageous.

## 1. GİRİŞ

Enerji; bir sisteminde bulunan iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Enerji; kullanım alanına göre elektrik enerjisi, mekanik enerji, kimyasal enerji gibi çeşitlere ayrılabilir. Bununla beraber dünyada yararlanılan enerji kaynaklarının bir kısmı tükenir ve yeniden kullanılamaz. Genel olarak bu grubun kaynağını fosil yakıtlar oluşturmaktadır. Katı, sıvı ve gaz olarak faydalanılan enerji kaynakları 1970'li yıllara gelindiğinde enerji talebini karşılayamaz hale gelmiştir ve insanoğlu yeni arayışlara girmiştir. Bu noktada yenilenebilir enerji kaynakları devreye girmiştir ve enerji talebi her geçen gün artmaktadır. Enerji talebini artıran en önemli etkenler olarak teknolojik gelişmeler, sanayileşme ve maddi gelirin yükselmesiyle beraber konfor arayışı gösterilebilir.

Artan enerji talebiyle beraber fosil yakıtlar hızla tükenmektedir. 2050'li yıllara gelindiğinde petrolün tükenme noktasına gelineceği varsayılmaktadır. Doğalgaza 2070, kömüre ise 2150 yılına kadar ömür biçilmektedir. (Tümerdem 2002). Bunun yanında fosil yakıtların kullanılması çevremize olan olumsuz etkileri beraberinde getirmiştir. Şehirlerimiz kara dumanlarla kaplanmaya başlamış nefes alamaz duruma geldiğimiz zamanlar olmuştur. Ozon tabakası delinmiş olup güneşten gelen zararlı ışınlar karşı süzme görevini yerine getiremez duruma gelmiştir. Sera etkisi, asit yağmurları bize hiç yabancı kelimeler olmayıp küresel ısınmanın etkilerini her geçen gün şiddetle hissetmeye başlamış bulunmaktayız.

Bir çok ülke gün be gün artacak olan bu enerji ihtiyacını nasıl karşılayacağını araştırmaktadır. Fosil yakıt bakımından zengin olan ülkeler tabii ki önceliği bu kaynaklarına vermekte ve enerji ihtiyaçlarının büyük bir bölümünü hala fosil yakıtlardan temin etmektedir. Fosil yakıt bakımından fakir ülkeler ise nükleer enerjiye ağırlık vermiştir. Örneğin Fransa elektrik enerjisinin %78'ini nükleer reaktörlerden sağlamaktadır. (BÖLME vd. 2004) Ülkemiz fosil yakıtlar bakımından zengindir. 1999 yılına kadar elektrik enerjimizin neredeyse tamamını termik ve hidrolik santrallerden sağlıyorduk. Enerji istatistikleri dergisine göre bu oranların % 68,75 termik santrallerden, %29,2 hidrolik santrallerden, %0,07 jeotermal santrallerden % 0,02 rüzgar santrallerinden olduğu açıklanmıştır. % 1,96 gibi bir oranda ithal edilmiştir ( Vardar, 2002). Daha sonraki yıllarda doğalgazın ülkemize ithalatının artmasıyla elektrik enerjisi üretiminin belkemiğini oluşturmuştur. Günümüzde ise elektrik üretimimizin yarısında doğalgaz kullanılmaktadır. 2007 yılı brüt üretime bakacak olursak bu payların % 48,52 doğalgaz , %32,49 termik %18,72, % hidrolik % 0,27 jeotermal ve rüzgar enerjisi olduğu görülür. (Anonim, 2007-a). Burada dikkat edilmesi gereken husus enerji üretimimizin yarısı

kendi ülkemize ait olmayan ithal ettiğimiz doğalgaza kaymıştır. Hatta ithal ettiğimiz doğalgazı kullanmak için termik santrallerimizin kapasiteleri en alt seviyelere indirilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim olmakla beraber süreç bir an önce hızlandırılmalıdır. Çünkü enerjiyi dışarıdaki kaynaklardan temin etmek dışa bağımlı hale gelmektir.

Görüldüğü üzere tükenen enerji kaynaklarıyla beraber yenilenebilir enerji kaynaklarını hızla faaliyete geçirmek zaman geçtikçe daha da önemli hal almaktadır. Ülkemiz açısından durumu değerlendirecek olursak şanslı sayılırız. Ancak potansiyelimizi harekete geçirememek gibi bir derdimiz var. Su bakımından zengin sayılabilecek bir ülkeyiz ancak suyumuz boşa akıyor. Yapılması planlanan hidroelektrik santralleri bir an önce bitirmeliyiz. Günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde belki de en önemlisi rüzgar enerjisidir. Çünkü bu potansiyelimizi çok ihmal ettik. Dünyaya genel olarak baktığımızda Almanya, Hollanda, İsviçre gibi ülkeler ellerini biraz çabuk tutup rüzgar enerjisinden azami derecede faydalanmaya çabalamışlardır. Ülkemizde ise bu konu 2000’li yıllarda dikkat çeker hale gelmiş olup günümüzde gündemimize iyice girmiş durumdadır. Bu enerjiden faydalanmada biraz geç kalınmış olsa da açığımızı kapatmak için kolları sıvamış durumda bulunmaktatız. Zira gelişmelerden anlaşılıyor ki rüzgar enerjisi üretimi konusunda patlama yaşanacağı bariz bir şekilde gözükmemektedir. Bunu EPDK’ya lisans başvurusunda bulunan firmaların çokluğundan rahatça anlayabiliyoruz. Görünen o ki en kısa sürede rüzgar türbinlerine gözlerimiz alışacak ve yörelerimizin birer sakinleri olacaklardır.

## **2. ENERJİYE GENEL BİR BAKIŞ**

Enerji, insanoğlu varoldukça gündemimizi işgal etmeye devam edecektir. İhtiyaçların karşılanması için mutlaka enerji gerekmektedir ve zaman geçtikçe nüfus artışıyla doğru orantılı olarak ihtiyaçlarımız artmaktadır. Ayrıca talep edilen konfor düzeyi teknolojik imkanların da gelişmesiyle beraber kaçınılmaz bir şekilde yükselmektedir.

Enerji iki ayrı kategoride ele alabiliriz:

### **2.1 Birincil Enerji Kaynakları**

#### **2.1.1 Yenilenemeyen Enerji Kaynakları:**

Kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil yakıtlar ve nükleer enerji.

#### **2.1.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları:**

Su, jeotermal, biyokütle, rüzgar ve güneş enerjisi.

#### **2.1.3 Türetilmiş Enerji Kaynakları**

Birincil enerji kaynakları kullanılarak tüketime hazır hale getirilmiş enerji kaynaklarıdır (elektrik ve ısı enerjisi gibi). (Anonim,2008-a)

## **2.2 Enerjinin Tarihçesi**

Enerjinin tarihsel gelişimine göz attığımızda görürüz ki ilk insanlar enerjilerini yedikleri gıdalardan sağlıyordu. Ayrıca ihtiyaçlarını karşılamak için hayvan enerjisini kullanıyordu. Ateşin keşfedilmesiyle insanlığın önünde bir çığır açılmış oldu. Onu önceleri hayvanlardan korunmak için kullandı ve enerji gücünü farkettili. Böylece ateşli yakmak için ilk enerji kaynağı olarak bio-kütle yani odun kullanıldı. İnsanoğlu göçebe hayattan yerleşik hayata geçince su gücünü kullanmaya başladı. Rüzgarı deniz ulaşımında, yelkenli gemilerde ve daha sonraları yel değirmenlerinde kullandı.

Her ne kadar ilk keşfi Çin'de olduğu söylense de, insan hayatına kömürün aktif olarak girebilmesi için 11. Yüzyılı beklemek gerekiyordu. Uzun süreli yanıyor ve odundan daha iyi ısı veriyordu. Hala kullanıyoruz. Bu gidişle anlaşılan o ki tükenene kadar kullanacağız.

(Erengözgin, 2007)' in üzerinde durduğu tarihsel sürece bir gözatacak olursak onyedinci yüzyıla gelindiğinde Hollanda, Avrupa'da kömürü ilk bulan ülke olarak uzun süre bu ürünü dış ülkelere de sattı. Ardından İngiltere kendi kömürünü çıkarttı ve yine isteyenlere sattı. Bu yüzyılda, güneş enerjisinin, camla örtülü bir mekanda daha yüksek ısı oluşturduğu keşfedildi ve ilk limonluklar ya da seralar, evlerin hemen yanında, mekanı daha iyi ısıtmak ve bitki yetiştirmek amacı ile kullanılmaya başladı.

Onsekizinci yüzyılda İngiltere, kömürünü ve ormanları enerji amaçlı olarak kıyasıya kullanıyordu. Kömür, buharlı makineler yüzünden tercih ediliyordu. Madenlere dolan suyu pompalamak için 1710 yılında buharlı otomobil motorunun ilk örneğini yapan İngilizler oldu. 1770'de James Watt geliştirdi ve endüstriyel bir güç haline getirdi.

Ondukuzuncu yüzyılda hızlı endüstri değişimi İngiltere'de başladı ve Avrupa ile Kuzey Amerika'ya yayıldı. Enerjiye ihtiyaç gösteren, tekstil ve mobilya üretimi gibi sektörlerin güçlenmesi ile bütün dünyaya ulaştı. 1804'de ilk buharlı lokomotif, 1807'de ilk buharlı gemi çalışmaya başladı. Gelişimin doğal sonucu olarak, daha çok makine fakat daha ucuz enerji arayışları başladı. Kömür yaygınlaştı fakat bilim adamları sıvı yakıt kullanmanın daha doğru olacağını düşünmeye başladı. Elektrik üretimi için kömüre alternatif olarak, hidroelektrik, güneş ve jeotermal kaynaklar gündeme geldi. 1839' da, Edmond BECQUAREL tarafından güneş ışığının elektrik üretebildiği fark edildi. Güneş enerjisi ilk kez, Fransa'da 1860'da kullanılmaya başladı. Yüzyılın sonlarında jeotermal kaynaklar, ısıtma ağırlıklı olarak ve yel değirmenleri ile birlikte elektrik üretimi amaçlı kullanılmaya başladı.

Amerika, Pensilvanya'da petrol bulundu ve havagazı, benzin, fuel-oil gibi yan ürünleri ile tüm alanlarda yerini aldı. İçten yanmalı motorların bulunması ile petrol çok daha önem kazandı.

Yirminci yüzyılda ise Daimler-Benz ilk otomobili yaptı, Ford seri üretime geçti, Wright kardeşler uçmayı başardı. Süratli taşımacılık petrol tüketimini hızlandırdı. Bu arada 1914 de İstanbul, elektrikle tanıştı.

Fosil yakıtların çevreye zararları yüzyılın ortalarından itibaren bizi, "alternatif" dediğimiz farklı arayışlara yöneltti. Bunlar uzun süredir biliniyordu fakat yaygınlaşma fırsatı bulamamışlardı. Nükleer enerji, etkileyici bir güçtü fakat önlenemeyen radyasyon etkisi yıkıcı sonuçlar doğuruyordu.

1973 yılına gelindiğinde siyasi sebeplerle de olsa petrolün fiyatının iki katına çıkması, ardından 1974 ocak ayında tekrar ikiye katlanması dünyada bir paniğe yol açtı ve insanlara petrolün bir gün sonunun geleceğini ve yeni enerji kaynaklarının bir an önce devreye



sokulması gerektiğini hatırlattı. O günden beri petrol bölgesi olan ortadoğu iyice karıştı. Petrol fiyatları hala güçlü bir ekonomik parametre.

Yani özetleyecek olursak odunun, yani biyokütlenin ana enerji kaynağı olarak kullanımı 19.yüzyılın ortalarına dek yaklaşık bir milyon yıl boyunca sürmüş, ve 1850'lerde yerini kömüre bırakmak zorunda kalmıştır. Kömür ise egemenliğini ancak bir yüzyıl sürdürebilmiş ve 1950'lerde sahneyi petrole devretmek zorunda kalmıştır. Bu yıllar, petrol bağımlılığının uç noktalarına ulaştığı bir dönem olmuştur. Yaygın kullanımı hala sürse de, 1973 petrol krizi ile birlikte alternatif, yani dönüşümlü ve temiz enerji kaynakları ve enerjinin verimli kullanımı, içinde bulunduğumuz döneme damgasını vurmuştur.1980'li yıllar; gelişmiş ülkelerin, daha fazla enerji temininden daha verimli enerji kullanımı stratejisine geçiş dönemi olmuştur. ( Anonim, 2007-a)

Yirmibirinci yüzyıla gelindiğinde ise alternatif arayışları, bir bölgeye ya da bir kaynağa bağlı olmayan yenilenebilir enerji kaynağı arayışları, büyük bir ivme kazandı.

### **2.3 Alternatif Enerji Kaynaklarının Gelişimi**

Alternatif enerji kaynaklarının tarihsel gelişimine bir göz atacak olursak, petrol krizleriyle fosil yakıtların bir süre sonra yok olacağını sinyalleri alındı. Aradan biraz daha zaman geçince çevre kirliliği dikkat edilmesi gereken bir konu olarak öne çıkmaya başladı. Günümüzde fosil yakıtların tükenmesi bir yana çevreye verdiği büyük zarardan ötürü yeni enerji kaynakları önem kazandı.

Avrupa Güneş Enerjisi Birliği "Eurosolar" Başkanı Hermann SCHEER'in tanımlamasına göre ekolojinin bilincinde olmadığımız sürece uygarlığımız kendi geleceğini garanti altına alamayacaktır. Yerkürenin yalnızca birkaç yerinde görülen hammaddelerin tüketilmesi ile, bunlara hayati denecek derecede bağımlılık doğar. Bu malzemelerin miktarlarındaki sınırlılık ise ekonomik ve politik buhranlara yol açar.

Doğal gazdan üretilen enerji de ülkemizin toplam enerji üretiminin yarısını oluşturmaktadır. Dış ülkelere doğrudan gaz satın alarak bunu enerjiye çeviriyoruz. Bu da ülkemizin enerji üretimi olarak niteleniyor. Kaynağına kendimizin sahip olmadığı bir enerji üretimi ne kadar kendi üretimimiz olarak nitelenebilir? (Eker B., Vardar A, 2005)

Artan enerji talebinin geleneksel enerji kaynakları ile yeteri kadar karşılanmayışı yenilenebilir enerji kaynaklarına karşı talebi arttırmıştır. Buna bağlı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarında yapısal unsurlar tekrar gözden geçirilerek sistem verimliliğini sağlayacak

teknolojik çalışmalara hız verilmiştir. Bu durum kısmi çözümlere destek olarak seçilen ve uygulamaya sokulan bu enerji kaynaklarını daha büyük çözümlere doğru kullanılmasını sağlamıştır. (Eker B., Aytaçoğlu E.E., 2006)

Yenilenebilir enerji kaynakları (özellikle rüzgar enerjisi) zararlı gazların çevre etkilerinin azaltılmasında önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle, dünyanın tüm ülkeleri zararlı gazların bu etkilerini azaltmaya çalışmaktadırlar. Bu çerçevede 1992 yılında Rio'da imzalanan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konvansiyonu Çerçeve Anlaşmasında, sera gazı emisyonlarının 2000 yılında 1990 yılı seviyelerine çekilmesi kararı alınmıştır. Aralık 1997 Kyoto konferansında, dünyadaki gaz emisyonlarının 2008-2012 yılları arasında 1990 yılı seviyesinin %5.2 altına çekilmesi öngörülürken, Avrupa Birliği ülkelerinde ise bu hedef %8 olarak seçilmiştir. Sera gazı emisyonlarının, Kyoto protokolünde saptanan hedeflere ulaşması dünyanın geleceği için oldukça önemlidir. (Clulow, R., 1999)

Rüzgar enerjisinden sağlanan enerjinin maliyeti, fosil yakıtlardan sağlanan enerjiye göre daha yüksektir. Bunun nedeni geleneksel enerji santrallerinin çevreye verdikleri zararın üretim maliyetlerine yansıtılmamasıdır. Ayrıca yenilenebilir enerji yatırımlarına sağlanan kredilerin kısa sürede geri dönmesi istenmektedir. Dolayısıyla pazar mekanizması içinde kısa vadede kendini finanse etmesi mümkün değildir. Bu nedenle rüzgar enerjisinin gelişmesini sağlamak için bu mekanizma dışında yollar bulunarak enerji maliyeti mutlaka düşürülmelidir. (Anonim, 2003-a)

Oysa ülkemizdeki temiz enerji kaynaklarını kullanmak ve kaynağına kendimizin sahip olduğu bir enerji üretimi sağlamak stratejik olarak önem taşır. Bu konuda mutlaka hızlı adımlar atılması gerekiyor. Yasal olarak da bu konuda kolaylık sağlayacak yollar açılmalıdır. (Eker B., Aytaçoğlu E.E, 2006)

Rüzgar enerjisi potansiyeli açısından Türkiye şanslı bir ülkedir. Ancak, rüzgar enerjisi kullanımı açısından ülkemizde sektörün oldukça geri kaldığı görülmektedir. Sektörün canlandırılarak ekonomiye daha fazla katkı sağlaması için mutlaka teşvik edilmeli ve teknik açıdan standartlar oluşturulmalıdır. (Tavman İ.H., Önder T.K., 2001)

Nükleer enerji son zamanlarda ülkemizin enerji gündemine doğru sürüklenmektedir. Üstelik bu konu ile ilgili olarak büyük bir karşı cephe olmasına rağmen. Oysa ülkemiz, doğru yönlendirilmesi ve doğru teknoloji kullanılması durumunda tam bir temiz enerji cennetine çevrilebilecek bir potansiyele sahiptir. (Eker B., Aytaçoğlu E.E, 2006)

## 2.4 Temiz Bir Çevre İçin Dünyadaki Güncel Gelişmeler

Son yıllarda küresel çapta hepimizin şahit olduğu olumsuz gelişmeler yanında elbette iyi gelişmeler de var. Bunlardan bir tanesi ülkelerin aldığı önlem paketleri. Avrupa Birliği 2008 yılı ocak ayında "Yenilenebilir Enerji ve İklim Değişikliği Paketi" ni açıkladı. Halbuki Kyoto protokolüne ilişkin görüşmeler 2009 yılına kadar sürecek. Bu sırada, sürece yeni paket eklenecek. Yani iki paralel süreç aynı anda yaşanacak. Bu da çevre adına güzel bir gelişme. Yeni paketi incelemeyen önce Kyoto Protokolüne bir göz atmak gerekmektedir.

### 2.4.1 Kyoto Protokolü

Kyoto Protokolünü, sera etkisi yaratan gazların salımlarını azaltmak üzere sanayisi gelişmiş ülkelere çeşitli hedefler belirleyen uluslararası bir anlaşma olarak tanımlayabiliriz. Sera etkisi yaratan gazlar, kısmi de olsa, küresel ısının yeryüzündeki hayatı tehdit edecek derecede artmasının nedenleri arasında gösteriliyor. 1997 yılında oluşturulan protokol, 1992'de imzalanan bir çerçeve anlaşmada belirlenen ilkelere dayanmaktadır. (Anonim, 2005-a). Şu anda 178 ülkenin katılımını sağlayan protokole ülkemiz henüz imza atmamış durumdadır.

Sanayileşmiş ülkeler, 1990'daki salım oranlarını 2008-2012 yılları arasında yüzde 5 oranında azaltmayı taahhüt etmiş durumdadır. Protokole imza atan her ülke, kendi özgün hedefini tutturmaya söz vermektedir.. Avrupa Birliği (AB) ülkelerinden mevcut salınım oranlarını yüzde 8, Japonya'dan da yüzde 5 oranında azaltması beklenmektedir. Düşük salınım oranına sahip bazı ülkelerinse, bu oranları yükseltmesine izin verilmiş durumdadır. (Anonim, 2005-a) Rusya hükümeti, Eylül 2004'te protokolü destekleme kararı almış durumdadır. Böylece anlaşmaya imza atan ülkelerin toplam salınım oranı %55'in üzerine çıktı ve şubat 2005 anlaşma yürürlüğe girmiş durumdadır.

Kyoto Protokolü ile devreye girecek önlemlere bir göz attığımızda görürüz ki protokol pahalı yatırımlar gerektirmektedir. Sözleşmeye göre;

- atmosfere salınan sera gazı miktarı %5'e çekilecek,
- endüstriden, motorlu taşıtlardan, ısıtmadan kaynaklanan sera gazı miktarını azaltmaya yönelik mevzuat yeniden düzenlenecek,
- daha az enerji ile ısınma, daha az enerji tüketen araçlarla uzun yol alma, daha az enerji tüketen teknoloji sistemlerini endüstriye yerleştirme sağlanacak, ulaşımda, çöp depolamada çevrecilik temel ilke olacak,

- atmosfere bırakılan metan ve karbondioksit oranının düşürülmesi için alternatif enerji kaynaklarına yönelim sağlanacak,
- fosil yakıtlar yerine örneğin bio dizel yakıt kullanılacak,
- çimento, demir-çelik ve kireç fabrikaları gibi yüksek enerji tüketen işletmelerde atık işlemleri yeniden düzenlenecek,
- termik santrallerde daha az karbon çıkartan sistemler, teknolojiler devreye sokulacak,
- güneş enerjisinin önü açılacak, nükleer enerjide karbon sıfır olduğu için dünyada bu enerji ön plana çıkarılacak,
- fazla yakıt tüketen ve fazla karbon üreten daha fazla vergi alınacaktır. ( Anonim, 2007-a, 2007-b )

#### **2.4.2 Yeşil Kitap (Green Papers)**

Avrupa Komisyonu, 8 Mart 2006'da "Avrupa için Güvenli, Rekabetçi ve Sürdürülebilir Enerji Siyaseti" başlıklı bir Yeşil Kitap yayımlamış bulunmaktadır. Bir öneriler bildirgesi şeklindeki yeşil Kitap'ın amacı, üye ülkeler arasında ortak bir politika oluşturmaya yönelik tartışmaya zemin hazırlamaktır. Önümüzdeki 20 yıl içinde bu alana yaklaşık 1 trilyon euro aktarılması gerektiğini belirten Avrupa Komisyonu buna değeceğine inanmaktadır.

Yeşil Kitap olarak adlandırılan belgede yer alan talepler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Doğal gaz tedarikçilerinin çeşitlendirilmesi yolunda net bir siyaset belirlenmesi
- Kuzey Afrika ve Hazar Havzası'ndan gelecek yeni boru hatları ve sıvılaştırılmış doğal gaz terminalleri gibi yeni altyapı kurulması
- Doğal gazın depolanması konusunda siyaset geliştirilmesi
- Tek bir Avrupa elektrik ağı kurulması
- Tek bir elektrik ve doğal gaz pazarı oluşturulması için yeni adımlar atılması
- Nükleer enerji kullanımı hakkında geniş bir tartışma başlatılması
- Yakıt tüketimini sınırlayıp alternatif enerji kaynakları geliştirmek için daha fazla çaba gösterilmesi
- Enerji piyasalarının açık ve rekabetçi olması sağlanması

Belgede, çevre dostu enerji kaynaklarının geliştirilmesi için daha fazla araştırma yapılması ve bu alana daha fazla yatırım ayrılması savunulmaktadır. Avrupa Birliği 2010 yılına kadar elektriğin en az yüzde 21'ini yenilenebilir kaynaklardan sağlamayı hedeflemektedir. (Anonim, 2008-a)

### 2.4.3 Yenilenebilir Enerji Ve İklim Değişikliği Paketi 2008

2008 yılının ocak ayı içerisinde AB'nin önemli bir girişimi söz konusu oldu; "Yenilenebilir Enerji ve İklim Değişikliği Paketi" açıklandı. Paketin içeriğini AB'nin, 2020'ye kadar, iklim değişikliği alanında ulaşmayı düşündüğü hedefleri ortaya koyan önlemler ve eylemler seti oluşturmaktadır. Aslına bakıldığında bu paket mart 2007'de Avrupa Konseyi'nin kabul etmiş olduğu, tek taraflı AB %20 emisyon azaltma hedefinin somutlaştırılmış hali olarak kabul edilebilir. Çünkü önümüzdeki iki yıl boyunca incelenecek olan bu paketin içeriğinde bu hedefe nasıl ulaşılabileceğini gösteren politika önlemlerini ve düzenlemeleri öngörmektedir. 2009'a kadar Kyoto sonrasına ilişkin anlaşma ile ilgili görüşmeler sürerken, AB de kendi düzeyinde önlemlerini somutlaştırma ve karara bağlama sürecini yaşayacaktır, önümüzdeki 2 yıl boyunca Aynı anda 2 paralel sürecin gerçekleşeceğini umulmaktadır. (Mazlum, 2008) Bir bakışla ifadeyle geçen yıl Avrupa Birliği liderleri, iklim değişimine yol açan sera gazlarını 2020'ye dek yüzde 20 azaltmak konusunda anlaşmıştı. Komisyon şimdi bir anlamda bu hedefi ete kemiğe büründürdü; buna ulaşmak için yapılması gerekenleri sıraladı. Komisyon Başkanı Jose Manuel Barroso, paketin hayata geçirilmesinin 80 milyar dolara mal olacağını belirtmenin yanında, bu konuda bir şey yapmamanın maliyetinin daha büyük olacağını altını çizmektedir. (Anonim, 2008-b)

Paketin içeriğinin dört ana unsurdan ibaret olduğunu belirtebiliriz; Bunlardan birincisi belki de en önemlisini, "Emisyonların Azaltılmasıyla İlgili Önlemleri Düzenleyen Gayretlerin Paylaşılması" olarak adlandırılan bir direktif önerisi oluşturmaktadır. Başka bir ifadeyle, bu direktif önerisi daha önce varolan emisyon ticareti sistemiyle ilgili direktifin yenilenerek kapsamının genişletilmesi, yeni sektörler ve yeni gazlar eklenerek ülkelerin hedeflerinin belirlenmesine dönük önlemleri içermektedir. (Mazlum, 2008)

İkincisi, 2020'ye gelindiğinde yenilenebilir enerji payının %20'ye çıkarılması. Bununla ilişkili bir yenilenebilir enerji direktifi önerisinin oluşturulması. Üçüncü olarak, karbon tutma ve saklama konusunda AB'de özellikle kömürün, fosil yakıtların hâlâ önemli bir yer tutacağı, enerji ihtiyacının karşılanmasında önemli bir payı olacağı düşüncesiyle temiz kömür teknolojisine geçebilmek amacıyla karbon tutma ve saklama teknolojisinin uygulamaya geçirilmesi, en azından pilot düzeyinde uygulamaya geçirilmesi konusunda önlemler alınması. 12 tane demonstrasyon amaçlı karbon tutma, saklama teknolojisi kullanan termik santral yapılması. (Mazlum, 2008)

Dördüncü unsur ise devlet yardımlarının istenen seviyeye ulaştırılması. Hem emisyon ticareti konusunda, hem de özellikle yenilenebilir enerji konusunda ülkelerin uygulamalarını

desteklemek amacıyla teşviklerin gerekli olduğu düşünülüyor için, devlet yardımlarının, özellikle çevre ve yenilenebilir amaçlı kullanımını yeniden düzenleyen ilkelerin belirlenmesi ve önceki üç maddenin devletler nezdinde desteklenmesi.(Mazlum, 2008)

Sera gazlarının 1990 oranlarına göre yüzde 30 azaltılması çağrılarına rağmen Komisyon yüzde 20 hedefini korumaktadır. Bu hedefe ulaşabilmek amacıyla 27 birlik üyesinin enerji ihtiyaçlarının yüzde 20'sini rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir kaynaklardan sağlaması istenmektedir. Bunun için her ülkenin yenilenebilir enerji hedefi ayrı ayrı tespit edilecektir. Örneğin İngiltere için bu oran yüzde 15 olabilecektir. Halihazırda enerjisinin yüzde 40'ını bu kaynaklardan sağlayan İsveç'in ise yüzde 50 oranına yönelmesi söz konusu olabilecektir. (Anonim, 2008-b)

Yeni bir çözüm olarak sunulan biyolojik yakıtların karayolu ulaşımında kullanılan yakıtlar içinde yüzde 10 pay sahibi olması düşünülmektedir. Ayrıca şirketlerin yarattıkları kirlilik için izin belgeleri alması istenmektedir. Emisyon ticareti sistemine (ETS) dahil edilecek gazların sayısı ve sisteme dahil edilen sanayi dalları da artacaktır. Şirketlerin üretimde atmosfere bıraktıkları zehirli gazların bedelini ödemesi ilkesine dayanan sistemde bazı kolaylıklar da sağlanmaktadır. Örneğin yoğun sanayi kollarındaki şirketlere emisyon izin belgeleri 2013'ten itibaren ücretsiz olarak sağlanacaktır. Şirketlerin atmosfere ne kadar zehirli gaz bırakabileceğini belirleyen ETS kotalarının artık Brüksel'de belirleneceği açıklanmış durumdadır. Şimdiye kadar üye ülkeler rakamları belirleyip Komisyon'a sunmaktaydı. Ulaşım, inşaat ve tarım gibi halihazırda ETS kapsamında olmayan alanlarda da yeni ulusal hedefler belirlenmektedir. Zengin ülkelerin hedeflerinin daha ağır olacağı, en yoksul ülkelerin emisyonlarının artmasına izin verileceği belirtilmektedir. (Anonim, 2008-b)

Planın uygulanması için üye ülkelerce ve Avrupa Parlamentosu'nca onaylanması gerekmektedir. Ancak bu onay süreci çalkantılı geçebilecektir. Sanayi liderleri bu önerilere itiraz etmiş, kısıtlamaların ve artan enerji maliyetinin Hindistan ve Çin gibi ülkelerdeki rakiplerine koz vereceğini savunmuştu. Örneğin Fransa hükümeti sanayinin zarar görmesini istemediğini; temiz enerjiye yönelik adımlar düşünülürken, kendilerinin nükleer enerjiye verdikleri ağırlığın göz önüne alınması gerektiğini söylemektedir. Hatta Cumhurbaşkanı Nicolas Sarkozy nükleer enerjinin karbon salımını azaltan bir unsur olarak kabul edilmesini istemektedir. (Anonim, 2008-b)

Değişikliklerin kamuoyları karşısında da fazla popüler olmayabileceği öngörülmektedir. Zira Komisyon, değişikliklerin 2020 itibarıyla konut başına gelen enerji faturalarında ortalama 10

sterlinlik bir artış yaratacağını tahmin etmektedir. Bu artış, elektrik üreticilerinin hükümetlerden emisyon lisansı almak için ek ödemeler yapması anlamına gelmektedir. Açık denizdeki rüzgar tarlalarından nakledilen enerji miktarındaki artışın da maliyetlere yansıtacağı unutulmamalıdır. Komisyon üyelerin emisyon lisanslarından edindiği geliri bütçeye katmamasını, bunu sadece çevre dostu teknolojilerin geliştirilmesi ve yoksulların evlerine yalıtım yapılmasına ayırmasını da beklemektedir. Ancak pek çok hükümet bu öneriye muhalefet etmektedir. Gelirleri diledikleri şekilde kullanmak istemektedirler. (Anonim, 2008-b)

## **2.5 Yenilenebilir Enerjide Yeni Teknolojiler**

### **2.5.1 Güneş Enerjisi**

Avustralya'da Enviro Mission adlı bir "yeşil enerji" firmasının uygulamaya koymak için ilk adımları attığı proje, dünyanın en yüksek kulesinin inşasını içermektedir. Çölde inşa edilecek kulenin yerden yüksekliği bir kilometre olacak şekilde düşünülmektedir. Bu yüksekliğin, Toronto'daki CN kulesinin yüksekliğinin iki katı olduğu göz önüne alınırsa ne kadar yüksek olduğu daha kolay anlaşılır. Enviro Mission firması, yerde çöl üzerinde çapı beş kilometre olacak bir sera kurmayı planlamaktadır. Çalışma prensibi ise şöyle açıklanmaktadır. İçeride ısınan hava, seranın eğimli tavanı boyunca yükselerek kulenin içine akacak ve burada bulunan 32 dev türbini çalıştıracak. Firma yetkililerine göre, türbinlerin üreteceği güç 200.000 evin gereksinmesini karşılamaya yetecek düzeyde olacaktır. Bu projenin en güzel tarafı, orta büyüklükte bir kenti ısıtıp aydınlatmaya yetecek olan enerjinin, herhangi bir atık üretilmeden elde edilebileceğidir. tümüyle temiz enerji elde edilebilecektir. Oysa, aynı düzeyde güç üretecek bir termal enerji santralının bir yılda atmosfere salacağı sera gazı toplamının 830.000 tonu bulacağını hesaplamalar göstermektedir.



Şekil 2.1 Çölde inşa edilmesi düşünülen enerji kulesi(Anonim, 2003-b)

### 2.5.2 Günebakan Projesi

Sunflower (Günebakan) – 250 adı verilen ve olumsuz iklim koşullarında testleri yapılmakta olan düzenek, silikon temelli pahalı fotovoltaik hücrelerin yerine bir toplayıcıya odaklanan hareketli aynalar kullanarak verimi artırmakta ve çatılarda kullanılabilir kadar hafif ve ucuz olma özelliğini taşımaktadır. Çalışma prensibi basitçe açıklanırsa; güneş toplayıcısı Sunflower-250'nin aynaları daima hareketli olmakta ve gün boyunca güneş'i takibedebilmektedir. Verimi ise güneşli bir günde, 1 kilowatt-saat olmaktadır.(Anonim,2005-b)

Güneş enerjisini elektriğe dönüştüren silikon temelli ilk fotovoltaik hücrelerin Bell Laboratuvarları'nda üretildiği yarım yüzyıl öncesinden bu yana güneş enerjisinin maliyeti her on yılda bir %50 azalmış ve 2000'li yılların başında güneş enerjili telefonlar yol kenarlarında, güneş enerjili su pompaları da uzak çiftliklerde alışılan görüntü haline gelmiş bulunmaktadır.

Bunca ilerlemelere rağmen en büyük sorun hâlâ geniş alanları ileri teknolojiyle üretilen silikon gözeler ya da panellerle kaplamanın pahalı olmayı sürdürmesi olarak açıklanmaktadır. Fotovoltaik paneller, şimdilik ancak hükümet sübvansiyonları, vergi iadeleri ya da ertelemeleri, özel krediler vb. “özendiriciler” sayesinde bir piyasa edinebilmiş durumdadır.(Anonim,2005-b ) Fotovoltaiklerce üretilen elektriğin kilowattsaat maliyeti günümüzde 20 centin üzerindedir. Diğer enerji kaynaklarıyla kıyaslandığında Bu maliyet çoğu bölgede kabul edilebilir durumda değildir. Yalnız fotovoltaik panellerin avantajı çatılara kurulabilecek kadar küçük boyutlara sahip olmalarıdır. Bu durumdan, elektrik ihtiyacını karşılamak için evlerin, aracı kurumlara ihtiyaç duymamaları ve kendi ihtiyaçlarını



karşılayabileceği anlamı çıkarılabilmektedir. Böylece aracı kurumlara ödenecek maliyet sıfıra inmektedir. Buradan da anlaşılır ki, bu sistem, maliyet kalemi açısından avantajlı duruma geçebilecek potansiyele sahiptir.

Sonuçta ortaya çıkan Sunflower 250, şiddetli rüzgarlarda uçmayacak kadar ağır, ama iki işçi tarafından kaldırılabilir kadar da hafif bir düzenek. Olumsuz hava koşullarına dayanıklılık testlerinin ardından seri üretime başlayacak olan Çin'in Shenzen kentindeki bir fabrikadan pazara taşınabilmesi için düzenek, bir koli sandığına sığacak biçimde tasarlanmış durumdadır. Sunflower'ın, "ayna tarlası"nın üzerinde konumlanmış güneş kolektöründe bulunan bir yonga, beyin işlevi görmekte ve güç çıkışını kontrol ve bozukluklara müdahale için bir IP numarası içermektedir. Tepedeki düzenek ayrıca, güneş enerjisini %20 verimle elektriğe dönüştüren 4 fotovoltaik panel de içermektedir. Bu da güneşli bir günde 1 kilowat-saat güç anlamına gelmektedir.

### 2.5.3 Güneş Elektriği Üretim İstasyonu

Aşağıdaki şekilde görülen sistem, parabolik çanaklar, aynayla kaplı kanallar ve geniş alanlara yayılmış yansıtıcılarla çevrili "güç kuleleri"den oluşmaktadır. Bu yansıtıcıların güneşin hareketini izleyebilmeleri de karmaşık mekanik aygıtlarla sağlanmaktadır. Bu dev düzenekler hâlâ elektriği kömürle ya da nükleer enerjiyle çalışan santraller kadar ucuza üretemese de, maliyeti düşürme çabaları, araştırmacıları büyük ölçekli düzenekler yapmaya zorlamaktadır.(Anonim, 2005-b)



Şekil 2.2 Güneşten elektrik üretim istasyonu(Anonim,2005-b)

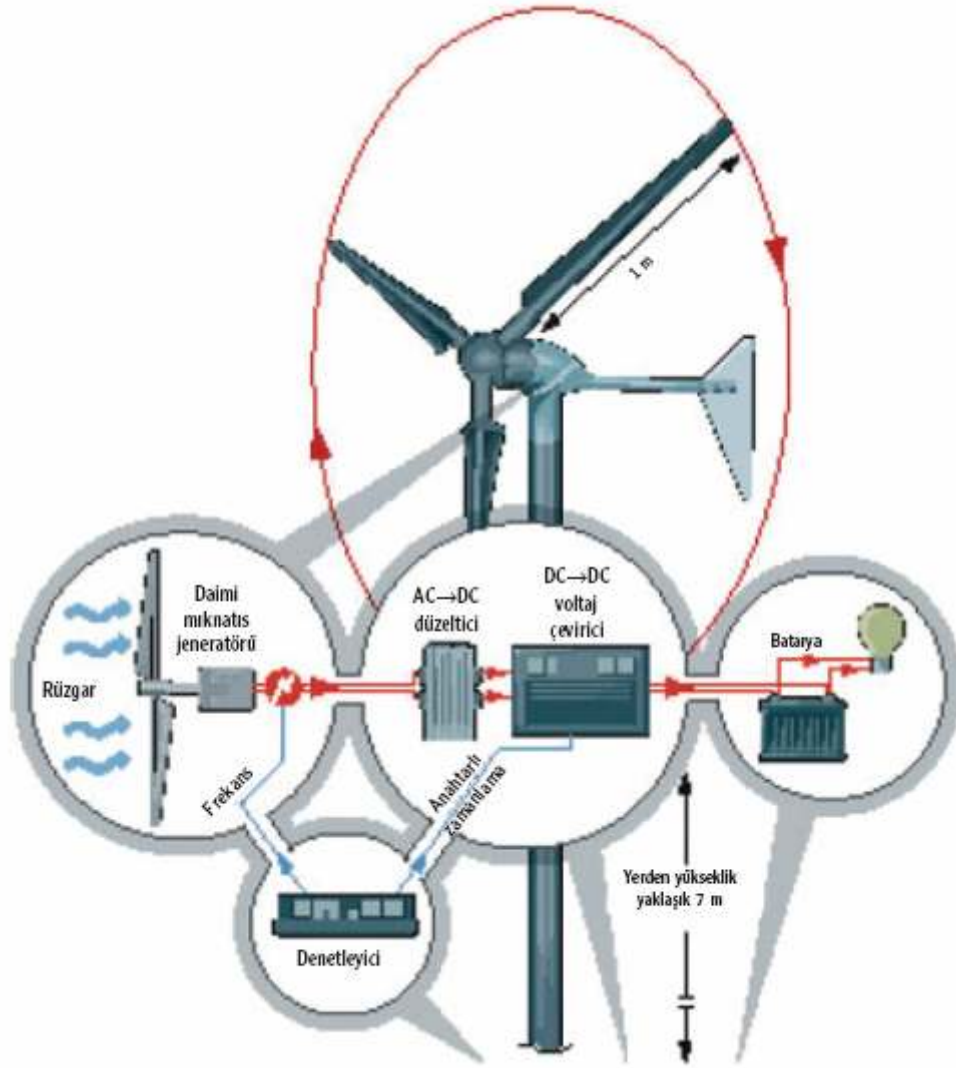
Bu sistem daha çok çöllerde denenmektedir. Güneş enerjisinden yararlanmak için kurulan sistemler büyük boyutlara ulaşmaktadır. Bu da, bu sistemlerin şehirlerde binaların çatılarında

kullanılabilirliğini önlemektedir. Zira verimi artırmak için boyut büyütme gerekmektedir. Verimi % 30'a çıkararak sistemlerin ağırlığı tonlarca olmaktadır. Dolayısıyla bu sistemler çöller gibi boş ve büyük alanlarda incelenmektedir.

#### **2.5.4 Rüzgar Enerjisi**

Rüzgar enerjisinden faydalanmak için en önemli faktör, rüzgar türbini inşa edilmesi düşünülen bölgede yeterli rüzgar hızının varolmasıdır. Araştırmacılar, özellikle küçük ölçekli rüzgar türbinlerinde, rüzgar hızı düşük olsa bile, yeterli sayılabilecek güç üretimini sağlamaya çalışmaktadırlar. Bu çalışmalardan birisi de Alberta Üniversitesi Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nden profesör Andy Knight ve ekibi tarafından yapılmaktadır. Bu ekip türbinlerin görece olarak daha durgun koşullarda da yeterli düzeyde voltaj üretmesini olanaklı kılan bir sistem geliştirmektedir. Küçük ölçekli bir rüzgar türbininde, rüzgar türbini döndürmekte, türbin jeneratörü çevirmekte ve jeneratör de alternatif akım (AC) voltajı üretmektedir. Ama rüzgar hızı değişken olduğundan, üretilen voltaj da değişkendir ve zaman zaman pillerde saklanamayacak ya da şebekeyi besleyemeyecek kadar düşük olabilmektedir. (Akman A., ; Roth K., 2005). Durgun koşullarda yeterli düzeyde voltaj üretilmesini olanaklı kılan bu sistem bu noktada faydalı olabilecektir.

Bu teknolojiyle, jeneratör tarafından üretilen AC akımı, bir düzeltici aracılığıyla DC'ye dönüştürülmekte ve böylece 12 voltluk bir akü içinde depolanabilmektedir. Bir akü çıkış veriminden daha düşük bir voltajla yeniden doldurulamayacağından, ekibin geliştirdiği özel denetleyici aparat jeneratörden gelen AC'nin frekansını izlemektedir. Eğer voltaj DC'ye dönüştürülemeyecek ve depolamak üzere sistem üzerinden gönderilemeyecek kadar düşükse, denetleyici dönüştürücüdeki bir anahtar çevirmekte ve elektrik enerjisi akışını durdurarak toplam voltaj 12 volt oluncaya kadar birikmesini sağlamaktadır. Dönüştürücüdeki bu anahtar saniyede 1.000 kez açılıp kapanabilmektedir. Cihaz, anahtarın açık olduğu zamanın kapalı olduğu zamana oranını düzenleyerek, voltajı duyarlı biçimde ayarlamaktadır. (Akman A., ; Roth K., 2005). Bu denetleyiciler özellikle rüzgar hızının 5 m/s'den az olduğu, bir türbin kurmanın buna değip değmeyeceğinin sınırında olan bölgelerde ciddi bir çözüm olabilecek düzeydedir. Yapılan denemeler göstermiştir ki küçük türbinlerde bu sistem kullanılarak enerji üretimi % 50 artırılabilir.



Şekil 2.3 Durgun koşullarda yeterli düzeyde voltaj üretilmesini olanaklı kılan sistem (Bilim ve Teknik Dergisi, Aralık 2005)

### 2.5.5 Denizlerdeki Rüzgar Enerjisi

Denizlerde, rüzgar enerjisinden faydalanma olanağı her zaman cazibesini korumaktadır. Ancak bu noktada en büyük kısıtlama su derinliğinden kaynaklanmaktadır. Deniz kıyıları sığ olan bölgelerde kıydan içeri gidildikçe derinlik 30 m civarında olabilmektedir. Bu da bu bölgeye türbin inşa edilebilmesi anlamına gelmektedir. Fakat çoğu ülkede denizden içeri birkaç kilometre dahi gidilse derinlik yüzlerce metreyi bulabilmektedir. Rüzgar türbinlerinin çoğu, deniz tabanına 25 metre sokulan tek bir direk ile uzun, ince kuleler üzerine oturtulmaktadır. 30 metreden biraz daha derin sularda işe yarayabilen diğer bazı sabit tasarımlar varsa da, 30 metreden daha derin sularda dalgaların ve akıntıların oluşturduğu yan kuvvetler, direklerin kullanımlarını olanaksız hale getirmektedir.

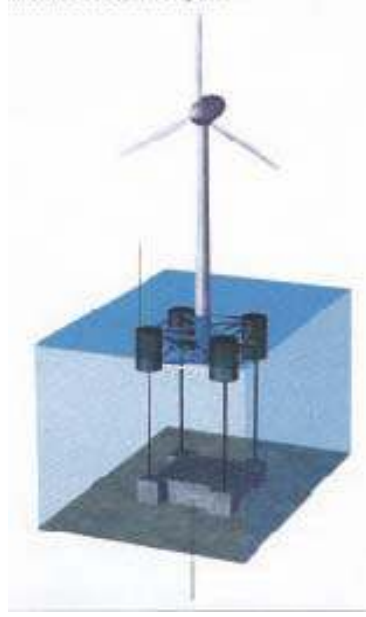
Bu nedenle gerçekten derin sular için çözüm olabilecek tek seçenek, yüzen platformlardır. Amerika'nın çevresinde Avrupa'da olduğu kadar bol miktarda sığ su olmadığına ve kıyıda 8 km. uzağa gittiklerinde bile direkleri kurmanın olanaksızlaştığına dikkat edilirse yüzen platformların önemi anlaşılmaktadır. (Akman A.T., 2004) Yüzen türbinler hayata geçirildiğinde, Avrupa için de yararlı olabilecektir. Kıyı ötesi rüzgar çiftliklerinin manzara açısından hiç kimseyi rahatsız etmeyecek ve radar yansımaları sorununu ortadan kaldıracak şekilde kıyıda çok uzakta inşa edilmelerini olanaklı kılacak yüzen türbinler, çiftliklerin kurulacakları bölgeleri seçerken kurulumun kolaylığı ya da suyun derinliği gibi faktörler yerine, rüzgarın en uygun koşulda olduğu yere öncelik tanınması fırsatını vermektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta iletim esnasında enerji kayıplarını minimum tutmaktır. Yüzen türbinler, rüzgarın en uygun olduğu yerlere konuşlanacağından iletim hatlarının esnek olması gerekmektedir. İletim hattı kimi zaman kısa kimi zaman çok uzun olabilecektir. Bu hattın optimum bir şekilde tasarlanması gerekmektedir.



Şekil 2.4 Deniz kıyılarına inşa edilen rüzgar türbinleri (Bilim ve Teknik, Mart 2004)

### 2.5.5.1 Kıyı Rüzgar Türbinlerinin Çalışma Prensibi

Kıyı ötesi bir rüzgar türbini, aslında karada yer alan bir türbine çok benzer bir yapıdadır. Aralarındaki tek fark, kıyı ötesi türbinlerin boylarının yaklaşık 60 metre daha uzun olması. Kıyı ötesi rüzgar türbininin rüzgar estikçe dönen ve her birinin boyu ortalama 35 metre olan kanatları, direğin tepesine yerleştirilmiş bir şaftta birleşir. İçeride, bir dişli çark dönme hızını artırır. Ardından bir jeneratör bu enerjiyi elektriğe dönüştürmek için manyetik alanları kullanır.



Şekil 2.5 Kıyı ötesi rüzgar türbini deniz altı yapısı (Bilim ve Teknik, Mart 2004)

Türbinler genel olarak kıyıdan 5 km açığa, derinliğin yaklaşık 30 metre olduğu alanlara yerleştirilir. Üretilen elektriğin kıyıya ulaşmak için yaptığı yolculukta, büyük bir kısmının ısı olarak kaybedilmesini önlemek için, denizdeki transformatörler kullanılarak 33.000 voltluk gerilim oluşturulur. Bu elektrik denizin altına yerleştirilmiş kablolar yoluyla karadaki alt istasyonlara, buralardan da ulusal elektrik şebekesine iletilmektedir. (Akman A.T., 2004)

### 2.5.5.2 Rüzgar Gücünün Depolanması

Rüzgarın öngörülemez doğası, çok rüzgar ancak az talep olduğu zamanlarda üretilen gücün saklanabilmesi gereksinimini doğurmaktadır. Bunu yapmanın yollarından biri, dev pillerdir. Harwell, Oxfordshire'daki (İngiltere) Regenesys Teknoloji, yükleri saklamak için rüzgar çiftliklerine yerleştirilebilen yüksek kapasiteli pil bankaları geliştirmektedir. Bu kurulumların ölçeği çok büyük olabilmektedir. Örneğin 100 megawatt-saat enerji saklama kapasitesindeki bir pil bankasının, yaklaşık 1 hektarlık bir alanı işgal edeceği öngörülmektedir. Daha da ötesi,

bu teknik elektriği yalnızca birkaç saat için, en iyi olasılıkla bir gün boyunca saklayabilmektedir. North Hoyle'dan kıyı boyunca yalnızca birkaç km uzaktaki Anglesey'deki Wind Hydrogen isimli bir şirket, bu eksikliği giderecek alternatif bir yaklaşım geliştirmektedir. Araştırmacılar, gereksinim fazlası elektriği, suyun elektrolizi yoluyla hidrojen üretmek için kullanmaktadır. Bu yaklaşımın temeli, rüzgarın güçlü, ancak talebin düşük olduğu dönemlerde hidrojen üretmek ve daha sonra talebin yüksek olduğu dönemlerde onu elektrik üretmek için yakmak üzerine kuruludur. Bu yaklaşıma getirilen eleştiriler, rüzgardan elde edilen enerjinin %75'inin, onun hidrojene dönüştürülmesi ve tekrar enerjiye dönüştürülmesi aşamalarında kaybedildiğine işaret etmektedir. Ama burada amaç pillerle rekabet etmek değil, bunun yerine hidrojen ekonomisi için altyapı oluşturma'dır. Rüzgardan elde edilen hidrojenin en önemli anlamı da, burada saklıdır. Bir litre hidrojen üretiminin, maliyet bakımından bir litre petrolün vergisiz ücretiyle aynı olduğunu söyleyen Pritchard, eninde sonunda hidrojeni doğrudan bir yakıt olarak satmanın mümkün olacağını ummaktadır. (Akman A.T., 2004)

### **3. ENERJİ KAYNAKLARI VE ÇEVREYE ETKİLERİ**

İnsanların ihtiyaçlarının karşılanmasında ve gelişmenin sağlıklı olarak sürdürülmesinde gerekli olan enerji özellikle sanayi, konut ve ulaştırma gibi sektörlerde kullanılmaktadır. Ancak enerji; yaşantımızdaki vazgeçilmez yararlarının yanı sıra üretim, çevrim, taşınım ve tüketim esnasında büyük oranda çevre kirlenmesine de yol açmaktadır.

Her tür enerji, elde edilmesinden son kullanıcıya ulaştırılmasına kadar geçtiği tüm aşamalarda havaya, suya, yaşayan canlılara ya da yok edilmesi sorun olan atıklarıyla çevreye zarar verir. Hidrolik enerji, nehirlere barajlar kurulmasına, barajlar da nehir kıyısında yaşayan insan topluluklarının başka yerlere göç etmesine ve nehir ekosisteminin çökmesine sebep olur. Rüzgar ve güneş enerjisi santralleri habitatların etkilenmesi ve doğal peyzaj bütünlüğünün bozulması anlamına gelir. Biyokütle enerjisi temini için kullanılan bitkilerin yetiştirileceği tarlalar, belirli doğal alanların tarım alanına dönüştürülmesine sebep olur. Fosil yakıtların yerini nükleer enerjinin alması, hem nükleer kaza kaygısı, hem de radyoaktif atıkların güvenli biçimde depolanamaması yüzünden olanaksız görünür.(Anonim, 2008-c)

Nüfus artışına, sanayinin gelişmesine paralel olarak kurulan büyük ölçekli enerji üretim ve çevrim sistemleri ekolojik dengeyi büyük ölçüde etkiledikleri gibi sınırlar ötesi etkileri de beraberinde oluşturmaktadır. Bu nedenle çevre sorunları ulusal olduğu gibi uluslararası nitelikler de taşımaktadır. Yine bu nedenle çevre sorunlarını gidermek için, gerekli tedbirlerin alınmasında, uluslararası işbirliğinin rolü önem kazanmaktadır.

#### **3.1 Yenilenemeyen Enerji Kaynakları Ve Çevreye Etkileri**

##### **3.1.1 Fosil Yakıtların Çevreye Etkileri**

Bu yakıtlar içerisinde petrolün sınırlı rezerve sahip olması, petrol üretiminin 21. yüzyılın ilk çeyreğinden sonra azalan üretim ve artan fiyat nedeniyle düşüş göstereceği, dünyadaki mevcut doğal gazın rezervinin mevcut kömür rezervinden çok daha düşük olması dikkate alınır, kömürün en kirletici enerji kaynağı olmasına rağmen yine de en çok ve en uzun kullanılacak bir kaynak olduğu görülecektir. Her üç kaynağın tüketimi ile atmosferde ortaya çıkacak kirlilik etkileri ise şu şekilde olmaktadır. (Anonim, 2000-a)

##### **3.1.1.1 Global Isınma ve İklim Değişikliği**

Fosil yakıtların yanması ve özellikle ormanların giderek azalmasıyla havadaki CO<sub>2</sub>'in diğer

bazı gazlarla birlikte sera etkisi yaparak, güneş ışınlarını yeryüzüne yakın bir yerde tutması ve bu suretle yerküreyi ısıtıp iklimi değiştirmekte olduğu artık yadsınamaz bir gerçek olarak karşımızda durmaktadır.

### **3.1.1.2 Asit Yağmurları ve Global Hava Kirliliğinin Zararları**

Sanayinin gelişmesiyle 1970'li yıllarda olumsuz etkileri iyice dikkat çeken hava kirleticilerin kontrolüne ilişkin tedbirlerin alınmasıyla, hava kirlenmesi azaltılmış olmakla birlikte, yüksek bacalar veya tedbir alınmamış kirleticiler sınırlar ötesine taşınmış ve global kirliliklere yol açmıştır. Bu kirlilikler çok uzun mesafelere atmosferik şartlara bağlı olarak taşınmakta göllere, topraklara, bitki ve hayvan topluluklarına zarar vermektedir. Böylelikle kirlilik sınır ötesi bir hal almaktadır. Neticede oluşan kirleticiler sülfürik ve nitrik asitler, amonyum tuzlarıdır. Bu maddeler ayrıca metalik yüzeyleri, binaları, taşıt araçlarını da etkilemektedir. Topraktaki asitleşme ile birlikte havadan gelen asitleşme etkisi bitki örtüsünü olumsuz olarak etkilemekte ve bazı bitki türlerinin tamamen yok olmasına sebep olmaktadır.

Fosil yakıtı dayalı bir termik santralin çevreye vereceği zararın en aza indirilebilmesi için öncelikle yer seçimi aşamasında ekolojik faktörler dikkate alınmalı ve Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) çalışmasına bilhassa önem verilmelidir. Önceki yıllarda, yerel meteorolojik koşullar ve santralin tasarım parametreleri göz önüne alınarak yöredeki hava kalitesi değerlerinin belirlenen standart değerlerin altında kalmasını sağlayacak yükseklikte baca inşa edilerek önlenmeye çalışılan çevresel etkiler; son yıllarda sınır ötesi taşınım ve asit yağmurları nedeniyle, kaynakta kirletici gazların tutulması yolu ile önlenilmeye çalışılmaktadır.

### **3.1.1.3 Şehirlerde Hava Kirliliği**

1960'lı yılların başından itibaren dünyanın her tarafında görülen hızlı nüfus artışı, kentleşme ve sanayileşme, ısınma, trafik, sanayinin gelişmesi ve buna bağlı elektrik üretimi için artan bir yakıt tüketimini de beraberinde getirmiştir. Bu yakıtlar çevreye zarar veren SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> ve çeşitli organik bileşikler, kurum ve partikül maddeleri içerirler.

Kömür yakıtlı termik santrallerin özellikle ülkemizde ağırlıklı olarak elektrik enerjisi üretiminde kullanıldığı bilinmektedir. Bunun başlıca nedeni, kömürün fuel-oil veya doğalgaz gibi ülkemizde pahalı ya da kıt olan yakıtlara göre daha ucuz olarak kabul edilmesidir. Son yıllarda ithalatın artmasıyla doğalgaz öne geçse de ülke kaynakları bakımından kömür yine de ön plandadır. Günümüzde artan talebin karşılanabilmesi için ithal doğalgaz başta olmak üzere



her türlü kaynak kullanımını için araştırmalar yapılmaktadır. Ancak, bir enerji cinsinin “Fizibilite Raporu” hazırlanırken, çevreye verebilecek zararların ve bu zararların en aza indirilebilmesi için gerekli önlemlerin maliyetleri de dikkate alınmalıdır. Çünkü, linyit kullanan termik santrallerin bacalarından atmosfere atılan başta SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> ve CO<sub>2</sub> gazları farklı tozlar ve ayrıca üretmiş oldukları çok büyük miktarlara ulaşan küllerle, çevreyi yoğun olarak kirlettiği bilinmektedir. Bu nedenle ve özellikle düşük kaliteli linyit kullanan termik santrallerde, kömürün yanma prosesleri, atıkları ve emisyon kontrolü metotlarına ait bazı bilgilerin incelenmesinde fayda vardır.

### **3.2 Fosil Kaynaklı Yakıtların Kullanılması Sonucu Ortaya Çıkan Gazların Neden Olduğu Çevresel Etkiler**

#### **3.2.1 Bitki Örtüsü Üzerine Etkileri**

Fosil yakıtların kullanılması sonucu ortaya çıkan ve bitki örtüsünü en çok etkileyen gazlar, kükürt di oksit ve azot oksitlerdir. Bu gazlar etkisi özellikle termik santrallerin bulunduğu ve yoğun bir şekilde ortama gaz salınan yerlerde çok daha şiddetli olmaktadır. SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub>'lere en hassas olan ve etkilenen bitki organı yapraklardır. Stomalar vasıtasıyla bünyeye giren SO<sub>2</sub> ve HF gibi asit etkili kirleticiler, yaprak dokusunun zarar görmesine neden olmaktadır. Ayrıca yanık etkisi, serbest asit halinde yüzeysel olarak da ortaya çıkabilmektedir. Yanıkların derecesine bağlı olarak fotosentez gerilemektedir. Bitkiler üzerinde kirletici etkisiyle ortaya çıkan zararlı etki üç ayrı boyutta görülebilir. Bunlar akut, kronik ve gizli etkilerdir. Akut zararlanmaya uğrayan bitkiler derhal ölmekte, kronik zararlanma öldürücü olmamakla birlikte bitki kalitesini büyük oranda bozmaktadır. Görülmeyen (gizli) zarar ise zaman içinde ortaya çıkmaktadır. SO<sub>2</sub> 'nin bitkilere olan bu doğrudan etkisinden başka, yöredeki yağışların ve bağıl nemin fazlalığı da topraktaki asitleşmeyi arttırıcı, bazlarda fakirleştirici ve mikrobiyolojik aktiviteyi yok edici bir etkide bulunarak, dolaylı olarak bitkilerin direncinin azalmasına neden olur. Bu direnç kaybı zararlı böcek ve mantarlar bitki örtüsünü ve kalitesini giderek yok eder. SO<sub>2</sub>'nin yapraklardan sonra en etkili olduğu yer, hazır bitki besinlerinin taşındığı borulardır. Bu borular vasıtasıyla SO<sub>2</sub>'in etkisi bitkinin diğer kısımlarına yayılır. Bitki terleme olayını kontrol edemez ve su dengesi bozular. Bitkide solgunluk ve kurumalar görülür. Bu durum bitkideki fotosentez olayını bozar. Ayrıca polen tozları ve dişiçik tepesi gazdan zarar gördüğünden dölleme olmaz ve meyve tutmaz. Meyvedeki belirtiler, SO<sub>2</sub>'ye 1 yıl kaldıktan sonra belirginleşir. Bitkideki SO<sub>2</sub> ve NO<sub>2</sub> zararları yaprak lekeleri, yaprak kurumaları, yaprak ve meyve dökülmeleri, büyümedeki

gerileme, solgunluk ve ölümlerle sonuçlanır. Bitki örtüsünü etkileyen asit yağmurları, SO<sub>2</sub>'in havada gerçekleştirdiği bir takım reaksiyonlar sonucu olur. Öncelikle SO<sub>2</sub> atmosferde oksidasyonla SO<sub>3</sub>'e dönüşür. Bu oksidasyon süreci katalitik ve fotokimyasal süreçle devam eder ve SO<sub>3</sub> derhal su (H<sub>2</sub>O) ile reaksiyona giderek sülfürik asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) meydana gelir. Eğer ortamda NaCl varsa Na<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> ve hidroklorik asit (HCl) oluşur. (Uslu T.,2000)

### 3.2.2 İnsanlar Üzerindeki Etkileri

Bu gazların insan üzerindeki etkileri, öncelikle termik santral ve kömür işleme sahalarında çalışanlar üzerinde görülmektedir. Termik santralden uzaklaştıkça insanlar üzerindeki etki giderek azalmaktadır. Yıllık ortalama konsantrasyonunun 100 µg/m<sup>3</sup> 'ü aşması halinde, solunum yolu hastalıklarda artış görülür, günlük SO<sub>2</sub> konsantrasyonu 250- 500 µg/m<sup>3</sup> olduğu zaman akciğer hastalıklarında artış görülür. Günlük konsantrasyonun 500 µg/m<sup>3</sup>'e ulaşması durumunda solunum yolu hastalıklarının sayısının artışı ve ölüm olayları görülür. (Doğu, B.,Uysal, Z., 1991)

SO<sub>2</sub> gazı solunum yollarına girerek orada su ile birleşir ve sülfüroz asidini (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>) meydana getirir. Bazen bu oksidasyon havadaki su buharı ile olur ve zehirli sis dumanları teşekkül eder. Bu da dumanı soluyan kimselerin boğaz ve hava yollarında ilerleyici bir tahriş öksürüğüne sebebiyet vermektedir. Duman zehirlenmesi devam ettikçe hava yollarının tıkaçıcı iltihabı denilen kronik bronşit ve bunun sonunda da karaciğer şişkinliği (Anfizem) oluşmaktadır. NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> bir arada bulunurlarsa birbirlerinin zararlı etkilerinin artırmaktadır. NO<sub>2</sub> çıkan fabrikanın çevresinde yaşayan çocuklarda solunum fonksiyon testlerinde normale kıyasla zayıfama, akut solunum yolları enfeksiyonlarında artma, kanda methemoglobinin artma belirlenmiştir. CO alveollerimize girdikten sonra kana geçmekte ve oksijen olarak bilinen hemoglobinle birleşmekte, bu arada oksijenin yerini almakta ve karbosihemoglobin (COHb) oluşturmaktadır. Partiküller, görüş mesafesinde azalma, kötü kokular, güneş ışığını engelleme gibi etkilerinin yanında, solunum yollarının savunma mekanizmalarını zayıflatır ve zararlı maddeleri akciğere taşırlar. Bu zararlı maddeler de akciğerleri etkileyerek nefes darlığına neden olurlar. (Doğu, B.,Uysal, Z., 1991)

### 3.2.3 Topraklar Üzerindeki Etkileri

Atık gazların çevresindeki topraklar aşağıdaki şekilde kirlenmektedir.

- Baca gazındaki kükürt dioksitin asit yağmuru şeklinde toprağa geçmesi ve toprağın kimyasal yapısının zamanla değişmesi,

- Baca küllerinin kül yağmuru olarak toprağa yağması ve toprağın fiziksel ve kimyasal yapısının zamanla değişmesi,
- Radyoaktif maddeler içeren kömür kullanan termik santrallerde, baca külleri ile radyoaktif maddelerin toprağa karışması,
- Termik santral ve lavuarların kirlettiği akarsuların tarım topraklarının sulanmasında kullanılması ile bu kirliliğin topraklara geçmesi ve tarım topraklarını kirletmesi,
- Termik santrallerin oluşturduğu asit yağmurları sonucu ormanları kurutması ve bu alanlardaki topraklarda su erozyonunun hızlanması ve benzer olumsuz etkiler sayılabilir. (Uslu T.,2000)

### 3.2.4 Hayvanlar Üzerindeki Etkileri

Termik santrallerin bacasından çıkan SO<sub>2</sub> gazının havadaki 1 ppm'lik dozu hayvanların solunum sistemlerinde akut etkilere neden olur. Düşük SO<sub>2</sub> dozlarına sürekli maruz kalan hayvanlarda solunum yolları enfeksiyonları artar ve kasların elastikiyetleri azalır. NO<sub>2</sub> gazı ise burun ve gözlerde tahrişe neden olur. Bunu solunum güçlüğü, akciğer ödemleri ve ölüm izler. (Doğu, B.,Uysal, Z., 1991)

### 3.2.5 Yeraltı ve Yerüstü Suları Üzerindeki Etkileri

Termik santralin deniz ortamına etkisi, sıvı atıklarla ve hava kirliliği sonucunda SO<sub>2</sub>'nin asit yağışına dönüşmesiyle (doğrudan veya yer altı ve yer üstü sularının denize ulaşmasıyla) veya denizde asitleşmenin meydana gelmesiyle olmaktadır. Bu kirlenmeler deniz ekosisteminde meydana gelebilecek bozulma sonucunda, su ürünlerinin balıkçılık ve süngerciliğin olumsuz etkilenmesine ve üretimde düşüşe neden olacaktır. Termik santral ve lavuarların kirlettiği akarsuların çeşitli alanlarda kullanımı, olumsuz etkilere neden olmakta ve bu akarsulardan yararlanıldığında başka çevre sorunları ortaya çıkmaktadır. Termik santrallerin çevreye olan etkilerinin ve zararlarının büyüklüğü tartışılmaz. Ancak termik santrallerin kirletici atıklarını, istenen limitlerde tutabilen arıtma tesisleri ve teknolojileri mevcuttur. Her türlü atığın arıtılması yoluyla termik santrallerin çevreyi kirletmeden temiz çalışması sağlanabilir. (Uslu T.,2000)

### 3.3 Nükleer Enerji Ve Çevreye Etkileri

Günümüzde enerji sorunu artık her gün konuşulur hale gelmiştir. Bunun nedeni şimdiye kadar tükettiğimiz dünya kaynakları kısa sayılabilecek bir sürede tükenecektir. Yeni arayışlar gündemdedir. Dünyada çeşitli ülkelerde enerji ihtiyacını karşılamak için yıllardır kullanılan nükleer enerji ülkemizin gündemine iyiden iyiye oturmaktadır. Ülkemizdeki gibi doğal kaynak bakımından zengin olmayan Fransa gibi ülkeler enerjilerinin % 70'lere varan kısmını nükleer santrallerden sağlamaktadır. O yüzden yıllardır kullanılan santrallerin olumlu ve

olumsuz özellikleri kolaylıkla görülebilir hale gelmiştir.

Artan enerji talebiyle birlikte nükleer enerjiden faydalanmayı da elbette gündeme almak gerekir. Ülkemiz olarak avantajımız bizden önce bu enerjiyi kullanmış olan ülkeleri takibe alıp, incelemelerde bulunduktan sonra bu enerjiden optimum oranda faydalanabilmektir. Böyle yapılırsa görülebilecek zararlar en aza indirilir ve artan talebe bir nebze olsun katkıda bulunulabilir. Ancak bu enerjiden faydalanırken çevreye olabilecek etkileri asgariye indirmeli, günümüze ulaşmış olan tecrübelerden azami derecede faydalanılmalıdır. Tabi burada hatırlatmak gerekir ki yenilenebilir enerjinin önceliği her zaman hatırdan tutulmalıdır. Yalnız tüm enerji ihtiyacımızı yenilenebilir kaynaklardan sağlamak olanaksız gözükmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta ressiad başkanı Mustafa Ültanır'ın da vurguladığı gibi nükleer santraller kurulacaksa bir o kadar da yenilenebilir enerji santrali kurulmalı ve bu amaç kıvılcık gibi hedef seçilmelidir.

Çevresel etkiler bakımından değerlendirildiğinde nükleer enerji santralleri hakkında en çok sözü edilen konular radyoaktif atıklar ve radyasyon sızıntısıdır. Ülkemizde kurulacak olan bir nükleer santralin yüksek radyoaktivite içeren yıllık kullanılmış yakıt miktarı yaklaşık 30 ton civarında olacaktır. Diğer bir deyişle, bir nükleer santralin ömür boyunca (40-50 yıl) üreteceği atık yaklaşık olarak 200 m<sup>3</sup> civarındadır. Önemli bu atığın bağımsız bir denetleme otoritesinin de gözetimi altında güvenilir bir şekilde depolanabilmesidir ve günümüz teknolojisi bunu başarabilecek düzeydedir. Nükleer enerjiden kaynaklanan radyoaktif atıklar kontrollü olarak depolandıkları için çevreye herhangi bir tehlike oluşturmamaktadır. Ayrıca nükleer atık depolama teknolojisi günümüzde mevcuttur ve önümüzdeki on yıl içinde başta ABD olmak üzere bazı ülkelerde nihai atık depolama teknolojisi uygulamalarına geçilebilecektir.

Nükleer enerji seçeneğinin kullanılması, CO<sub>2</sub> emisyonunu azaltmasının yanısıra SO<sub>2</sub> ve NOX emisyonlarını önlemede de etkin bir yol oynayacaktır. Fosil yakıtlı santrallerde kullanılacak olan desülfürizasyon ve denoksing gibi SO<sub>2</sub> ve NOX emisyonunu önleyebilecek ekipmanların kullanılması bu santrallerin maliyetini artırmaktadır ve sadece kirliliğin şeklini değiştirmektedir. Ayrıca enerji hammaddesi açısından dışa bağımlı olan ülkemizin karşılaştığı, yakıt taşıma sırasında olabilecek kazalar sonucu çevre kirliliği de önemli boyutlardadır. Avrupa Komisyonu 1999 Yıllık Enerji Raporu'nda açıklandığı gibi, küresel ısınmanın en önemli nedeni olan CO<sub>2</sub> emisyonunun gelişimine bakılacak olursa; dünya genelinde CO<sub>2</sub> emisyonu 80'li yıllarda, kararlı bir biçimde, yılda % 1,3 oranında artmış, 1990 yılından sonra bu artış hızı yılda % 1,1 düzeyinde kalmıştır. Diğer bir deyişle, 1990-1997

yılları arasındaki CO<sub>2</sub> emisyon artışı % 8 olmuştur. 1997 yılında imzalanan Kyoto Protokolü 2008-2012 yılları arasında 1990 yılı emisyonunu % 5,2 altına çekmek CO<sub>2</sub> emisyonu sorununa tüm insanlığın yararı için acilen bir çözüm getirecek mahiyettedir. Önlem alınmazsa, CO<sub>2</sub> emisyonu dünyanın karşılaşılabileceği en büyük çevre felaketine neden olacaktır. Buna karşın, örneğin, 1000 MWe gücünde bir kömür santralının çevreye bıraktığı yılda 6,5 milyon ton CO<sub>2</sub>, 300.000 ton kül, 4000 ton NOX ve 400 ton ağır metal neredeyse tamamen kontrol ve denetim dışıdır. (Anonim, 1999-a)

Enerji üretiminin çevresel etkileri değişik biçimlerde değerlendirilebilir. Bu değerlendirmeler, her bir kaynak için birim enerji üretimine karşılık gelen kirletici madde tip ve miktarları, bunların çevre ve atmosfer içerisindeki dağılımları, çalışanların ve halkın sağlığı üzerine etkileri, atığın miktar ve zehirliliği, uzun dönemde çevre ekolojik sistemler göz önüne alındığında karşımıza sera etkisi, asit yağmurları ve hava kirliliği olarak çıkar. Keban Barajı gücünde 700 MW'lık bir nükleer santralin yıllık yanmış yakıt çıktısı 100 ton'dur. Aynı güçte linyit kullanan bir termik santral bunun ondört katını (1400) bir günde kül ve curuf olarak dışarı atar. Bunun sonucunda 8 ton uçucu kül, bacalardan atmosfere yayılır ve yıllık toplam atık miktarı 500 000 tonu bulur. Bunun yanı sıra yılda 4 milyar 200 bin ton sera etkisine neden olan CO<sub>2</sub> atmosfere verilmiş olur. Fosil yakıt yakan tesislerin bacasından çevreye yayılan gaz ve partiküller, insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Hava kirliliği bronşit, emfizema, akciğer kanseri gibi hastalıklara ve farkına varılmadan ölümlere neden olabilmektedir. ABD'de "Medical Association" ile "National Energy Studies Project" tarafından yapılan çalışmalara göre kömür veya fuel-oil yakan santraller GW-yıl başına en azından 10 ölüm ve 2000 hastalık vakasına neden olmaktadır. (Bozkurt, G., 1994)

Nükleer güç reaktörlerinde meydana gelen artıklar çekirdek fisyonu ve nötron aktivasyonu sonucu oluşurlar. Reaktörde meydana gelecek artığın miktarı, reaktör tipine, inşa şekli ve işletme usullerine, reaktör yerinin özel koşullarına bağlıdır. İnsanların radyasyon dozlarına maruz kalmaları akut ışınlama (kısa zaman süresi içinde ışınlama sonucu alınan dozlar) olmak üzere iki grupta incelenebilir. Akut dış radyasyon etkileri, genel akut etkiler ve lokal akut etkileri olarak gruplandırılabilir.

### **3.3.1 Radyasyon Etkileri**

Nükleer teknoloji ile ilgili olarak kamuoyunun endişelerinin temelinde, radyasyonun sağlık üzerindeki etkilerinden kaynaklanan korku yatmaktadır. Radyasyon, günlük hayatımızın bir gerçeğidir. Yıllık kişisel radyasyondan etkilenme içerisindeki dünyadan saçılan radon gazının

payı % 49, kozmik radyasyondan, topraktaki ve vücudumuzdaki radyoaktif elementlerden kaynaklanan doğal radyasyon etkisi ise % 40 oranında olmaktadır. Geriye kalan % 11'lik pay ise insan tarafından üretilen ve genellikle tıbbi uygulamalardan kaynaklanan radyasyona aittir. Nükleer teknolojiye dayalı faaliyetlerden kaynaklanan radyasyon % 0,006 oranında olup, günlük radyasyondan etkilenme içerisinde % 0.006'lık bir eşdeğere karşılık gelmektedir. Doğal radyasyon miktarı bölgeden bölgeye değişir ve radon gazı miktarının yoğun olduğu bazı bölgelerde global ortalamanın 10 ila 20 kat üzerine çıkar. Dünyanın herhangi bir yerinde işletilmekte olan ticari nükleer tesislerin rutin işletimlerinden kaynaklanan sağlık etkileri ile ilgili güvenilir bir doküman mevcut değildir. Dünyaca kabul görmüş yayınlar, nükleer tesislerin kanserden kaynaklanan ölümlerle hiçbir ilgisi olmadığını ortaya koymaktadır. Gerçekten de, normal işletim şartlarında, bakım personelinin aldığı yıllık doz Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi'nin kabul sınırının yaklaşık 1/100 katı ile 1/1000 katı arasında olabilmektedir. (Anonim 2000-b)

## 4. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE ÇEVREYE ETKİLERİ

Yenilenebilir enerji kaynakları bilindiği gibi, sürekliliği itibariyle sürdürülebilir olduktan başka dünyanın her ülkesinde var olabilen bir özelliği ile büyük önem taşımaktadır. Fosil yakıtları esas alan enerji kullanımı; yakıt konusunda dışa bağımlılık, yüksek ithalat giderleri ve çevre sorunları gibi önemli olumsuzlukların yanında, dünya fosil yakıt rezervlerinin hızla tükenmesi sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini arttırmaktadır. Diğer taraftan çevresel etkileri, yenilenemeyen enerji kaynaklarına oranla çok azdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, mevcut teknik ve ekonomik sorunların çözümlenmesi halinde 21. yüzyılda en önemli enerji kaynağı olacağı kabul edilmektedir. Şimdi geçmişten beri kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarına bir göz atalım.

### 4.1 Odun

Yenilenebilir enerji kaynağı olarak, önemli potansiyele sahip olmakla birlikte, tüketimi o derece hızlıdır ki yenilenebilme kapasitesi oldukça düşmüştür. Odun tüketimi, ayrıca sanayi hammaddesi olarak kullanılması halindeki yararı çok yüksek olmasına rağmen, en verimsiz şekilde yakıt olarak yaygın kullanılmaktadır. Yakıt olarak kullanıldığı zaman en verimsiz bir şekilde kullanılmış olmanın yanında ormanlar da yok olmaktadır. Dünyanın oksijen kaynağı olan ağaçların bu şekilde verimsiz bir yolda kullanılmasının pek akıllıca olmadığı görülmektedir. En azından tüketildiği oranda yenilenmesi sağlanmalıdır ki uzun zaman diliminde ortaya çıkacak sorunların önüne geçilebilmiş olsun.

### 4.2 Hidrolik Güç

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında odundan sonra ikinci sırayı almaktadır ve dünyada her yıl üretimi artmaktadır. Bugün hidrolik güçten oldukça yararlanılmasına rağmen, kullanılmayan potansiyel yine de çok bulunmaktadır. Hidrolik barajların ayrıca, büyük toprak alanlarını sular altında bırakması, ekolojik yapıda bitki ve hayvan türlerini değiştirmede de dolaylı etkisi gibi, pek fazla zararlı olmayan etkileri de bulunmaktadır.

Ulusal kaynaklarımızdan ve işletme masrafları çok düşük olan ancak hala yeterince değerlendirilemediğimiz hidroelektrik enerji santrallerinin yatırımları desteklenmelidir. Fakat ülkemizde elektrik üretiminde doğalgazın önceliği almasından sonra bırakın yeni santrallerin inşasını mevcut kurulu kapasitenin bile değerlendirilmediği görülmektedir. Dikkat edilmesi gereken bir konu da Özellikle büyük hidroelektrik santrallerin ekolojik ve sosyoekonomik

dengede oluşturduğu Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED'i) yapılarak belirlenecek olumsuz etkilerini azaltacak tedbirler alınmasıdır.

Barajlar; depoladıkları suların, kapladıkları alanların ve yapılan hafriyatın büyüklüğü, baraj göl ve göletlerin oluşması sırasında şora ve faunanın ya da yerleşim yerlerinin su altında kalması ve sulama faaliyetlerinin ekosistemde oluşturacağı değişikliklerle ve baraj inşaatı sırasında ortaya çıkaracağı değişikliklerle ve baraj inşaatı sırasında ortaya çıkaracağı istihdam imkanları, enerji üretim, nakil ve dağıtım hatları ile çok yönlü çevresel etkilere sahip olmaktadır.

Barajların yapımı ile bölgedeki bazı yerleşik halkın yeniden iskan sorunları, yerleşik alanlardaki tarihi ve kültürel varlıkların sular altında kalma durumu, sosyokültürel etkiler olarak önem arz etmektedir. Örneğin Hasankeyf yöresindeki bir baraj inşaatı yapılması gündemde olduğu halde hala harekete geçilememiştir. Bunun nedenlerinden biri de bu eşsiz beldenin yok edilmek istenmemesidir.

Yeni oluşan baraj gölleri ya da sulama faaliyetleri sonucunda, ekosistem ve iklim gibi çevre faktörleri ve buna bağlı olarak yaşayan bitki ve hayvanlarda bir kısım değişiklikler beklenmektedir. Bu değişiklikler sonucu ya bazı bitki ve hayvan türleri ortadan kalkabilmekte ya da tür popülasyonlarında bir takım değişimler olabilmektedir. Bu değişimlere karşılık, oluşan veya oluşacak yeni baraj göl alanlarındaki tatlı su fauna ve şorası da büyük bir potansiyele sahip olabilmektedir. Baraj gölleri ve çevresinde oluşabilecek değişikliklerin, bölgenin şora ve faunası üzerinde meydana getireceği etkilerin belirlenmesi, endemik ve nesli tehlikeye düşmüş canlı türlerinin tespiti ve bunlar hakkında koruma tedbirlerinin alınması, yörenin biyolojik zenginliklerinin ve mevcut kültür formlarının tespiti için Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) Raporlarının hazırlanması ve barajların planlama, işletilme aşamasında çevreyle ilgili her türlü tedbirlerin alınması büyük önem taşımaktadır.

Barajların yapımı ile birlikte, baraj gölü ve göletler bölgesinde çok büyük bir su varlığı meydana gelmekte bu yeni şartlar yöre iklimini değiştirebilmektedir. Gerek su rezervleri ve sulama uygulamalarından kaynaklanan buharlaşma, gerekse büyük alanlar kaplayan bitki varlığından terleme yoluyla ortamda su buharı yayılımı sonucunda havanın nem oranında belli düzeyde artış meydana gelmekte, yaz-kış ve gece-gündüz arasında sıcaklık değerlerindeki farklılıklar azalmaktadır. Sulu tarıma geçilmesi ile tarımsal uygulamalarda drenaj sistemi, tuzlulaşma ve çoraklaşma sorunları ile kimyasal gübrelerden ve pestisitlerden kaynaklanan yüzey ve yer altı sularının kirlenmesi, yanlış toprak işlenmesine bağlı olarak su ve rüzgar



erozyonunun hızlandırılması gibi değişik tür sorunlar ortaya çıkabilmektedir. (Anonim,2000-c)

Barajların ekonomik kullanma ömürlerini uzatacak olan erozyon kontrolü için, göl havzalarının ve yörenin ağaçlandırılmasına, mera, otlak ve çayırların ıslah çalışmalarına, projenin yatırım aşamasında bir plan dahilinde mutlaka başlanması gereklidir. Ekonomik büyümenin, çevre ile uyumlu bir kalkınma modeli olmaksızın sürdürülemeyeceğinin kabul edildiğı günümüzde gerçek sorun, çevre korunması ile ekonomik kalkınma arasında bir tercih sorunu değil, dengeli ve sürdürülebilir kalkınma için çevrenin ekolojik açıdan duyarlı yönetiminin sağlanmasıdır. Dünyanın değişik coğrafi bölgelerinde bulunan 30 büyük baraj, çevresel etkileri bakımından incelenmiş olup, elde edilen araştırma sonuçları “The Social and Environmental Effects of large Dams” adı altında ve 1984 yılında yayımlanmıştır. (Anonim, 2000-c).

### 4.3 Güneş Enerjisi

Dünyada en görkemli ve canlılara yaşam veren enerji kaynağı güneştir. Diğer bir çok enerji kaynağının varlığı da güneşe bağlıdır. Rüzgar, deniz dalgası, okyanusta sıcaklık farkı ve biyokütle enerjileri, güneş enerjisinin değişim geçirmiş biçimleridir. Güneş enerjisi doğadaki su döngüsünün gerçekleşmesinde de rol oynayarak, akarsu gücünü oluşturmaktadır. Güneş enerjisi çevre açısından irdelendiğinde, temiz bir enerji kaynağı olduğundan fosil yakıtlara alternatif olabilecektir ( Ültanır, M. Ö., 1996)

Günümüzde ısıtma- soğutma ihtiyaçlarının karşılanmasında güneş enerjisini kullanmak hem maliyet bakımından diğer enerji kaynaklarına alternatif oluşturmakta hem de çevre kirlenmesine sebep olmamaktadır. Bir enerji kaynağı değerlendirilirken işletmecilik açısından birkaç tane temel faktör vardır ki göz ardı edilemez. Bunlar ekonomik oluşu, çevre sorunları yaratıp yaratmayacağı ve güvenlik sorunlarıdır. Güneş enerjisinde bu üç ana sorundan son ikisi yoktur. Güneş enerjisinin sadece maliyet sorunu vardır ve o diğerlerinden fazla pahalı değildir. Güneş enerjisi sistemlerinin maliyet ve verimliliklerinin, ülkenin coğrafi konumuna çok bağlı olduğu bir gerçektir. Bu açıdan bilimsel değerlendirmelerde maliyet fazla bile olsa, insanoğlunun bu temiz enerjiye yönelmesinin uygun olacağı şeklinde görüşler vardır. (Aygün, E., 1989)

Güneş enerjisinden çok farklı alanlarda faydalanmak mümkündür. Hatta 1980’li yılların sonlarında bir bisiklete monte edilen güneş enerjisi modülünden elektrik enerjisi elde edilerek pedal gücüne destek vermesi sağlanmıştır. Böylece hızını 45 km’ye kadar çıkarabilen bisiklet

hızlanmasına, güneş bulut arkasına girse de 3 saat kadar devam edebilecektir. (Yılmaz, A., 1990) Özellikle şehir şebekesinden uzak bölgelerde güneş enerjisinin önemi çok daha belirgin olmaktadır. Uzak kıyı şeritlerinde ve denizde gündüz yüklenen piller gece projektörlere akım sağlayabilmektedir. Otoyollar üzerinde, şehirden uzak tarlalarda sulama amaçlı tulumbayı çalıştırmada, çöllerde ve açık arazide bile televizyon seyretmeye olanak sağlamaktadır. (Korur, E., 1990) Ayrıca uzayda güneş enerjisinden faydalanma olanakları araştırılmaktadır. Bunun birinci ayağını uzayda güneş enerjisini toplayarak mikrodalga şeklinde dünyaya gönderme, diğer ayağını ise güneş enerjisinden uzayda faydalanabilme imkanı oluşturmaktadır. (Anonim, 1996)

Güneşin yaydığı ve dünyamıza da ulaşan enerji, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışın enerjisidir, güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden kaynaklanır. Dünya atmosferinin dışında güneş ışınımının şiddeti, aşağı yukarı sabit ve  $1370 \text{ W/m}^2$  değerindedir, ancak yeryüzünde  $0-1100 \text{ W/m}^2$  değerleri arasında değişim gösterir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, güneş enerjisi çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir. (Anonim, 2008-d)

Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti  $1311 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$  (günlük toplam  $3,6 \text{ kWh/m}^2$ ) olduğu tespit edilmiştir. Aylara göre Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri ise Çizelge 4.1'de verilmiştir.

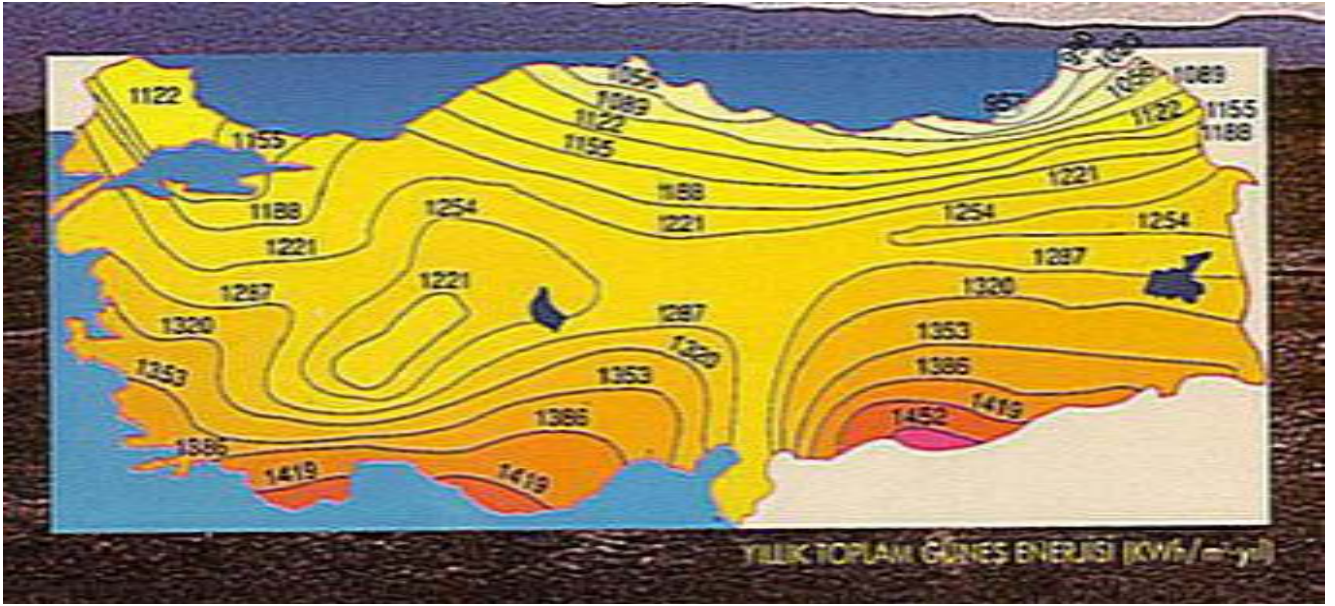
Çizelge 4.1 Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli(Anonim 2000-a)

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ		GÜNEŞLENME SÜRESİ
	(Kcal/cm <sup>2</sup> -ay)	(kWh/m <sup>2</sup> -ay)	(Saat/ay)
OCAK	4,45	51,75	103,0
ŞUBAT	5,44	63,27	115,0
MART	8,31	96,65	165,0

NİSAN	10,51	122,23	197,0
MAYIS	13,23	153,86	273,0
HAZİRAN	14,51	168,75	325,0
TEMMUZ	15,08	175,38	365,0
AĞUSTOS	13,62	158,40	343,0
EYLÜL	10,60	123,28	280,0
EKİM	7,73	89,90	214,0
KASIM	5,23	60,82	157,0
ARALIK	4,03	46,87	103,0
TOPLAM	112,74	1311	2640
ORTALAMA	308,0 cal/cm <sup>2</sup> -gün	3,6 kWh/m <sup>2</sup> -gün	7,2 saat/gün

Çizelge 4.2 Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı  
(Anonim 2000-a)

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



Şekil 4.1 Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyeli (Anonim 2000-a)

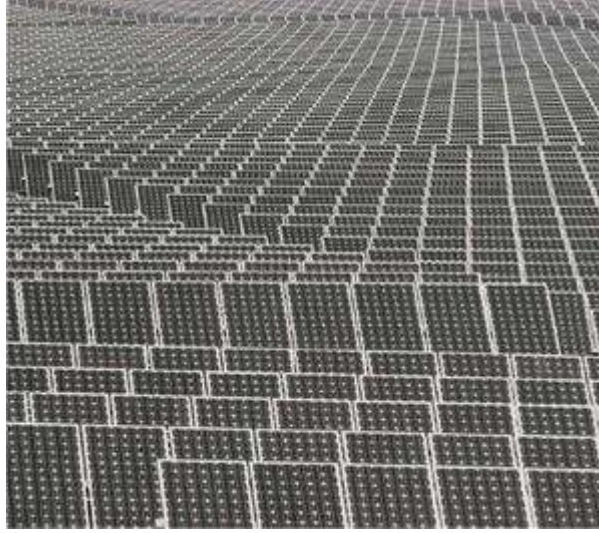
Aşağıdaki resimde görülen İspanya'da açılmış dünyanın en büyük ve maksimum 20 MW'lık bir enerji kapasitesine sahip fotovoltaik güneş enerjisi çiftliğini çevresel etkileri bakımından mercek altına tutduğumuzda aşağıdaki sonuçlara ulaşabiliriz.



Şekil 4.2 Fotovoltaik güneş enerjisi çiftliğini(Thomas J., 2008)

Yılda 300 gün boyunca güneşten maksimum şekilde faydalanabilecek bir alana inşa edilen güneş enerjisi sistemi 20.000 evin elektrik ihtiyacını karşılayabilecek kapasiteye sahip durumdadır. Bu alana yatırım yapan yatırımcıların yıllık 28 milyon dolar gelir elde etmesi ve havadaki CO2 emilim oranında yıllık 42000 tonluk bir azalma olması beklenmektedir. ( Thomas J., 2008)

Ancak bunun yanında zarar olarak 100 hektarlık bu alanda doğal ortamın bozulduğunu ve çevredeki canlıların yaşam alanlarının kısıtlandığını gözardı etmemek gerekir. Bu sistemin çevredeki ekosisteme ne derece zarar verdiği illerdeki yıllarda daha belirgin bir şekilde gözükcektir ancak CO<sub>2</sub> emilimindeki azalmaya katkısını gördüğümüzde faydasının zararından çok olacağı gözükmektedir.



- Şekil 4.3 Fotovoltaik güneş panelleri (Tsoutsos T., vd., 2005)

Güneş enerjisi diğer enerji kaynaklarıyla karşılaştırıldığında elbette birçok üstünlüğe sahiptir. Bunların başında hava emisyonları yokluğu, işletme sırasında atık ürün yokluğu, düşük sera gazları emisyonları(CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>). Zehirli gaz emisyonlarının olmaması, bozulmuş toprak iyileştirilmesi, elektrik şebekesi iletim hatlarının azalması, su kaynaklarının kalitesinin artırılması gelir. Ayrıca güneş enerjisini ileri derecede kullanabilen ülkeler diğer yenilenebilir enerjilerde olduğu gibi, enerji bağımsızlığı alanında her zaman bir adım önde olurlar. Enerji çeşitliliği sağlanmış olur. Yeni istihdam olanaklarına kavuşmuş olur. Bu enerjinin olumsuz yönlerinden en önemlisi verim düşüklüğü nedeniyle hektarlarla ifade edilen büyük alanlara ihtiyaç duyulmasıdır. Bunun yanında kaynağa yakınlık son derece önemlidir. Birde bölgelerin güneş alma kapasitesine göre kullanım olanağı değişir. (Tsoutsos T., vd., 2005)

Güneş enerjisi sistemlerinden kaynaklanan çevresel etkileri toparlayacak olursak:

Alan kullanımı açısından; düşük ve orta sıcaklıklı sistemlerde örneğin evsel sıcak su ve ısınma ihtiyacı için alan kullanımı pek problem olmamaktadır. Genellikle çatı üzerine sistem inşa edildiğinden yer problemi kendiliğinden halledilmektedir. Ancak büyük sıcaklıklarda işletme ısısını sağlayacak toplayıcılar için ihtiyaç duyulan alan önemli bir yer tutmaktadır. Dolayısıyla bu gibi durumlarda bölgedeki ekosistem olumsuz etkilenmekte, habitat kaybı

olabilmektedir. Yer seçiminde önemli ekolojik alanlardan kaçınmak gerekmektedir. (Tsoutsos T., vd., 2005)

Sürekli atık ve kazasal risk açısından; Güneş enerjisi sistemleri ortalama 3 yılda bir değişmesi gereken soğutma sıvısı içerirler. Bu sıvılar sistemin zarar görmesini önleyen antipas, donmasını önleyen antifriz gibi zehirli maddeler içerirler. Isı taşıyıcı sıvılar aynı zamanda nitriler, nitratlar, sülfidler, sülfatlar, kromatlar içerir. Sıcaklık arttıkça yağlar, aromatik alkoller, CFC'ler gibi daha kompleks katkıları içerir. Büyük ölçekli sistemlerde boşaltım ve yenileme sırasında kontrol iyi yapılmalıdır. (Tsoutsos T., vd., 2005)

Kazasal risk olarak ısı taşıyıcı sıvı kaçağı gösterilebilir. Bu durumda su kirliliği olabilir. Soğutma suyu kaybı olduğunda aşırı ısınma gerçekleşebilir. Böylece yangın riski açığa çıkar. Aynı zamanda panel malzemesinden gaz çıkışından kaynaklanan ek problemler ve ısı taşıyıcı akışkanın gaz halinde yayılması ve takip eden olaylar sonucu yangın riski gibi faktörler söz konusudur.

Güneş enerjisi sistemlerini hidroelektrik santrallerle karşılaştırdığımızda yinede yer işgali bakımından geride kaldığı gözükülecektir. Hidroelektrik santrallerde MW başına ihtiyaç duyulan alan 1 km<sup>2</sup> iken güneş enerjisi sistemlerinde bu alan her halde 0,025 km<sup>2</sup>'nin altında olup, 0,009 km<sup>2</sup> mertebesine kadar inebilmektedir. (Ültanır, M.Ö., 1996)

Görsel olarak; ülkemizde yaygın olarak kullanılan çatı üzerine inşa edilen sistemler görüntü kirliliği oluşturmaktadır. Ancak zaman ilerledikçe mimarlar güneş enerjisi sistemlerini bina malzemesi içine kattılar ve güzel görsellik oluşturmayı başardılar. Böylece güneş sisteminin parçaları çekici ve görsel birer malzeme olarak binalarda kullanılabilir hale geldi. Giderek yaygınlaşan bu sistemler ülkemizde de yaygın olarak kullanılabilir hale getirilmelidir.

Gürültü kirliliği açısından; ilk inşa aşamasında doğal olarak gürültü kirliliği olsa da kullanım sırasında hiçbir kirlilik belirtisi göstermezler.

Fotovoltaikler kullanımları esnasında kimyasal kirlilik oluşturmazlar ve sessiz sistemlerdir. Özellikle şehirlerde kullanım için oldukça uygundur. Halka açık park ve bahçelerde kullanımları giderek yaygınlaşmaktadır.

Dünyanın global olarak halen pek fazla kullanmadığı, ancak geleceğin en fazla kullanılacak enerji kaynağı olmaktadır. Güneş enerjisinden elektrik üretimi doğrudan dönüşüm ve dolaylı dönüşüm olmak üzere iki ayrı yöntemle gerçekleştirilir. Bazı ülkelerde kullanımı her geçen yıl artmaktadır. Ancak yeterli değildir. Güneş enerjisi teknolojisindeki

ilerlemeler ümit vermektedir. Çevresel etkileri yok denecek kadar az olan bu enerjiden mümkün olduğunca faydalanılmalı ve güç kapasitesinin artırılması için azami yararlanma politikalarını geliştirmeli, bu konuda gerekli araştırma ve yatırımlar yapılmalıdır.

Çizelge 4.3 Güneş enerjisinin avantajları ve dezavantajları

AVANTAJLAR	DEZAVANTAJLAR
Doğrudan güneş enerjisini kullanır.	
Doğal ısıtma ve soğutma sistemleri kullanarak binaların gereksiz ve aşırı ticari enerji tüketimlerini önler,	
Çevre değerlerini korur, Çevreye verilen zararları en aza indirir,	Kazasal risk olarak ısı taşıyıcı sıvı kaçağı gösterilebilir. Bu durumda su kirliliği olabilir.
Doğal ve sağlığa zararsız malzemeler kullanır.	Güneş enerjisi sistemleri ortalama 3 yılda bir değişmesi gereken soğutma sıvısı içerirler. Bu sıvılar sistemin zarar görmesini önleyen antipas, donmasını önleyen antifriz gibi zehirli maddeler içerirler. Isı taşıyıcı sıvılar aynı zamanda nitriler, nitratlar, sülfidler, sülfatlar, kromatlar içerir. Sıcaklık arttıkça yağlar, aromatik alkoller, CFC'ler gibi daha kompleks katkıları içerir. Büyük ölçekli sistemlerde boşaltım ve yenileme sırasında kontrol iyi yapılmalıdır.
Günden güne daha ekonomik hale gelmektedir.	Yörenin güneş alma kapasitesine bağlıdır. Her yerde ekonomik olmayabilir.
Dışa bağımlı değildir.	

#### 4.4 Rüzgar Enerjisi

Çok eskiden beri bilinmesine rağmen halen çok az kullanılmaktadır. Son yıllarda özellikle

Kaliforniya ve İskandinavya’da yerel elektriğin rüzgar türbinleri ile üretilmesi uygulamaları yaygınlaşmıştır. Ülkemizde ağırlıklı olarak Ege ve Marmara olmak üzere çeşitli bölgelerde yer alan 7 ölçüm istasyonu tamamlanmış ve halen 14 ölçüm istasyonda ölçüm çalışmaları sürdürülmektedir. Yapılan uzay çalışmaları ile saptanan meteorolojik çalışmalar neticesinde ülkemizin rüzgar enerjisi bakımından zengin olduğu belirlenmiştir. 1999 yılında toplam 23.7 milyon kilowatt-saat elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu enerjinin de 21. yüzyılda elektrik üretim sistemleri ile rekabet edebileceği öngörülmektedir. (Anonim, 2000-b).Ve bunun doğru olduğunu günümüzde görmekteyiz. Bu enerji üretiminde en çok gürültüden şikayet edilmektedir.

Çizelge 4.4 Rüzgar enerjisinin avantajları ve dezavantajları

AVANTAJLAR	DEZAVANTAJLAR
Kararlı, güvenilir, sürekli bir kaynaktır.	Türbin için Geniş alanlar isteyebilirler Tek bir türbin için 700-1000 m <sup>2</sup> /MW. Rüzgar tarlalarının birim güç başına toplam gereksinimi ise 150-200 katı kadardır. Türbinlerin kapladığı alan bunun %1-1.2 kadar olduğundan bu alanlar yinede tarım amaçlı kullanılabilir.
	Görsel ve estetik olarak olumsuzdur. Gürültülüdürler ve kuş ölümlerine neden olur,radyo ve TV alıcılarında parazitlenme yaparlar Bu nedenle İngiltere başta olmak üzere bir çok Avrupa ülkesinde büyük rüzgar türbinlerinin yarattığı çevre sorunları nedeniyle milli park alanlarının sınırları içine ve çok yakınlarına kurulması yasaklanmıştır.
	Denizlerde kurulan “offshore” rüzgar türbinleri kıyı balıkçılığına zarar verebilir.
Dışa bağımlı değildir.	



Gelişen teknoloji ile birlikte enerji birim maliyetleri düşmektedir.	
--	--

Rüzgar enerjisinin temiz bir enerji kaynağı olduğu herkesçe malumdur. Ancak yinede çevreye karşı olumsuz etkileri incelendiğinde bazı olumsuzluklar göze çarpmaktadır. Bunları inceleyecek olursak görürüz ki rüzgar enerjisinin çevreye karşı etkisi, bu enerji kullanılmaya başlandıkça açığa çıkmaktadır.

Başta rüzgar türbinlerinin görsel ve estetik etkisi bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Uzak bölgelerden bile dikkat çekmektedir. Hoş olmayan bir görüntü oluşmaktadır. Bunun yanında yakın çevreyi rahatsız eden aşırı gürültüye neden olur. Kuş ölümlerine neden olduğu bilinmektedir. Haberleşme de parazitlere neden olur. 3 km çaplı alan içerisinde radyo ve TV alıcılarını karıştırdığı bu gün bilinen bir hal almıştır. (Ültanır, M.Ö., 1996)

Rüzgar çiftliklerinin yerleşim yeri dışına kurulmaları gerekmektedir. Bir yerleşim bölgesiyle Rüzgar çiftliği arasındaki mesafe en az 400 m olmalıdır. Bu koşuldan sonra taban gürültüye 5 dB kadar gürültü eklenmektedir. Bir rüzgar çiftliğindeki gürültü 85 dB'e kadar olabilmektedir. Türbinden 400 m sonra 37 dB'lik gürültü uygun görülmektedir. Ancak, bu uzaklıkta 56 dB'lik bir gürültü olduğu kaydedilmiştir. Toplum sağlığı açısından rüzgar enerjisi 0,2-0,6 PDL3/MW. yıl parametresi ile değerlendirilir. PDL, çevrede yaşayanlar için kayıp gün sayısıdır. Hastalık tipi kazalar ise WDL parametresi ile ölçülmekte olup, WDL işgücü kaybını göstermektedir. Rüzgar enerjisi için 0,4-10 WDL/MW. yıl kadardır. Ayrıca istatistiklere göre yılda 1000 MW başına 3 kaza olabilmektedir. (Ültanır, M.Ö., 1996)

Bu olumsuz etkilerin yanında rüzgar enerjisinin olumlu yanlarını görmemek haksızlık olur. Günümüzde çevre açısından en büyük sorunların başında hava kirliliği gelmektedir. Rüzgar enerjisi kullanılarak karbon ve azot oksitlerin çevreye salınımı engellenmiş olur. Örneğin ABD'de 370 MW'lık bir rüzgar çiftliği, yılda 461 400 ton karbon dioksit ve 423 ton azot oksit yayılımını engellemektedir.

#### 4.5 Jeotermal Enerji

Doğal yer altı ısı kaynaklarından gelen enerjinin kullanımı hızla artmaktadır. Sıcaklığın uygun olduğu şartlarda jeotermal enerjiden elektrik üretilmektedir. Bugün için dünyada toplam elektrik kurulu gücü 8274 MW'e, ülkemizde ise 20.4 MW'e'dir.(Denizli-Kızıldere Jeotermal Elektrik Santrali) Ülkemizdeki jeotermal sahalardan 5 tanesi elektrik üretimine elverişlidir. Mevcut şartlara göre ülkemizde, 2010 yılı hedefi 500 MW ve 2020 yılı hedefi 1000 MW

olarak öngörülmektedir. Ülkemizde uygun bir jeotermal kanunu çıkarılmalı jeotermal alanlar devlet tarafından araştırılmalı, MTA bu konuda desteklenmelidir. Rezervuar parametrelerinin korunması ve çevreye jeotermal akışkanın atılmaması için reenjeksiyon mutlaka yapılmalıdır.

Jeotermal enerji sistemlerinin dönüşüm verimlilikleri düşük olduğundan, çevreye büyük ölçüde atık ısı bırakılır. Atık ısı büyük bir alana yayılır, bulut oluşumlarını etkiler ve yerel iklimde değişiklikler yapabilir. Ayrıca atık suların çevredeki akarsulara karışması yerel ekolojiyi etkileyebilir. Jeotermal enerji elde etmek için kullanılan kuyular çevreye gürültü yayarlar. Kuyularda çalışırken gürültü 120 dB'i aşabilir. Bu gürültü atmosferik seperatörlerle 85 dB'e kadar düşürülebilir. Ayrıca soğutma suyu tüketiminin yer altı su akışı üzerindeki potansiyel etkisi yanında büyük hacimlerdeki suyun buharlaşması yerel iklimi etkiler. (Serpen Ü., 1996) Jeotermal enerjinin kimyasal etkileri de gözardı edilmemelidir. Bu kimyasalların kontrolsüz olarak çevreye bırakılması çeşitli çevresel etkilere yol açabilir. Bitkilere zarar verip yerel ekolojiyi olumsuz etkileyebilir.

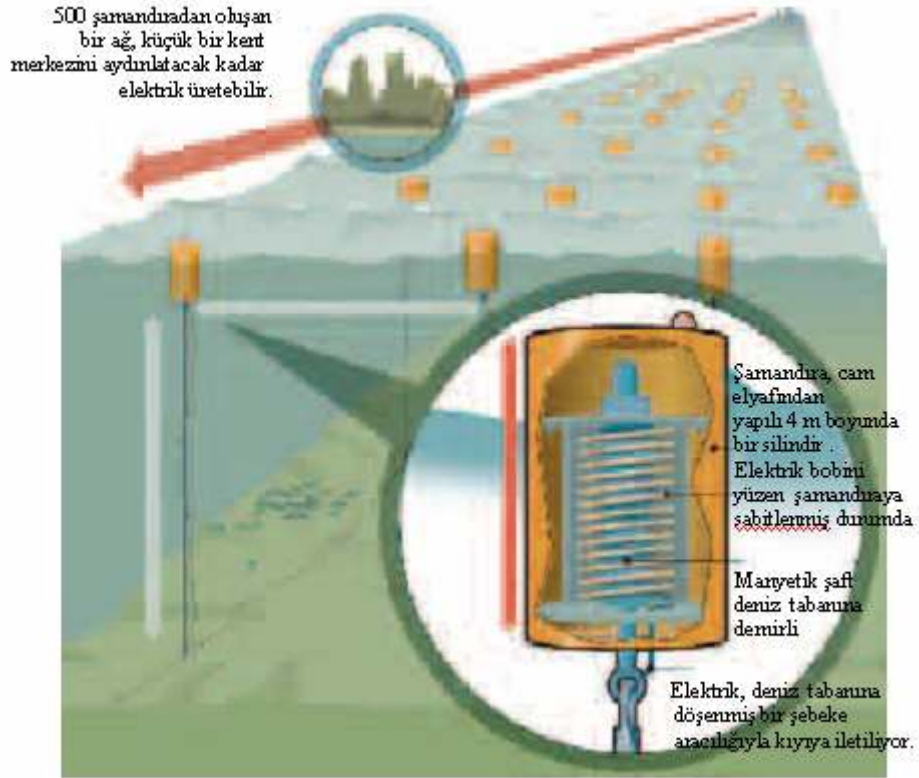
#### **4.6 Biyokütle Enerjisi**

İlk çağlardan günümüze değin odun ve bitki artıkları enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. 1997 yılı verilerine göre yerli enerji üretiminin % 25.5'i odun ve tezekten sağlanmış, toplam birincil enerji tüketiminin ise % 9.8'i odun ve tezek ile karşılanmıştır. Türkiye'nin biyogaz potansiyelinin 1400-2000 Btep/yıl düzeyinde olduğu belirtilmektedir. Ülkemizde biyogaz ile ilgili çalışmalar 1957 yılında başlanılmış ancak 1987 yılında kesilmiştir. Çalışmalar günümüzde yeniden başlamış ve çöp termik santrallerin kurulması girişimleri hız kazanmıştır.

Bilindiği gibi en eski biyokütle enerji kaynağı odundur. Odunu enerji kaynağı olarak kullanmanın en yaygın biçimi yakmadır. Odunun tam yanması sonucunda, ısının yanı sıra, yanma ürünü olarak karbon dioksit ve su açığa çıkmaktadır. Kesilen ağaçların yerine yenisi dikilmediğinde hem atmosferde karbon dioksit birikimini artıracığından hem de doğal yaşamı olumsuz etkileyeceğinden çevre sorunlarının artmasına katkıda bulunacaktır. (Özer Z., 1996)

#### **4.7 Deniz Enerjisi**

Deniz enerjileri deniz dalga, boğaz akıntıları, med-cezir ve deniz sıcaklık gradyenti gibi çeşitlidir. Türkiye'de bunlardan sadece deniz dalga ve boğaz akıntıları olanakları vardır. Bu alanda yapılan çalışmaları incelediğimizde özellikle dalga enerjisi alanında yapılan çalışmalar dikkat çekmektedir. Bu konuda son gelişmelerden bir tanesi aşağıda açıklandığı gibidir.



Şekil 4.4 Dalga enerjisinin çalışma prensibi (Bilim ve Teknik Dergisi, Aralık 2005)

Sabit mıknatıs doğrusal jeneratör şamandırası, deniz yüzeyinden yaklaşık 30 metre aşağıya bağlanmış 4 metre uzunluğundaki bir mil üzerine yerleştirilmiş güçlü mıknatıslar dizisinden oluşan bir sistem. Mili çevreleyen bakır bobin, dalgalarla birlikte yukarı ve aşağı doğru hareket eden polyester bir şamandıra içinde duruyor. Hareketli bobin, milin manyetik alanı içinde gidip gelerek bir elektrik akımı oluşturuyor. 100 kilowatt gücündeki jeneratör şamandırası Oregon Eyalet Üniversitesi Elektrik Mühendisliği ve Bilgisayar Bilimi Okulu'ndan Annette von Jouanne ve Alan Wallace isimli profesörlerce tasarlandı. Su gücüyle ya da hava basıncıyla çalışan pompalara dayalı eski düzeneklerin tersine bu şamandıra, %90 düzeyinde verimlilik oranına erişebiliyor. Şamandıraların genel elektrik şebekesine bağlanarak 5 yıl içinde evlere ve iş yerlerine güç sağlayabileceği düşünülüyor. Dalga enerjisinin rüzgar gibi diğer yenilenebilir enerji türlerine göre sahip olduğu belirgin üstünlükler var. Dalgaları önceden tahmin etmek rüzgara göre çok daha kolay. Üstelik rüzgardan 50 kat daha fazla enerji yoğunluğuna sahipler. Bir şamandıra ağından gelen düzensiz alternatif akım (Alternatif Current –AC) voltajı, elektrik tellerinin birleştiği bir bağlantı kutusuna bağlanıp doğru akıma (Direct Current –DC) dönüştürülerek yaklaşık 12.000 volta yükseltilebilir ve daha sonra kıyıya gönderilerek bir güç istasyonunda yeniden AC'ye dönüştürülebilir. Von Jouanne bu yöntem uygulanarak yaklaşık 500 şamandıradan oluşan bir

jeneratör ağının, ortalama bir şehrin güç gereksinimini karşılayabileceğini öngörüyor. Deneme amaçlı ilk şamandıranın çapı yaklaşık 5 metreyse de, aynı işleyiş mantığını daha küçük sistemlere uygulamak da mümkün. Örneğin bu tür küçük bir sistemi bir teknenin demir halatına bağlayarak teknenin elektronik sistemlerine güç sağlanabilir. Ancak, tek bir şamandıra ve 500 şamandıra arasında çok büyük fark var. Kıyısız şamandıra çiftlikleri kurmak için resmi makamlardan izin almak gerekebilir. Zaten Von Jouanne sahilleri dalga enerjisini kullanmak için tatlı yerler olarak düşünüyorsa da, şamandıraların balina göçleri ve yerel balıkçıların geçimi gibi denizdeki yaşamla ilgili konuları etkileyebileceğini de kabul ediyor. (Anonim, 2005-c)

Üç tarafı denizlerle çevrili Türkiye’de deniz dalga konvektörleri ile bu enerjiden faydalanılması düşünülmelidir. Bu kaynağın değerlendirilmesi için dalga rasatlarına başlanılarak, teknik ve ekonomik incelemeler yapılmalıdır.

#### **4.8 Hidrojen Enerjisi**

Aslında tam olarak yenilenebilir bir enerji kaynağı olamayan hidrojen, bir başka enerji tüketilerek elde edilen sentetik yakıt durumundaki enerji taşıyıcısıdır. 21. Yüzyılın enerjisi olarak varsayılmaktadır. Giderek ağırlaşan çevre sorunu ve küresel ısınma, tükenen hidrokarbon kaynakları hidrojen gibi sentetik yakıtları cazip duruma getirmektedir. Hidrojen motor yakıtı olarak kullanılabilirdiği gibi, sanayide, elektrik üretiminde, konutlarda güvenle kullanılabilir durumdadır. Uygulamaya aktarılacak üretim, taşıma, dağıtım, kullanım teknolojileri geliştirilmiş, uluslararası standartlar çıkarılmıştır. Hidrojen çağına ekonomik koşullara göre 10-15 yılda girilmesi beklenmektedir.

Türkiye’nin hidrojen üretimi açısından bir şansı, uzun bir kıyı şeridi olan Karadeniz’in tabanında kimyasal biçimde depolanmış hidrojen bulunmasıdır. Karadeniz’in suyunun % 90’ı anaerobiktir ve hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S) içermektedir. 1000 m derinlikte 8 ml/l olan H<sub>2</sub>S konsantrasyonu, tabanda 13.5 ml/l düzeyine ulaşmaktadır. Elektroliz reaktörü ve oksidasyon reaktörü gibi iki reaktör kullanılarak, H<sub>2</sub>S’den hidrojen üretimi konusunda çalışmalar sürdürülmelidir.

Bitkiler, su, kömür veya doğalgaz gibi kaynaklardan elde edilen hidrojen, enerji kaynağından çok bir enerji taşıyıcısı olarak düşünülmektedir. Hidrojen kolayca ve güvenli olarak her yere taşınabilen, taşınması sırasında az enerji kaybı olan, sanayide, evlerde ve taşıtlarda kullanılabilen bir yakıttır. Bu kullanımlarda hidrojen başlıca sıkıştırılmış gaz, karyojenik sıvı,

metal hidrit ve karbon adsorpsiyon gibi tekniklerle depolanabilmektedir. Hidrojen enerjisi alanında çeşitli ülkelerin işbirliği sonucu hidrojenin üretim, dağıtım ve kullanım teknikleri üzerinde yoğunlaşmış ve uluslararası programlar başlatılmıştır. Güvenlik sıralamasında propan ve metanın arasında olan hidrojenin güvenlik karakteri diğer yakıtlardan oldukça farklıdır. Ayrıca hidrojen diğer yakıtlara göre pahalıdır ancak hidrojen çağına adım atılmakla maliyetin hızla düşeceği beklenmektedir. Hidrojen kullanımı sonucunda sadece su olduğundan hidrojen (özellikle solar hidrojen) kullanımı ile çevresel ve iklimsel kalite iyileşecektir. Ancak bu iyileşmelerin olabilmesi için hidrojen kullanımına bir an önce geçilmesi gerekmektedir. Geçiş ne kadar erken olursa uzun dönemde ekonomi ve çevre açısından o kadar yararlı olacaktır. (Karamolla M., Doğan H., 2006)

## 5. RÜZGARIN OLUŞUMU

Genel bir ifadeyle söyleyecek olursak rüzgar atmosferde bulunan havanın hareketidir. Güneş ışınları yeryüzünü oluşturan kara ve su parçaları üzerine düşer ve onları ısıtır. Kara parçaları üzerindeki hava su üzerindeki havadan daha çabuk ısınır. Kara üzerinde ısınan hava yükselmeye başlar ve su üzerindeki soğuk hava karaya doğru hareket ederek yükselen havanın yerini alır. Bu olayın sonucunda ise rüzgar oluşur. (Anonim, 2006-a).Havanın ısınması, ısınan kütlelenin genişlemesine, dolayısı ile harekete geçerek yükselmesine neden olur. Ancak yükselen hava kütlesi atmosferin dışına çıkamayacağından, önce dikey sonra yatay yönde hareket eder. İşte bu noktada havanın ısınıp kütleli olarak yer değiştirmesi, basınçın oluşmasına neden olur. Ancak atmosferin yaptığı basınç dünyanın her yerinde aynı değildir, çünkü yerçekimine, sıcaklığa ve bulunulan yerin yüksekliğine bağlı olarak değişir. Bu şekilde yüksek ve alçak basınç merkezleri oluşur. Atmosferdeki yüksek basınç alanları tepelere, alçak basınç alanları ise çukurlara benzetilebilir. Hava akıcı olduğundan, çekimin etkisi altında yüksek basınç alanlarından alçak basınç alanlarına doğru, sanki yamaçlardan akan su gibi hareket eder ve rüzgarları meydana getirir.

Karalar ve denizler arasındaki ısınma ve basınç farkından doğan kısa süreli rüzgarlardan olan ve sıcak mevsimde görülen meltemler sıcaklığa etki eden rüzgarlardandır. Hava sıcaklığının yüksek olduğu öğle saatlerinde, kara çok fazla ısındığı için basınç alçalır. Bu şekilde yüksek basınç merkezi olan denizden alçak basınç merkezi olan karaya doğru esen rüzgar havayı serinletir. Geceleri ise hava zaten serin olduğundan daha fazla serinlemesine gerek yoktur. Bu nedenle mekanizma tersine dönerek işler. Ülkemizin Ege kıyılarında yer alan İzmir’de yaz aylarında esen imbat, bu rüzgara tipik bir örnektir. Bazı rüzgarlar ise geldikleri yere göre daha sıcaktır. Bu gruptakilerin en tanınmış olanı Fön adı verilen rüzgarlardır. Söz konusu rüzgarlar yükselen hava kütlelerinin bir dağı aşarak öteki yamaçta alçalması ile oluşurlar. Bu alçalma hareketi sırasında her 100 m.'de 1oC kadar ısınır. Diğer yamaca sıcak ve kuru olarak inen bu rüzgarlar ilginçtir ki İsviçre Alplerinin kuzey yamaçları ve ülkemizin Doğu Karadeniz ve Toros dağlarının denize bakan kesimlerinde ve benzer koşullara sahip dağlık alanlarda, başka bir deyişle dünyanın serin kısımlarında eser ve buradaki sert, soğuk iklim koşullarını yumuşatır. (Yahya, H., 2005)

Rüzgarın nasıl oluştuğunu ve tanımını değişik kaynaklardan aşağıdaki gibi açıklayabiliriz.

Gerekli enerjisini güneşten alan bir ısı makinesi olarak nitelenebilecek olan atmosferde; ısı potansiyel farklara sahip olan hava kütleleri, daha soğuk ve yüksek basınç alanı olan bir

noktadan, daha sıcak ve alçak basınç alanına hareket ederler. Isı enerjisinin kinetik enerjiye dönüştüğü bu doğa olayındaki hava kütlesi hareketine, rüzgar adı verilir (Özdamar, A.,2000). Bir başka ifadeyle, rüzgarlar, yer yüzündeki farklı güneş ısı dağılımının neden olduğu basınç ve sıcaklık farklarının dengelenmesi ile oluşan hava akımlarıdır. Dünyanın bir kısmında hava, kara ve deniz ısınırken, diğer yüzeyinde soğuma görülür. Dünyanın günlük dönüş hareketiyle bu ısınma ve soğuma periyodik şekilde devam eder. Dünyanın güneşe bağlı ekseninin eğiminin mevsimlere göre değişimi, ısı enerjisinin günlük dağılımının mevsimden mevsime farklılık göstermesine neden olmaktadır (Sadhy, D., 1995; Avşar, H., vd., 2001).

Atmosferin toplam enerjisi, kinetik ve potansiyel enerji olarak ikiye bölünmüştür ve temel olarak basınç kuvvetlerinin etkisiyle potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüşümünün bir sonucudur. Ekvator civarında yerle temas halinde bulunan sıcak ve nemli hava konveksiyonla yükselir, yükseldikçe soğur, belli bir seviyeye yükseldikten sonra daha soğuk olan kuzey enlemlere yükselir ve 30° Kuzey enlemlerine yaklaşınca tekrar yeryüzüne doğru alçalır. Burada nispeten daha soğuk ve kuru olan hava ekvatora doğru yönelir. Buna ‘Hadley Sirkülasyonu’ adı verilir. Dünyanın dönüşüyle meydana gelen ‘Coriolis Kuvveti’ nedeniyle havanın hareketi, hareket yönünün sağına doru saptırıldığından 0°-30° enlemleri arasında yer yüzeyinde oluşan rüzgarlar temel olarak Kuzey–Doğu karakterli olurlar. Benzer yapıda ancak bu kez dalgalar şeklinde bir karakteristik arz eden ve ‘Rossby Sirkülasyonu’ diye adlandırdığımız bir sirkülasyonda 30°- 90° enlemleri arasında gerçekleşir. Bu sirkülasyon sonucunda, 30°-60° enlemleri arasında Güney- Batılı ve 60°-90° enlemleri arasında ise Kuzey-Doğulu rüzgarlar oluşur. Çizelge 5.1’de Kuzey ve güney yarım küre için atmosferik güney sirkülasyonuna göre rüzgar yönleri sunulmaktadır. (Türksoy, F., 2001)

Çizelge 5.1 Enlemlere göre genel hakim rüzgar yönleri (Türksoy, F., 2001)

ENLEM	90-60° K	60-30° K	30-0° K	0-30° G	30-60° G	60-90° G
YÖN	KD	GB	KD	GD	KB	GD

Rüzgarlar, sürekliliklerine göre bütün bir yıl boyunca esen sürekli rüzgarlar ve belli zamanlarda esen harikeyn, tayfun, tornado ve girdaplar gibi süresiz rüzgarlar olarak iki grupta incelenebildikleri gibi, rüzgar hızı, yönü ve hamlesinin aletlerle ölçülemediği durumlarda kestirilerek de incelenebilir (Çizelge 5.2). Şöyle ki; rüzgar hızı 0,3-1,5 m/s iken dumanın hafif esintiyile yükseldiği ve rüzgar yönünün belirsiz olduğu, rüzgar hızının 1,6 ile 3,3 m/s olduğu durumlarda yaprakların kıpırdadığı esintinin insan yüzünde hissedildiği,

yaprakların ve ince dalların hareket ettiğinin 3,4-5,4 m/s rüzgar hızlarında olduğu gözlemlenebilir. Bunun yanında, 5,5-7,9 m/s orta rüzgar hızı denilen esintilerde ince dal hareketleri, kağıt ve tozların yükseldiği, 8-10,7 m/ s hızlarda ağaçların sallandığı,10,8-13,8 m/s hızlarda açık iletkenlerin sallandığı, şemsiye kontrolünün zorlaştığı, 13,9-17,1 m/s’de yürümenin zorlaştığı, 17,2 –20,7 m/s hızlarda ağaçlarda ince dalların kırıldığı, yürümenin zorlaştığı, 20,8-24,4 m/s’de çatı kiremitlerinin uçtuğu hafif bina hasarlarının oluştuğu, 24,5-28,4 m/s’de büyük ağaçların söküldüğü, 28,5-32,6 m/s’de geniş ölçekli hasarların oluştuğu, 32,7 m/s den büyük hızlarda da aşırı derecede hasarların meydana geldiği gözlenir (Karadeli, S.,1999).

Bunların dışında Alizeler; her mevsim kuzey ve güney yarım kürede 300 enlem üzerinde bulunan yüksek basınç kuşağından ekvator üzerindeki alçak basınç kuşağına doğru eserler. Kontralize rüzgarları ise, atmosferin yüksekliklerinde ‘Alize’ rüzgarlarının ters yönünde eserler ve oluşmalarının nedeni; ekvatorda ısınan hava kütlelerinin yükselmesi ve ekvatordan uzaklaşacak şekilde hareket etmeleridir. Meltem rüzgarları; karaların denizlerden ve dağların vadilerden daha çabuk ısınıp soğuması sonucu, üzerlerinde bulunan hava kütlelerini etkilemesi nedeni ile oluşurlar. Gündüzleri; denizlerden, çabuk ısınan karalara doğru deniz meltemleri, geceleri de; çabuk soğuyan karalardan, denizlere doğru kara meltemleri eser. Deniz ve kara meltemleri, sahilden 40 km içlere kadar etkili olurlar. Aynı şekilde, gündüzleri; vadilerden çabuk ısınan dağlara doğru vadi meltemleri, geceleri de; çabuk soğuyan dağlardan vadilere doğru dağ meltemleri eserler. Hareket halindeki bir hava kütesinin; yüksekçe bir dağa çarparak her 100 m’de 0,5 0C soğuyarak yükselmesi, daha sonra da dağın diğer yamacına her 100 m’de 1 0C ısınarak inmesi hareketine “Föhn” rüzgarları adı verilir. ( Özgener, Ö., 2002)

Çizelge 5.2 Genel olarak rüzgarların sınıflandırılması (Özdamar, A.,2000).

Sürekli Rüzgarlar					Süreksiz Rüzgarlar		
Alize R.	Kontr- Alize R.	Muson R.	Meltem R.		Föhn R.	Siklon R.	Antisiklon R.
			Kara ve Deniz M.	Dağ ve Vadi M.			

### 5.1 Türkiye’de Rüzgar Oluşumu

Anadolu; kışın, Sibiryaya yüksek basıncının etkisinde bir yüksek basınç alanı, Karadeniz ve Akdeniz ise bir alçak basınç alanıdır. Bu nedenle; kışın, rüzgarların karalardan denizlere doğru esmesi beklenir. Yazın ise Anadolu, güneyden gelen tropikal hava kütlelerinin



etkisindedir ve Kuzeybatı Avrupa üzerinde yerleşen yüksek basınç alanından Basra alçak basınç alanına yönelmiş rüzgarların etkisinde kalır. Nitekim, yazın; eteziyen adı verilen kuzey batıdan esen rüzgarlar, Marmara ve Ege'yi etkilerler. Türkiye'deki rüzgarların, bu genel beklentiye tam olarak uymadığı görülmektedir. Bunun nedeni; meltem ve föhn rüzgarlarını da oluşturan yerel etmenler ve Sibiryaya yüksek basınç alanının yıllara göre zayıf veya güçlü olmasıdır (Özdamar, A.,2000).

### 5.1.1 Rüzgar Oluşumundaki Kuvvet Faktörleri

Havanın dünya yüzeyi üzerinde hareket edebilmesi için, ona bir takım kuvvetlerin uygulanmasına gerek vardır. Rüzgarı meydana getiren ve rüzgarın hızına etki eden atmosfer içindeki belli başlı kuvvetler şunlardır:

Basınç gradyan kuvveti, Coriolis kuvveti, Merkezkaç kuvveti, Sürtünme kuvveti. Basınç gradyan kuvveti, havayı yüksek basınçtan alçak basınca doğru akıtmaya çalışacak şekilde etki eder. Coriolis kuvvetine, yer dönmesinin saptırıcı kuvveti de denir. Rüzgarlar, genel olarak bir merkez etrafında dolanırlar. Bu hareketin neticesi olarak da, kendilerini dolanım merkezlerinden uzaklaştırmak isteyen bir kuvvet etkisi altında bulunurlar. Bu kuvvete, merkezkaç kuvveti denilmektedir. Merkezkaç kuvvetinin birim kütleye etki eden ivmesi,

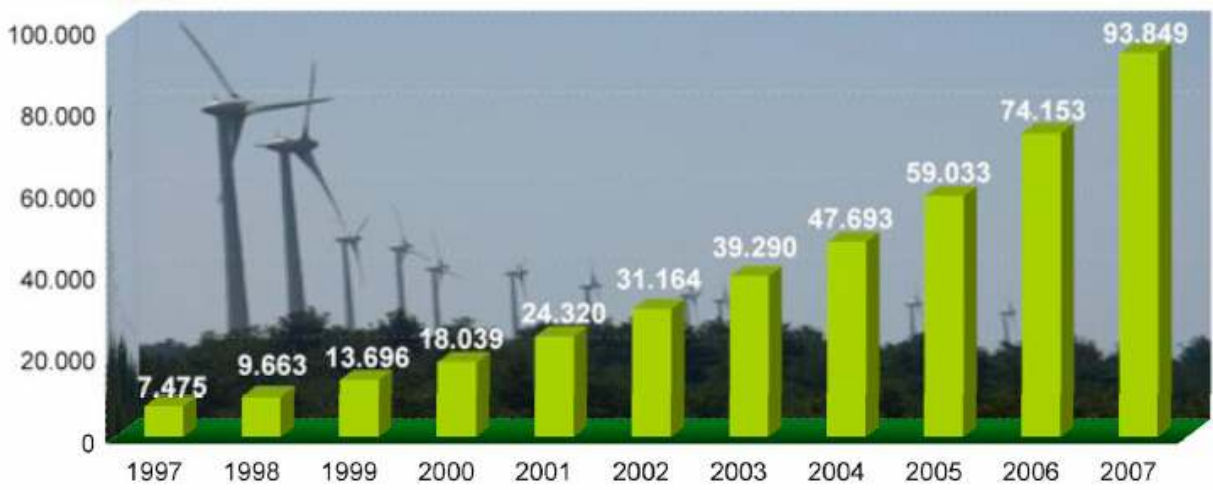
$$a = V_r^2 / r \quad (5.1)$$

bağıntısıyla verilir. Bu bağıntıda,  $V_r$  Rüzgarın hızı (m/s),  $r$  Rüzgarın dolanım yarıçapıdır (m). Rüzgarın meydana getirilmesinde etkili olmayan sürtünme kuvveti, rüzgar hızını yavaşlatmaya çalışır. Bu kuvvet, yer yakınında en büyüktür ve türbülanslar tarafından yukarıya taşınır. Rüzgarın sürtünmesinden doğan bu kuvvet, yer üstünde 450-600 m' yüksekliğe kadar rüzgarı yavaşlatmaktadır. Sürtünme katsayısını  $K$  gösterirse,  $V_r$  hızıyla esmekte olan rüzgara tesir eden sürtünme kuvveti değeri iki parametrenin çarpımına eşittir. (Yavuzcan, G., 1961)

## 6. RÜZGAR ENERJİSİNİN DÜNYADAKİ VE TÜRKİYE'DEKİ DURUMU

### 6.1 Rüzgar Enerjisinin Dünyadaki Durumu

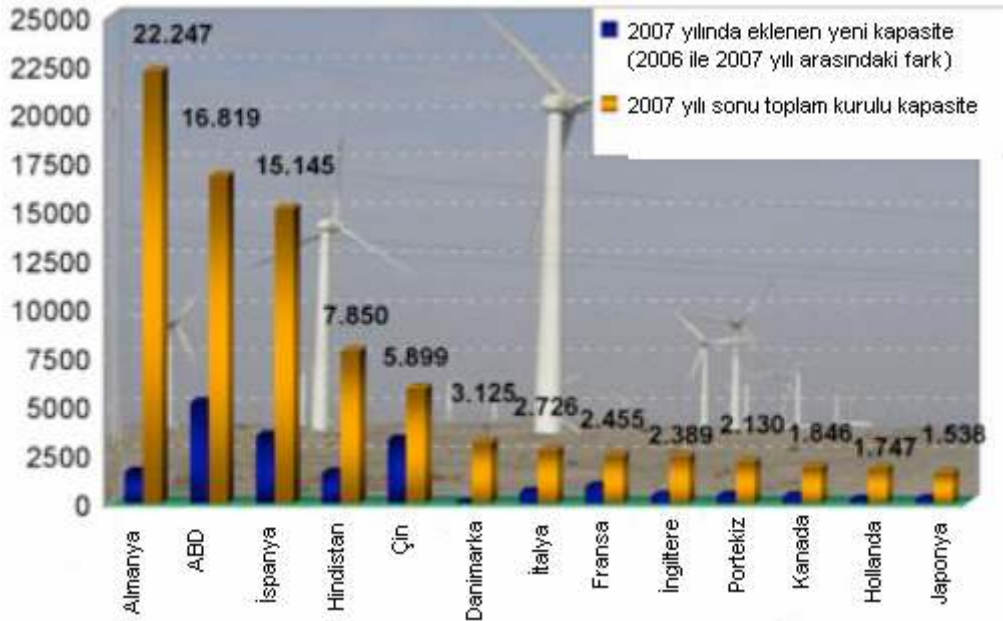
Dünya enerji birliğinin 21 şubat 2008'de açıkladığı rapor, rüzgar enerjisinden elde edilen enerji üretimi, global enerji üretiminin % 1'ine ulaşmış durumdadır. 2007 yılında 19.696 MW'lık kapasite büyümesi ile toplam kapasite 2007 aralık ayı itibariyle 93.849 MW'a ulaşmış bulunmaktadır. 2006 yılındaki % 25,6 değerindeki büyümeden sonra 2007 yılında % 26,6'lık bir büyüme gözükmemektedir. Tahminlere göre 2010 yılında dünyada toplam kurulu kapasite 170.000 MW'a ulaşacaktır.



Şekil 6.1 Dünyada 1997-2007 yılları arasındaki toplam kurulu kapasite ( Anonim, 2008-e)

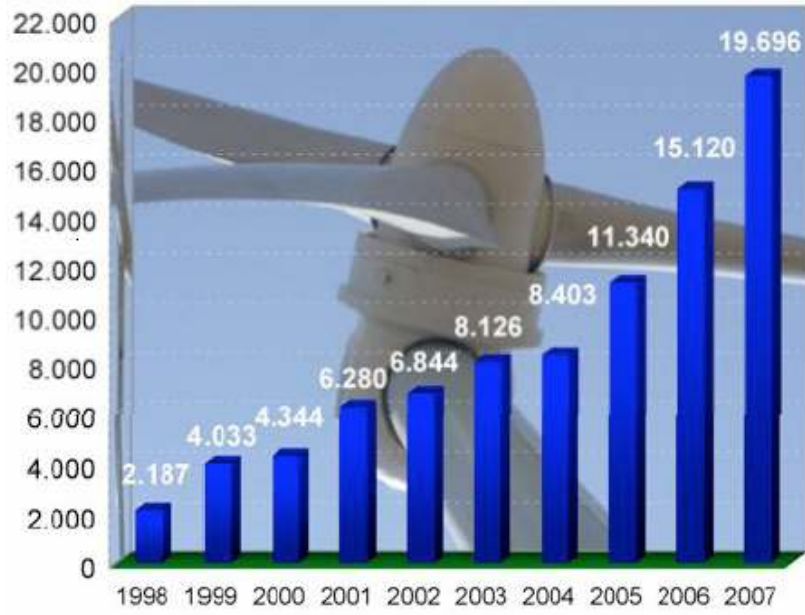
Toplam kurulu kapasitede, 2006 yılındaki 15.120 MW'lık artış ile 2007 yılındaki artışı karşılaştırdığımızda, 2007 yılında bu konuda yeni bir rekor kırıldığını görürüz. ABD 5.216 MW yeni kapasite artırımını ile bu sene de başı çeken ülkeler arasındadır. İspanya 3.515 MW kapasite artırımını ile önden gitmektedir ve Çin 3.313 MW kapasite artırımını ile ilk üç ülke arasındaki yerini almış bulunmaktadır. Dünyada rüzgar enerjisini yaygın olarak kullanan ilk beş ülke arasında Çin % 127,5 kapasite artırımınıyla bu ülkeler arasındaki en iyi performansı göstermiştir. Almanya 22.274 MW toplam kurulu kapasitesi ile dünyada rüzgar enerjisinden en çok faydalanan ülke konumundadır. 2007 yılındaki 1.625 MW yeni ek kapasitesiyle bu öncülüğünü devam ettirmeye kararlı gözükmemektedir. Hindistan 1.580 MW yeni kapasite artırımınıyla ilk beş ülke arasındaki konumunu korumaktadır. Bu ilk beş ülke dışındaki ülkeler arasında büyük kapasite artırımlarına pek rastlanmamaktadır. Sadece iki ülke 500 MW'ın üzerinde kapasite artırımına gitmiştir. Fransa 888 MW kapasite artırımınıyla toplam

kapasitesinde % 56,7 artış sağlayarak 2.455 MW kurulu kapasiteye ulaşmıştır. İtalya 603 MW kapasite artırımıyla % 28,4 büyüme sağlayarak 2.726 MW toplam kurulu kapasiteye sahip olmuştur. Bu ülkeler dışında en dinamik pazar olarak ülkemiz görülmektedir. % 200 büyüme göstererek, 2007 yılında 142 MW kapasite artırımıyla 207 MW toplam kurulu kapasiteye ulaşmış bulunmaktayız.



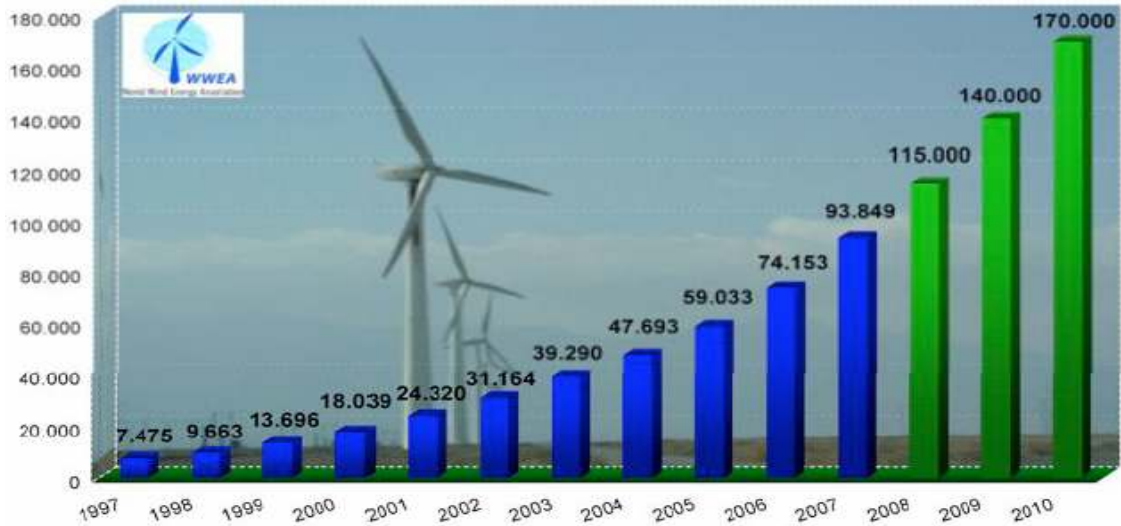
Şekil 6.2 Bazı ülkelerin toplam kurulu kapasiteleri ve 2007 yılı eklenen kapasiteler ( Anonim, 2008-e)

2006 yılı ile 2007 yılı karşılaştırıldığında, toplam kurulu kapasitede % 30 artış sağlandığı gözükmektedir. 1998-2007 yılları arasındaki artış şekil 6.3'de gözükmektedir.



Şekil 6.3 1998-2007 yılları arasındaki kapasite artırımları ( Anonim, 2008-e)

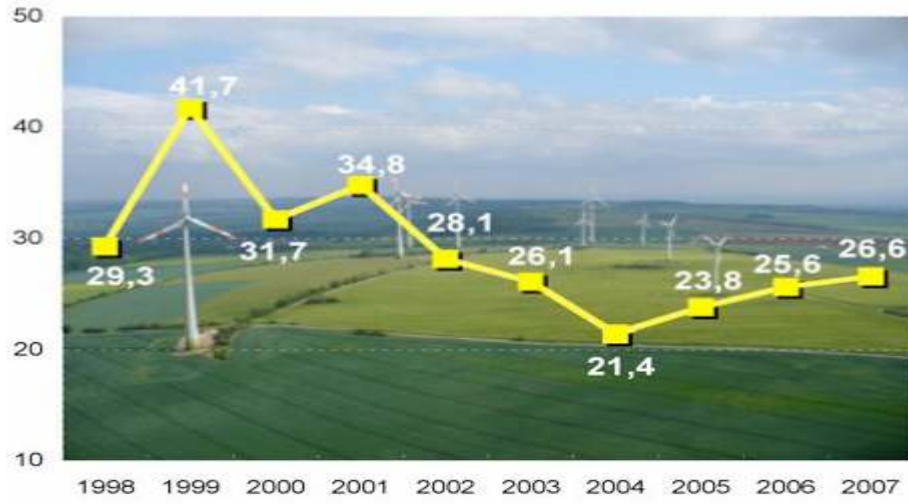
Rüzgar enerjisinden faydalanma oranı her geçen yıl artmaktadır. Dünya genelinde, 2006 yılının tahminlerine göre 2010 yılında 160.000 MW kurulu kapasiteye ulaşılacağı öngörülmekteydi. Ancak 2007 yılındaki büyük gelişmeye bakılarak yeni değer olarak 2010 yılında 170.000 MW kurulu güce ulaşabileceği hesaplanmaktadır. Şekil.6.4’de, yıllara göre toplam artış gözükmektedir.



Şekil 6.4 Yıllara göre toplam kapasite artışı ( Anonim, 2008-e)

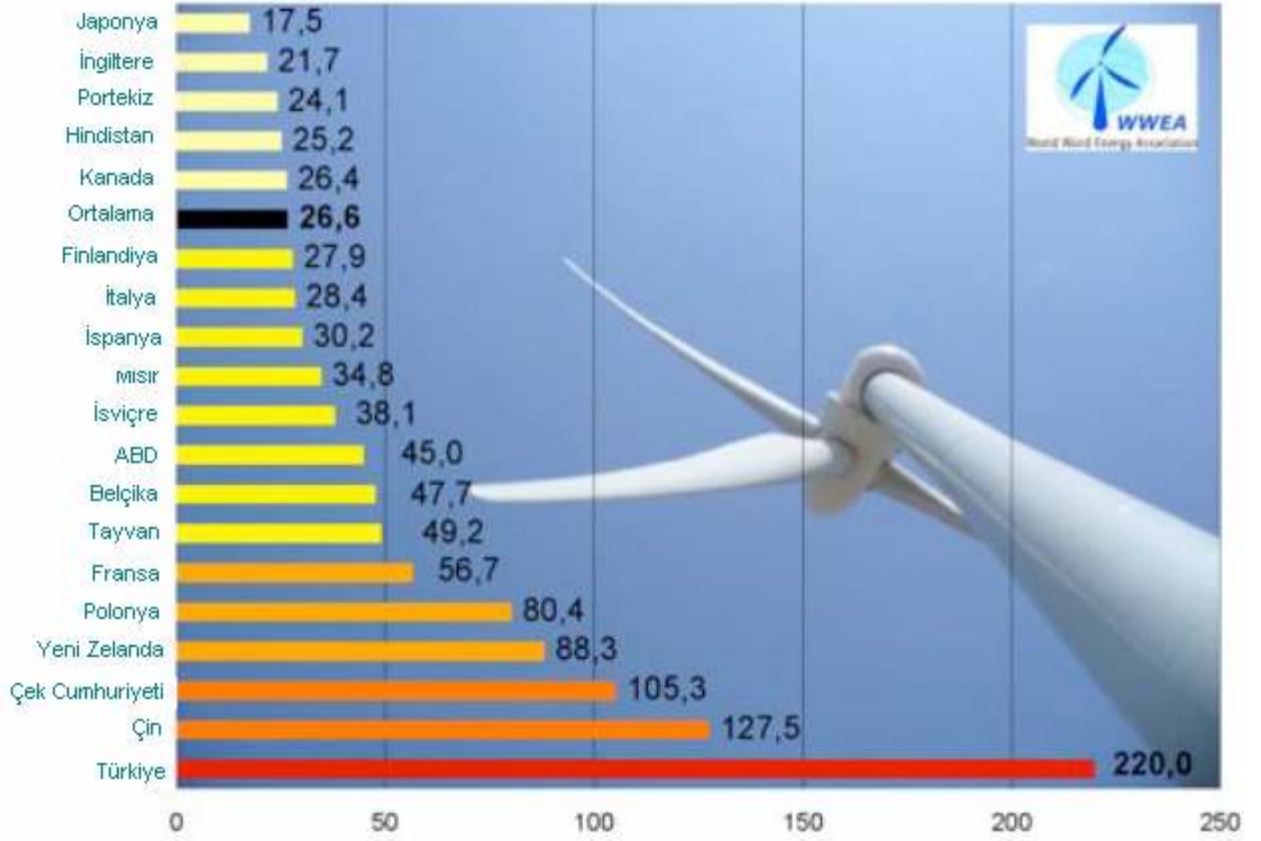
Rüzgar enerjisi kullanımını gösteren önemli bir faktör de, geçen yıla göre ortalama yıllık kapasite artışı gösterilebilir. Şekil 6.5 incelendiğinde 1999 – 2004 yılları arasında bir düşüş gözükmektedir. 2004 yılından sonra ise eğri tekrar artışa geçmiştir. Bu artışta en büyük payı olan ülkeleri başta ABD olmak üzere İspanya ve Çin göğüslemiş durumdadır. Ayrıca Fransa

% 57 kapasite artırımıyla bu büyümeye destek olmuştur.



Şekil 6.5 Rüzgar enerjisi üretiminde ortalama yıllık artış (%) (Anonim, 2008-e)

Aşağıdaki grafikte ise ülkelerin 2007 yılı içinde, yüzde olarak kapasite artırırları görülmektedir. Ülkemiz % 200 kapasite artırımıyla rüzgar enerjisi pazarında önemli bir noktada olduğunu göstermiştir.



Şekil 6.6 Ülkelerin 2007 yılı içerisindeki kapasite artırımını ( Anonim, 2008-e )

Türkiye gelişmekte olan ilk yirmi pazar içerisinde en ön sıradadır. Aşağıdaki tabloyu (Çizelge 6.1) incelediğimizde kurulu kapasite bakımından Türkiye'nin dünya sıralamasında 26. Sırada olduğunu görürüz. 2005 yılında 20 MW kapasiteye sahipken, 2006 yılında kurulu kapasite % 215 artışla 65 MW yükselmiş, 2007 yılında bu dinamikliğine devam ederek % 220 artışla kapasitesini 207 MW'a kadar yükseltmiştir. Bu alanda yatırımlar hızla artmaya devam etmektedir.

Çizelge 6.1 2007 Aralık itibariyle ülkelerin kurulu kapasiteleri ( Anonim, 2008-e)

Sıralama 2007	Ülke	Toplam Kurulu Kapasite 2007	2007 Yılı İçerisinde Eklenen Kapasite	Büyüme Oranı 2007	Sıralama 2006	Toplam Kurulu Kapasite 2006	Toplam Kurulu Kapasite 2005
		[MW]	[MW]	[%]		[MW]	[MW]
1	Almanya	22.247,4	1.625,4	7,9	1	20.622,0	18.427,5
2	ABD	16.818,8	5.215,8	45,0	3	11.603,0	9.149,0
3	İspanya	15.145,1	3.515,1	30,2	2	11.630,0	10.027,9
4	Hindistan	7.850,0	1.580,0	25,2	4	6.270,0	4.430,0
5	Çin	5.912,0	3.313,0	127,5	6	2.599,0	1.266,0
6	Danimarka	3.125,0	-11,0	-0,4	5	3.136,0	3.128,0
7	İtalya	2.726,1	602,7	28,4	7	2.123,4	1.718,3
8	Fransa	2.455,0	888,0	56,7	10	1.567,0	757,2
9	İngiltere	2.389,0	426,2	21,7	8	1.962,9	1.353,0
10	Portekiz	2.130,0	414,0	24,1	9	1.716,0	1.022,0
11	Kanada	1.846,0	386,0	26,4	12	1.460,0	683,0
12	Hollanda	1.747,0	188,0	12,1	11	1.559,0	1.224,0
13	Japonya	1.538,0	229,0	17,5	13	1.309,0	1.040,0
14	Avusturya	981,5	17,0	1,8	14	964,5	819,0
15	Yunanistan	873,3	115,7	15,3	16	757,6	573,3
16	Avustralya	817,3	0,0	0,0	15	817,3	579,0
17	İrlanda	805,0	59,0	7,9	17	746,0	495,2
18	İsviçre	788,7	217,5	38,1	18	571,2	518,0
19	Norveç	333,0	7,9	2,4	19	325,0	268,0
20	Yeni Zelanda	322,0	151,0	88,3	25	171,0	168,2
21	Mısır	310,0	80,0	34,8	21	230,0	145,0
22	Belçika	286,9	92,6	47,7	22	194,3	167,4
23	Tayvan	280,0	92,3	49,2	23	187,7	103,7
24	Polonya	276,0	123,0	80,4	26	153,0	73,0
25	Brezilya	247,1	10,2	4,3	20	236,9	28,6
26	Türkiye	206,8	142,2	220,0	31	64,6	20,1
27	Güney Kore	191,3	15,0	8,5	24	176,3	119,1
28	Çek Cumhuriyeti	116,0	59,5	105,3	34	56,5	29,5
29	Finlandiya	110,0	24,0	27,9	28	86,0	82,0
30	Ukrayna	89,0	3,4	4,0	29	85,6	77,3
31	Meksika	86,5	0,0	0,0	27	86,5	2,2
32	Kosta Rika	74,0	0,0	0,0	30	74,0	71,0
33	Bulgaristan	70,0	34,0	94,4	37	36,0	14,0
34	İran	66,5	19,1	40,4	36	47,4	31,6
35	Macaristan	65,0	4,1	6,8	33	60,9	17,5
36	Fas	64,0	0,0	0,0	32	64,0	64,0
37	Estonya	58,1	25,1	76,1	39	33,0	33,0
38	Litvanya	52,3	-2,7	-4,8	35	55,0	7,0
39	Lüksemburg	35,3	0,0	0,0	38	35,3	35,3
40	Arjantin	29,8	2,0	7,2	40	27,8	26,8

Sıralama 2007	Ülke	Toplam Kurulu Kapasite 2007	2007 Yılı İçerisinde Eklenen Kapasite	Büyüme Oranı 2007	Sıralama 2006	Toplam Kurulu Kapasite 2006	Toplam Kurulu Kapasite 2005
		[MW]	[MW]	[%]		[MW]	[MW]
41	Litvanya	27,4	0,0	0,0	41	27,4	27,4
42	Filipinler	25,2	0,0	0,0	42	25,2	25,2
43	Cameika	20,7	0,0	0,0	43	20,7	20,7
44	Guadalupe	20,5	0,0	0,0	44	20,5	20,5
45	Tunus	20,0	0,0	0,0	45	20,0	20,0
46	Şili	20,0	18,0	900,0	59	2,0	2,0
47	Kolombiya	19,5	0,0	0,0	46	19,5	19,5
48	Croatia	17,8	0,6	3,5	47	17,2	6,0
49	Güney Afrika	16,6	0,0	0,0	48	16,6	16,6
50	Rusya	16,5	1,0	6,5	49	15,5	14,0
51	Guyana	13,5	0,0	0,0	50	13,5	13,5
52	Curacao	12,0	0,0	0,0	51	12,0	12,0
53	İsviçre	11,6	0,0	0,0	52	11,6	11,6
54	Romanya	9,0	6,2	226,1	57	2,8	0,9
55	İsrail	7,0	0,0	0,0	53	7,0	7,0
56	Slovakya	5,0	0,0	0,0	54	5,0	5,0
57	Faroe Adaları	4,1	0,0	0,0	55	4,1	4,1
58	Ekvador	3,1	3,1		73	0,0	0,0
59	Cape Verde	2,8	0,0	0,0	56	2,8	2,8
60	Nijerya	2,2	0,0	0,0	58	2,2	2,2
61	Küba	2,1	1,7	366,7	67	0,5	0,5
62	Ürdün	1,5	0,0	0,0	60	1,5	1,5
63	Martinik	1,1	0,0	0,0	61	1,1	1,1
64	Belarus	1,1	0,0	0,0	62	1,1	1,1
65	Endonezya	1,0	0,2	25,0	63	0,8	0,8
66	Eritrea	0,75	0,00	0,0	64	0,75	0,75
67	Peru	0,70	0,00	0,0	65	0,70	0,70
68	Uruguay	0,60	0,45	300,0	70	0,15	0,15
69	Kazakistan	0,50	0,00	0,0	66	0,50	0,50
70	Namibia	0,47	0,22	88,0	69	0,25	0,25
71	Hollanda Antilleri	0,33	0,33		74	0,00	0,00
72	Suriye	0,30	0,00	0,0	68	0,30	0,30
73	Kuzey Kore	0,01	0,00	0,0	71	0,01	0,01
74	Bolivya	0,01	0,00	0,0	72	0,01	0,00
	Toplam	<b>93.849,1</b>	<b>19.695,8</b>	<b>26,6</b>		<b>74.153,3</b>	<b>59.033,0</b>



## 7. RÜZGAR TÜRBİNLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Kullanımdaki rüzgar türbinleri boyut ve tip olarak çeşitlilik göstermektedirler. Türbinler, dönme eksenine, güç kontrol sistemlerine, rotorun dönüş hızına ve kullanım yerine göre sınıflandırılabilirler. Bu tezde, sınıflandırma yöntemleri içerisinde en çok tercih edilen dönme eksenine göre sınıflandırmayı kullandık.

1989 yılından itibaren Almanya’da RT teknolojisi hızla gelişmiştir. Rotor çapı 25m, çıkış gücü 150-250kW olan RT’ler imal edilmiş ve bunu rotor çapı 30-35m, çıkış gücü 300kW’dan büyük türbinler izlemiştir. Bu türbinler 2–3 yıl piyasaya egemen olmuştur. 1992 Ağustos ayında ilk Tacke-Windtechnik’in yaptığı 500kW’lık RT çalışmaya başlamıştır. Bunu ENERCON’un E40 ve diğer Avrupalı üreticilerin ürettiği türbinler takip etmiştir. 500kW’lık RT’nin gelişmesi için 37m kanat çapında rotor imalatına başlanmıştır. Bunu 46m çapında ve 600kW gücünde ve özellikle iç bölgelerde, düşük rüzgarlı alanlarda kullanılmak üzere dizayn edilmiş RT’ler izlemiştir. Tacke-Windtechnik’in yaptığı 500kW’lık RT’den dört yıl sonra 1996 yılı sonlarına doğru ENERCON 66m çaplı 1,5 MW gücünde RT üretmeye başlamıştır. Bu ilerlemeyi; 66m çaplı ve 1,65 MW gücündeki türbinler izlemiştir. Artık günümüzde karadaki uygulamalar için 70m, 80m hatta 100m rotor çaplı ve 2 MW ve üzeri güçlerdeki bir RT görmek olağan dışı değildir.

Rüzgar türbinleri yatay eksenli ve dikey eksenli olmak üzere ikiye ayrılır.

### 7.1 Eksen Farkına Göre Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması

#### 7.1.1 Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri

Bu tür türbinlerde türbin mili dikey eksenlidir ve rüzgarın geliş yönüne diktir. Savonius tipi, Darrieus tipi başlıca türlerdir. Darrieus tipi düşey eksenli rüzgar türbininde, düşey şekilde yerleştirilmiş iki tane kanat vardır. Kanatlar, yaklaşık olarak türbin mili uzun eksenli olan bir elips oluşturacak biçimde yerleştirilmişlerdir. Kanatların içbükey ve dışbükey yüzeyleri arasındaki çekme kuvveti farkı nedeniyle dönme hareketi oluşur. Yapısı gereği Darrieus tipi rüzgar türbinlerinde, devir başına iki kere en yüksek tork elde edilir. Rüzgarın tek yönden estiği düşünülürse; türbinin verdiği güç, sinüs şeklinde bir eğri oluşturur. Dikey eksenli rüzgar türbinleri her istikametlidirler ve değişen rüzgar yönlerinde dönerler. Böylece rüzgarı her bir yönden kabul ederler. Dönüşün dikey eksenli, sürücünün toprak seviyesine dahi yerleştirilmesine izin vermektedir. Bu tipteki rüzgar türbinlerinin güç katsayısı 0,15’ten azdır. Bu nedenle güç üretiminde tercih edilmezler (Şen, 2003).

Dikey eksenli Savonius rüzgar türbini ilk olarak 1924 yılında Finli mühendis Sigurd Savonius tarafından icat edilmiş olup 1929 yılında patenti alınmıştır. Yapısının basit olması ve kolay inşa edilmesi tüm ilgileri üzerine çekmesini sağlamıştır. Savonius türbinlerinin başlangıç torkları yüksektir. Bunun sebebi aerodinamik yapıları gereği herhangi bir yönde esen rüzgarı alabilme özelliğinden kaynaklanmaktadır. Verimleri yatay eksenli rüzgar türbinlerine göre oldukça düşüktür. Savonius rüzgar türbinlerinin bakımı ve işletmesi oldukça basittir. (Dursun B. vd., 2005) İki yatay disk arasına yerleştirilmiş ve merkezleri birbirine göre simetrik olarak kaydırılmış, “kanat” adı verilen iki yarım silindirden oluşmaktadır. Belirli bir hızla gelen rüzgarın etkisiyle, çarkı oluşturan silindirin iç kısmında pozitif ve dış kısmında negatif bir momentin olmaktadır. Pozitif moment, negatif momentten daha büyük olduğundan, dönme hareketi pozitif moment yönünde sağlanır. (Ushiyama, I. Ve Nagai, H., 1988)

Diğer DERT’lere göre; düşük rüzgar hızlarında iyi başlangıç karakteristiklerine sahip olması, yapımının kolay ve ucuz olması, rüzgarın yönünden bağımsız olması ve kendi kendine ilk harekete başlaması gibi birçok üstünlüklere sahip olan Savonius RT’lerinin, aerodinamik performansı düşük olduğu için ilk uygulama alanları; havalandırma, su pompalama gibi kısıtlı alanlar olmuştur. Savonius RT’nin birçok üstünlüğü bulunmasına rağmen, aerodinamik performanslarının düşüklüğü nedeniyle kullanılmamaktadır. Son yıllarda yapılan Savonius RT çalışmaları, aerodinamik performansın geliştirilmesi yönünde olmuştur. (Modi, V.J. Ve Fernando, M.S.U.K., 1989)

Aldoss ve Najjar, (1985) bu çarkın performansı üzerine; “sallanan kanatlı çark” kullanarak deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında Savonius RT’nin performansını, hem rüzgarın gerisinde hem de rüzgara doğru, çark kanatlarının bir optimum açı ile geriye doğru salınmasına müsaade ederek geliştirmişlerdir. (Modi, V.J. Ve Fernando, M.S.U.K., 1989)

Reupke ve Probert, (1991) Savonius RT’nin çalışma etkinliğini arttırmak için, türbin kanatlarının kavisli kısımlarının yerine bir sıra menteşelenmiş kanatçıklar yerleştirmiştir. Kanatçıklar rüzgara doğru ilerlerken, rüzgar basıncının etkisinde otomatik olarak açılmış ve daha az akış direnci elde edilmiştir. Kanatçıkların ilk konuma gelirken, tekrar otomatik olarak kapandığını tespit edip, çok düşük uç hız oranlarında, düzeltilmiş parçalı kanatlı çarklardan, klasik Savonius RT’lerine oranla daha yüksek momentler elde edildiğini belirlemişlerdir. (Reupke, P., Ve Probert, S.D., 1991)



Şekil 7.1 Dikey eksenli rüzgar türbini, (reuk.co.uk)

#### 7.1.1.1 Darrieus Rüzgar Türbinleri:

1931 yılında Fransız mühendis George J.M. Darrieus tarafından icat edilmiştir. 1970 ve 1980'lerde Amerika ve Kanada da Darrieus türbinlerinin kanat dizaynları üzerine geniş çalışmalar yapılmıştır. Kanatları geometrik formlu aerodinamik profile sahip olduğundan yüksek performanslıdır. Kanatlardaki hafif eğim sayesinde kanatlardaki çekme gerilimleri minimuma iner. Yüksek hızlarda çalışabilir ve türbin; 2 veya 3 kanatlı olur. İlk hareket için Savonius RT veya bir tahrik motoru gerekmektedir.

#### 7.1.1.2 H-Darrieus Rüzgar Türbinleri:

Dikey eksenli en önemli RT'lerden biridir. Darrieus RT'nin geliştirilmesiyle meydana gelen daha karmaşık tipte bir türbinidir. Darrieus RT'den iki önemli farkla ayrılır. Bunlar:

- Aerodinamik profili düzdür.
- Kanatlara pitch kontrol uygulanır. (Nurbay N., Çınar A., 2005)

Bu türbinlerin avantajları şöyle sıralanabilir:

- Jeneratör ve dişli kutusu yere yerleştirildiği için, türbini kule üzerine yerleştirmek gerekmez. Böylece kule masrafı olmaz.
- Türbini rüzgar yönüne çevirmeye gerek yoktur. Yani dümen sistemine ihtiyaç yoktur.
- Türbin mili hariç diğer parçaların bakım ve onarımı kolaydır.
- Elde edilen güç toprak seviyesinde çıktığından, nakledilmesi daha kolaydır. Kötü yönleri ise şöyledir:
- Yere yakın oldukları için alt noktadaki rüzgar hızları düşüktür.

- Verimi düşüktür.
- Çalışmaya başlaması için bir motor tarafından ilk hareketin verilmesi gerekir.
- İlk hareket motoruna ihtiyacı vardır.
- Ayakta durabilmesi için tellerle yere sabitlenmesi gerekir. Bu da pek pratik değildir.
- Türbin mili yataklarının değişmesi gerektiğinde, makinenin tamamının yere yatırılması gerekir (Şen, Ç., 2003)

### 7.1.2 Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri

Bu türbinlerde; dönme eksenini rüzgar yönüne paralel, kanatlar rüzgar yönüne diktir. Bu türbinlerde rotor kanatların sayısı azaldıkça rotor daha hızlı dönmektedir. Bu türbinlerin verimi yaklaşık %45'dir. YERT genel olarak yerden 20-30m yüksekte ve çevredeki engellerden 10m yüksekte olacak şekilde yerleştirilmelidir. Rüzgar hızının, rotor kanadı uç hızına bölünmesi ile elde edilen orana kanat uç hız oranı ( $\lambda$ ) denir. Eğer;

- $\lambda=1-5$  Çok kanatlı rotor,
- $\lambda=6-8$  Üç kanatlı rotor,
- $\lambda=9-15$  İki kanatlı rotor,
- $\lambda>15$  Tek kanatlı rotor kullanılır.

YERT, farklı sayıda rotor kanadına sahip olan ve rüzgarı önden alan veya rüzgarı arkadan alan sistemler olarak da çeşitlilik gösterirler. Yatay eksenli türbinlerin çoğu, rüzgarı önden alacak şekilde tasarlanırlar. Rüzgarı arkadan alan rüzgar türbinlerinin ise, yaygın bir kullanım yeri yoktur. Rüzgarı önden alan türbinlerin iyi tarafı, kulenin oluşturduğu rüzgar gölgelenmesinden etkilenmemesidir. Kötü tarafı ise, türbinin sürekli rüzgara bakması için dümen sisteminin yapılmasıdır. Rüzgarı arkadan alan türbinlerde ise; eğer rotor ve gövde uygun şekilde tasarlanmışsa, dümen sistemine gerek yoktur. Bu nedenle daha hafiftirler. Fakat büyük çaplı türbinlerde rüzgarın arkadan gelmesi tercih edilmez. Bunun nedeni ise; serbestçe dönmeye bırakılan türbinin elektrik enerjisini taşıyan kabloları burmasıdır. 1000 amper gibi yüksek akımlarla çalışan bu sistemde, akımın mekanik sistemlerle de toplanması sağlıklı değildir. Fakat küçük çaplı türbinlerde kolaylıkla uygulanabilirler. Yatay eksenli türbinlerin bir başka sınıflandırması ise, dönme hızlarına göredir. Yavaş hızlarda çalışan rüzgar türbinleri ve yüksek hızlarda çalışan rüzgar türbinleri adı altında iki gruba ayrılırlar. (Şen, 2003). Burada sınıflandırma, rüzgar alma yönüne göre yapılacaktır.



Şekil 7.2 Dikey eksenli rüzgar türbinleri (Bozcaada, Bores)

## 7.2 Rüzgarı Alış Yönlerine Göre Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması

### 7.2.1 Rüzgarı Arkadan Alan Makineler:

Bu makinelerin rotorları kule arkasına konur. Bunların önemli üstünlüğü rüzgara dönmek için “Yaw” mekanizmasına gerek duymayırlardır. Eğer nacelle ve rotor uygun tasarlanırsa, nacelle rüzgarı pasif olarak izler. Daha önemli bir üstünlük kanatların esnek özelliğe sahip olmasıdır. Bu, hem ağırlık hem de makinenin güç dinamiği açısından önemli bir üstünlüktür. Böylece bu makinelerin avantajları; önden rüzgarlı makinelere göre daha hafif yapılması sonucu kule yükünün azalmasıdır. Ancak, bu tür türbinlerde meydana gelen güç dalgalanması, türbine önden rüzgarlı makinelerden daha çok zarar verir

### 7.2.2 Rüzgarı Önden Alan Makineler:

Yıllardır yaygın olarak kullanılan bu makinelerde rotor yüzü rüzgara dönüktür. En önemli üstünlüğü, yukarıda da değindiğimiz gibi kulenin arkasında olacak rüzgar gölgeleme etkisine çok az maruz kalmasıdır, yani rüzgar kuleye eğilerek varır. Kule yuvarlak ve düz olsa bile kanadın kuleden her geçişinde türbinin ürettiği güç biraz azalır. Bu nedenle rüzgar çekilmesinden dolayı kanatların sert yapılması gerekir ve kanatların kuleden biraz uzakta yerleştirilmesi gerekir. Ayrıca, önden rüzgarlı makineler, rotoru rüzgara karşı döndürmek için

“Yaw” mekanizmasına gerek duyarlar.

### **7.2.2.1 Tek Kanatlı Rüzgar Türbinleri:**

Tek kanatlı RT'nin yapılmasının sebebi, kanat sayısına göre dönme hızının yüksek olması ve bu sayede makine kütesini ve rotorun döndürme momentini azaltmaktır. Ek olarak rotor kanadı, kanat üzerindeki yapısal yükleri azaltacak mekanizma ve kanat mekanizma hareketinin pürüzsüz olabilmesi için, tek menteşe ile sabitleştirilip, 2 karşı ağırlıkla dengelenmelidir. Diğer taraftan tek kanatlı rotorlarda, ilave yüklerden ortaya çıkan aerodinamik balanssızlık ve mekanizma hareketinin kontrol altında tutulması için kanat bağlantı noktaları çok iyi yapılmalıdır. Bir kanatlı RT'nin kanat uç hızı, üç kanatlı RT ile karşılaştırıldığında, iki kat daha yüksektir. Bu da çalışma esnasında aşırı gürültüye sebebiyet vermektedir.

### **7.2.2.2 Çift Kanatlı Rüzgar Türbinleri:**

Üç kanatlı türbinlere göre rotor maliyetinin azaltılmak istenmesi bu türbin fikrini doğurmuştur. Birçok ülkede 10 ila 100m rotor çaplı ölçülerde RT'ler tasarlanıp, Avrupa ve ABD'de çalışmaya başlamıştır. Bu ticari RT'lerden sadece birkaç tanesi prototip durumundan, seri üretime geçebilmiştir. İki kanatlı rotorun balansı, bir kanatlı rotora göre daha düzgündür. Fakat maalesef iki kanatlı rotorun sebep olduğu dinamik hareketleri önlemek için ilave teknik güç, maliyetin daha fazla artışına sebep olmaktadır. Kanat bağlantı noktalarının titreşimi azaltmak için rotora kadran sistemi ilave edilmiştir. Bu kadran, rotor shaftına dikey ve iki rotor kanadına dik yerleştirilir. Üç kanatlı rotorla karşılaştırıldığında en büyük avantajı; kanat uç hızlarının yüksek olmasıdır. Bu RT'nin gürültü seviyesinin yüksek olması ve düşük rüzgar hızlarında (3m/sn) çalıştırılması dezavantajıdır. Günümüzde iki kanatlı rotor, şimdi birkaç ünitedir ve en az bir an için artan piyasaya dikkat edecek olursak iki kanatlı rotora hiçbir eğilim bulunmamaktadır.

### **7.2.2.3 Üç Kanatlı Rüzgar Türbinleri:**

Üç kanatlı modern türbinler, dünyanın her tarafında kullanılmaktadır. Üç kanat kullanımının asıl sebebi, dönme momentinin daha düzgün olmasıdır. Bu türbinde, türbinin yapısı üzerinde depolanan yüklerden dolayı salınım yapan atalet momenti olmadığından, Kanat bağlantı göbeğinin içinde titreşimi önleyici pahalı parçalara gerek yoktur. Kanat uç hızı 70m/sn altında olduğundan gürültünün düşüklüğü, sarsıntısız döndükleri için göz estetiğini bozmamaları

önemli bir avantaj olup, halk tarafından kabulünü sağlamıştır. Küçük güçlü RT'lerde, üç kanatlı rotor kullanıldığında güç problemleri ortaya çıkar. Bu problemin çözümü için düşük devirde dönen rotorun devir sayısını  $1/n$  oranında arttıran dişliler kullanılır ve "Cut in" olarak adlandırılan hız değerine ulaşıncaya kadar, jeneratör boşa çalıştırılır.

#### 7.2.2.4 Çok Kanatlı Rüzgar Türbinleri:

Çok Kanatlı RT'ler rüzgargüllerinin ilk örnekleridir. Yıllarca sadece su pompalamasında kullanılan bu türbinler, bu işlemdeki moment gereksiniminin karşılanabilmesi amacıyla, çok kanatlı olarak üretilmiştir. Çok kanatlı RT'ler düşük hızda çalışırlar. Türbin kanatlarının genişlikleri, pervane göbeğinden uçlara gidildikçe artım gösterir. Pervane mili, dişli kutusuna bağlanarak, jeneratör mili devir sayısı artırılır ve otomobillerde uygulama alanı bulan jeneratörler kullanılır. Rüzgargülleri, rüzgargülü pervane düzleminin rüzgar hız vektörünü her zaman dik olarak alabilmesi için de, rüzgargülü yönlendiricisi taşımaktadırlar. (Nurbay N., Çınar A., 2005)

### 7.3 Rüzgar Hızına Göre Rüzgar Türbinleri

#### 7.3.1 Düşük Hızlarda Çalışan Rüzgar Türbinleri:

İlk olarak 1870'li yıllarda ABD'de çok kanatlı düşük hızlarda çalışan türbinler üretilmeye başlanmıştır. Günümüzde 12 ile 24 adet arasında değişen kanatlar, rotorun neredeyse tüm yüzeyini kaplar. Yerleştirilen kuyruk kanadı dümen işlevini görür. Genellikle bu tip rüzgar türbinlerinin çapı 5 ile 8 m arasında değişir. Bu tipin en büyük örneği ABD'de inşa edilmiş olup, çapı 15 m'dir. Yavaş çalışan rüzgar türbinleri 2-3 m/s arası rüzgar hızlarında kendiliğinden çalışmaya başlarlar. Bu türbinlerin özellikleri aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir.

- Genellikle hızları 3-7 m/s arasında değişen rüzgarlarda kullanılırlar.
- Elektrik üretimi için verimleri düşüktür.
- Çap büyüdükçe ağırlık artacağından, bu türbinleri kurmak kolay değildir.
- Bu tipteki türbinler, daha çok su pompalama işi için idealdirler. Genellikle pistonlu pompalarda kullanılırlar. (Şen, Ç., 2003)

#### 7.3.2 Yüksek Hızlarda Çalışan Rüzgar Türbinleri:

Yüksek hızlarda çalışan bu tip rüzgar türbinlerinde kanat sayısı 1 ile 4 adet arasındadır. Düşük hızlarda çalışan çok kanatlı rüzgar türbinlerinden çok daha fazla hafiftirler. İki kanatlı türbinler, üç kanatlılara göre %2-3 daha az verimlidir. Tek kanatlı türbinler ise, iki kanatlı

türbinlerden %6 daha az verimlidirler. Ayrıca tek kanatlı türbinlerde dengeleyici olarak karşı ağırlık kullanılır. Yüksek rüzgar hızlarında çalışan bu tip türbinlerde kanat sayısı arttıkça verim artar. Ancak 3 kanattan daha fazla sayıda kanat, maliyeti önemli ölçüde arttıracığından tercih edilmez. Bir ve iki kanatlı türbinler daha hızlı döndüklerinden, üç kanatlı türbinlere göre daha fazla gürültü yaparlar. Bütün bunların yanında, üç kanatlı türbinlerin estetik görünüşleri de bu tip türbinlerin daha çok tercih edilmesinde önemli bir etkidir. Söz konusu türbinlerin yavaş hızlarda çalışan rüzgar türbinlerine göre avantajları şunlardır;

- Düşük kanat sayısı; bu tipteki türbinlerin fiyatını ve ağırlığını önemli ölçüde azaltır.
- Ani rüzgar patlamalarından kaynaklanan basınç değişimlerinden az etkilenirler.
- Çok yüksek hızlarda çalışan kanat koruyucu sistemleri, bu tip türbinlerde daha ucuzdur.
- Yüksek verimleri nedeniyle günümüzde elektrik üretimi amaçlı kullanılan rüzgar türbinlerinin büyük çoğunluğu bu tip türbinlerdir (Şen, Ç., 2003)

#### 7.4 Güç Kontrol Sistemine Göre Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması

Rüzgar türbinleri, nominal gücü vermek üzere tasarlandıkları hızların (nominal hız) üzerinde, türbinin zarar görmesini önlemek amacıyla kontrol sistemlerine sahiptirler. Bu sistemler, türbin nominal hızı aştıktan sonra palaların aerodinamik performansını düşürerek jeneratörde oluşabilecek aşırı yüklemeyi önlerler. Bu amaçla kullanılacak 5 temel tasarımdan söz edilebilir. Bunlar kullanım yaygınlıklarına göre:

- Pasif Stall Kontrolü
- Aktif Pitch Kontrolü
- Aktif Stall Kontrolü
- Sapma Kontrolü
- Pasif Pitch Kontrolü

Bunlardan sapma kontrollü ve pasif pitch kontrollü olan tasarımlar geniş uygulama alanı bulamadılar. Kısaca bahsedeceğiz.

Sapma kontrollü türbinler, türbinlerin çoğunda, türbini rüzgar yönüne çevirmek için mevcut bulunan sapma kontrollü sistemini güç kontrolü için de kullanma düşüncesine dayanıyor. Bu sistemler, rüzgar tasarım hızının üzerine çıktığında türbini rüzgar akımının doğrultusundan çıkartmak böylece türbinin güç katsayısını düşürmek prensibine dayanırlar. Fakat bu sistem yeterli sapma hızlarına ulaşmanın içerdiği zorluklar ve pala ile makine dairesinin dönüş esnasında yarattığı momentten dolayı yaygın bir sistem değildir. Bu tür sistemlerde, sapma özellikle ilk  $10^\circ$  civarında önemli bir güç katsayısı düşüşü sağlayamamaktadır, bu sebeple bu değer üzerine çıkmak için geçen sürede aşırı yükleme ihtimali artmaktadır. Ancak bu dezavantajlarına rağmen, bu tasarım İtalya'da 60 m çaplı  $8^\circ/\text{sn}$ 'lik yüksek dönme hızına sahip



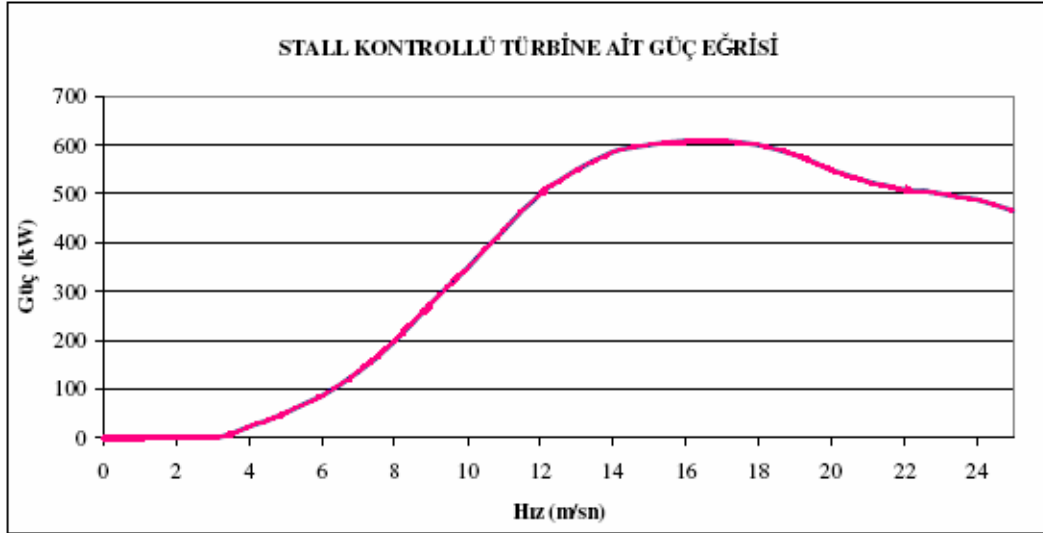
bir türbinde kullanılmıştır (Burton vd., 2001)

Pasif pitch kontrolünde ise temel düşünce, palayı yüksek hızlarda burularak istenen pitch açısına ulaşacak şekilde tasarlamak, bu şekilde güç kontrolü sağlamaktır. Prensip mantıklı ve basit gözükse de uygulamada bunu başarmak zor, çünkü güç kontrolü için gerekli burulma ile pala üzerine gelen yüklerin oluşturduğu burulma birbiriyle uyumlu olmayabilir. Bu iki sistemden bahsettikten sonra yaygın olarak kullanılan diğer üç sistem inceleyelim.

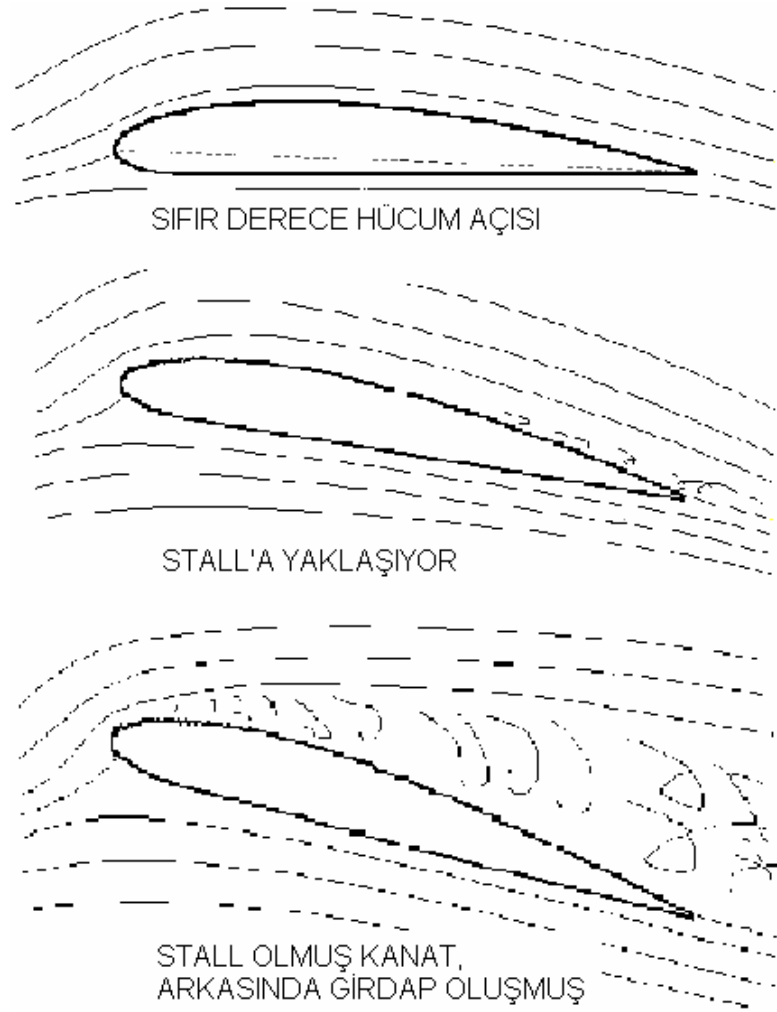
#### **7.4.1 Stall Kontrollü Türbinler:**

Stall kontrollü türbinlere geçmeden önce stall olayını kısaca açıklayalım. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi, normalde rüzgar kanat yüzeyini her iki taraftan yalayarak geçer. Özellikle kanat profilinin üst yüzeyinde bu durum önem kazanmaktadır. Akış çizgilerinde herhangi bir kopma olsun istenmez. Profilin üst yüzeyinde hava akış hızı alt kısımdaki akış hızından daha yüksektir. Bu durum basınç farkı doğurur ve kanat harekete geçer. Ancak rüzgar şiddeti fazla olduğunda hücum açısı (angle of attack) artırılarak profilin üst yüzeyinde vorteks oluşumu sağlanır. Akım çizgileri yüzeyden ayrılır. Ayrılma olan bölgede basınç aniden düşer. Kanat rüzgara direnir. Böylece kanat kendisine ani frenleme yapar. Çok yüksek hızlara çıkamaz. Türbinin zarar görmesi önlenmiş olur.

Stall kontrollü türbinler, göbeğe sabit bir açı ile sabitlenmiş palalara sahiptir. Bu sistem, rüzgar hızındaki artış ile birlikte hücum açısının da artması ve palanın stall etkisine girmeye başlaması sayesinde güç kontrolü sağlarlar. Pala geometrisi, rüzgar nominal hızın üzerindeki hızlarda arttıkça, performansı düşürecek şekilde tasarlanmıştır. Pala kök bölgesinden başlayarak stall etkisine girer, bu şekilde tasarım hızı üzerindeki hızlarda, aşırı yükleme sebebiyle türbin sistemlerinde oluşacak hasarlar önlenmiş olur. Stall kontrollü sistemler nominal hızın üzerindeki hızlarda, pitch kontrollü türbinler gibi sabit bir güç seviyesini koruyamamaktadırlar, bu sebeple nominal hız üzerinde enerji üretimi pitch kontrollü türbinlerden düşüktür. Stall kontrollü türbinlerin temel avantajı, rotorda hareketli parçalara sahip olmamaları ve karmaşık bir kontrol sistemine ihtiyaç duymamalarıdır. Bu türbinler sadece türbinlerin çalıştırılması ve durdurulması için kontrole ihtiyaç duyarlar. 600 kW'lık Bonus Mk IV Türbinine ait veriler kullanılarak oluşturulmuş, stall kontrollü bir türbine ait güç eğrisi Sekil 4.3.'te görülmektedir (Emniyetli, G., 2007)



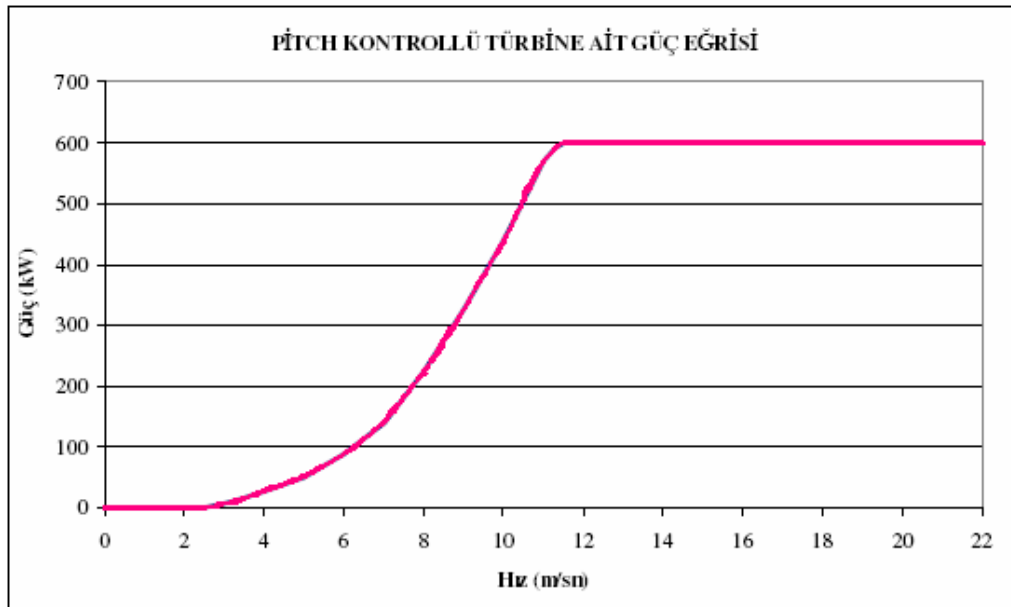
Şekil 7.3 600 Kw Stall kontrollü türbine ait güç eğrisi (Bonus, 2004)



Şekil 7.4 Stall oluşumu (Gökmen, F., 2008),

#### 7.4.2 Pitch Kontrollü Türbinler:

Pitch kontrollü türbinlerde palalar, stall kontrollü olanların aksine göbeğe sabit bir açı ile sabitlenmiş değildirler. Pala, pitch kontrol mekanizması sayesinde rüzgar hızına göre eksenini etrafında döndürülebilmektedir. Bu türbinler, nominal hız üzerinde sabit güç üretimi sayesinde daha kaliteli bir güç çıkışı sağlamaktadırlar. Ancak stall etkisine göre tasarlanmadıkları için ani rüzgarlara karşı hassastırlar. Şekil 4.4'te pitch kontrollü 600 kW'lık bir türbin olan Dewind D-4'e ait verilerle oluşturulmuş güç eğrisi görülmektedir. (Emniyetli, G., 2007)



Şekil 7.5 600 Kw Pitch kontrollü türbine ait güç eğrisi (Dewind, 2004)

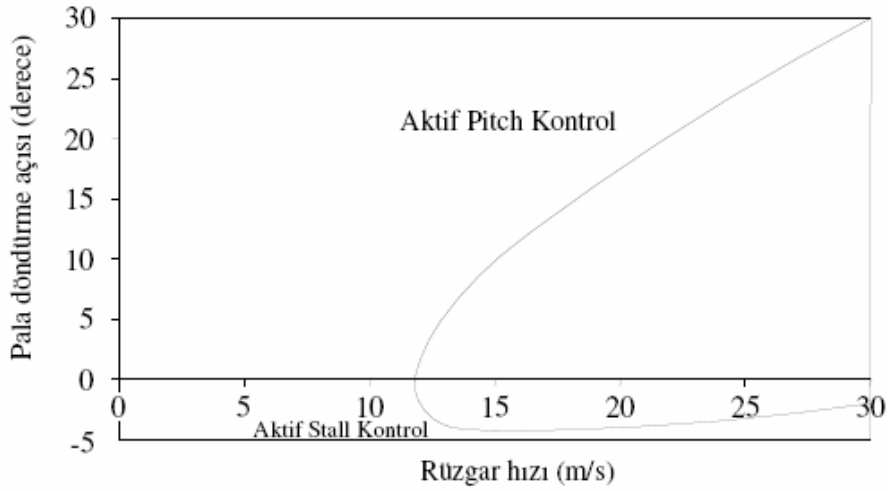
Pitch kontrol mekanizmasının kullanımı farklılıklar gösterebilir. Sistem, bütün hızlarda kullanılarak elde edilen enerjinin artırılması sağlanabilir ya da sistemde aşınmayı azaltmak için sadece nominal hızın üzerinde güç kontrolü için kullanılabilir. Bu sistemler MW sınıfı türbinlerde daha yaygın olarak kullanılmakla birlikte, 600 kW sınıfı türbinlerde de kullanılmaktadır. Pitch kontrollü türbinlerden elde edilecek performans artışı temel olarak kullanılan pitch mekanizmalarının hızına ve hassasiyetine bağlıdır. Bu makineler sahip oldukları pitch sistemleri sebebiyle yüksek hızlarda yapısal sorunlar yaşamaya, sabit palaya sahip stall kontrollü türbinlere oranla daha eğilimlidirler.

#### 7.4.3 Aktif Stall Kontrollü Türbinler:

Aktif stall kontrolü, bundan önce söz edilen iki kontrol sistemine göre daha yeni bir

tasarımdır. Bu sistemde de pitch kontrollü türbine benzer şekilde güç kontrolü için pala, eksenini etrafında döndürülerek nominal hız üzerinde sabit güç üretimi sağlanır, fakat dönüş yönü pitch kontrolündekinin tersidir. Pitch kontrollü türbin, nominal hızın üzerine çıktığında palayı hücum açısını düşürecek şekilde döndürülürken, aktif stall kontrollü bir türbin palayı ters yönde çevirip, türbini stall etkisine sokar.

Aktif stall kontrollü türbinin güç eğrisi pitch kontrollü türbine benzer. Aktif stall ve aktif pitch kontrollü türbinler için gerekli pala döndürme açılarının kıyaslaması Şekil 4.6.'da görülebilir.



Şekil 7.6 Aktif stall ve aktif pitch kontrollü türbinlerde güç kontrolü için gerekli pala döndürme açılarının kıyaslaması (Burton vd., 2001)

Şekil 7.6.'da görüldüğü gibi, bu tasarımda güç kontrolü için gerekli pala döndürme açıları, aktif pitch kontrolüne göre oldukça düşüktür. Bu sayede türbin rüzgar hızındaki değişimlere daha hızlı yanıt verebilir. Ayrıca türbin nominal hızın üzerinde stall etkisine girmiş olacağından, ani rüzgarlara karşı hassasiyeti daha düşük olacaktır.

## 7.5 Rotor Hızına Göre Türbinlerin Sınıflandırılması

### 7.5.1 Sabit Hızlı Türbinler:

Sabit hızlı türbinler, sabit devirde dönerler ve sabit güç üretirler. Bu sistemin tasarımı ve uygulaması daha kolaydır. Şebeke bağlantılı pek çok rüzgar türbininde kullanılmıştır. Ancak sadece tek hızda döndükleri ve buna bağlı olarak sadece belirli bir rüzgar hızında ve civarında en verimli şekilde çalışmak üzere tasarlandıkları için bu nominal hızdan uzaklaştıkça verimleri düşer.

### 7.5.2 İki hızlı türbinler:

Bu türbinler iki farklı hızda çalışabilmektedir. Bu türbinlerde önceleri iki farklı jeneratör kullanılmakta iken artık tek jeneratör kullanılmaktadır. Bu jeneratörün kutup sayısı (4/6) değiştirilerek, jeneratörün senkron hızı (genellikle 1000/1500 dev/dk) ayarlanabilmektedir. İki hızlı türbinler, düşük hızlarda uç hız oranına göre ayarlama yaparak verimi yükseltmektedir. Fakat bu sistemler jeneratör kutupları arasındaki geçiş sırasında oluşabilecek akım yükselmesi gibi sorunlara karşı önlem almayı gerektirmektedir. İki hızlı türbinler, dünya genelinde en yaygın kullanılan sistemlerdir, çünkü sabit hızlı türbinler gibi daha basit mekanizmalardır ve onlara oranla enerji üretiminde artış sağlarlar.

### 7.5.3 Değişken Hızlı Türbinler:

Değişken hızlı rüzgar türbinlerinin temel avantajı, geniş bir rüzgar hızı aralığında optimum uç hız oranında çalışabilmeleri, böylece rotor verimliliğini yükseltip daha fazla enerji elde edilmesini sağlamalarıdır. Bu türbinler genel olarak, birlikte kullanıldıkları pitch sistemi ile birlikte nominal hızdan çok düşük hızlarda dahi yüksek verimlilikle çalışabilirler. Ayrıca bu türbinler, düşük rüzgar hızlarında ve düşük devirlerde çalıştıkları için gürültü konusunda da avantaj sağlarlar. Değişken hızlı türbinlerde daha farklı jeneratör kullanılması gerekmektedir. Ayrıca gelişmiş bir güç elektroniği uygulaması gerektirmektedir. Bunlar maliyeti yükseltmektedir. O yüzden büyük ölçekli santrallerin kurulmasında kullanılırlarsa optimum bir noktada bu türbinlerden faydalanılabilir.

## 7.6 Kullanım Yerine Göre Türbinlerin Sınıflandırılması

### 7.6.1 Şebeke Bağlantılı Rüzgar Türbinleri:

Rüzgar enerjisi çok kesintili bir enerji kaynağıdır. Bugün kullanılan modern rüzgar türbinlerinde olduğu gibi rüzgar enerjisi, elektrik enerjisine çevrilerek şebekeye verilmeden önce çeşitli kademelerden geçmektedir. Şebeke bağlantılı rüzgar türbinleri yüksek rüzgar hızlarında, yüksek devir sağlamak için 2-3 kanatlı yapılmaktadır. Su pompalamak için kurulan rüzgar türbinleri ise, çok kanatlı olduğu için düşük devir sağlamaktadır. Şebeke bağlantılı rüzgar santralleri küçük ölçekli ihtiyaçları karşılayabileceği gibi, belirli bir yerde çok sayıda şebekeye elektrik sağlamak amacıyla da kurulurlar. Günümüzün büyük güçlü rüzgar santralleri elektrik şebekesine bağlı ve birden fazla türbin içeren rüzgar çiftlikleri biçimindedir. Merkezi elektrik şebekesine elektrik veren rüzgar türbinleri, uygulamada en çok rastlanan sistemlerdir. Birbirine bağlanmış çok sayıda rüzgar türbini yerel dağıtım şebekesini

besler ve yerel tüketici firmalara da bu elektrik satılabilir. Bu tür rüzgar çiftliklerinden üretilen elektriğin kWh maliyeti 4-7 cent'e kadar düşürülebilir. Bunun dışında rüzgar türbinleri genel elektrik şebekesine bağlı olan meskenlere, işyerlerine ve çiftliklere elektrik vermek üzere tesis edilirler. Rüzgar gücünün düşük olduğu zamanlarda elektrik genel şebekeden satın alınır. Rüzgar türbinleri fazla güç ürettiğinde ise elektrik genel şebekeye verilir (Özgür, M.A., 2002).

Üretilen elektrik enerjisinin türbin çıkışından itibaren son kullanıcı olan tüketicilere ulaştırılmasında iletim hatlarına gereksinim duyulur. İletim hatlarının yanı sıra üretilen elektrik enerjisinin kullanıcılara iletimi sırasında trafolar sayesinde üretilen gerilimin yükseltilerek iletimi sağlanır. Bu sayede iletim esnasında oluşacak kayıplar en aza indirgenmiş olur. Tüketicilere gelindiğinde elektrik enerjisi tekrar trafolar sayesinde kullanılabilir seviye olan 220 V'a düşürülür. Bilindiği gibi iletim esnasında kullanılan trafolar, iletim hatları ve direkler birer maliyettir. İletim maliyetlerini en aza indirmek için rüzgar türbininin kurulduğu yerin elektrik sağlayacağı bölgeye uzak olmaması gerekir. Uzaklık iletim maliyeti ile doğru orantılı olarak artış göstermektedir. İletim esnasında kullanılan iletkenlerin kalitesi de maliyeti üzerinde rol oynamaktadır. Rüzgar türbinleri, çoğu gelişmiş ülkede basit sigortalı ayırıcılar ve her bir türbin için bir trafo ile şebekeye bağlanmakta ve başında eleman bulunmadan işletilebilmektedir. Türbinler için bilgisayarlı bir kontrol sistemi gerekmektedir. Arıza çıktığında uzaktan sinyal ile müdahale edilebilmektedir. Ülkemizde ise, trafoları, türbinleri ve bağlantı kablolarını korumak için kesici ve ayırıcı gibi ilave teçhizat ve kablo arızalarına karşı ring sisteminin kullanılması şart koşulmaktadır (Özgür, M.A., 2002)

### **7.6.2 Şebeke Bağlantısız Rüzgar Türbinleri:**

Bu tür rüzgar jeneratörleri genellikle üç kanatlı, transmisyon sistemi, DC jeneratör, yöneltici kuyruk ve fren sisteminden oluşmaktadır. Makine daha çok direk tipi kule üzerine yerleştirilir. Elde edilen DC elektrik akü ile depolanabilir. gösterilen, şebekeden bağımsız rüzgar elektrik sistemleri birkaç kW ile 100 kW arasında kullanılmakla birlikte, çoğunlukla 30 kW'ı aşmamaktadır. Şebekeden bağımsız büyük güçlü (10-100 kW) sistemler, yedek enerji kaynağı olarak diesel jeneratörlerle paralel çalıştırılmaktadır. Böyle bir sistemde diesel jeneratörün rüzgardan yararlanarak % 40-50 yakıt tasarrufu sağlaması amaçlanmaktadır. Rüzgar-Diesel sistemlerde DC/AC invertör kullanılarak tüketici AC ile beslenmektedir. Bu tür sistemler özellikle kırsal alanlarda ve enterkonnekte şebekeye uzak olan bölgelerde tercih sebebidir. Türbinden elde edilen elektrik çeşitli ünitelerden geçerek kullanıma sunulmaktadır. Rüzgarın

esmediği durumlarda ise yani türbin tarafından elektrik üretimi olmadığında; ak içerisinde depolanmış olan elektrik kullanıma sunulur. Türkiye’de özellikle 10 kW’dan küçük glerde rüzgar ve güneş enerjisinin beraber kullanıldığı elektrik sistemlerine bir talep olduğu ve bu tür sistemlerin piyasaya çıkarıldığı da görülmektedir. Bu sistemler DC karakterli ve akldrler. Ancak, pahalı olmaları yaygınlaşmalarını engellemektedir [zgr, M.A., 2002]

## 8. RÜZGAR TÜRBİNİ BİLEŞENLERİ



Şekil 8.1 Rüzgar türbini bileşenleri (Anonim, 2008-f)

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi türbin şu parçalardan oluşmaktadır.

1. Kanatlar
2. Rotor
3. Kanat döndürme mekanizması
4. Fren
5. Düşük hızlı şaft
6. Dişli kutusu
7. Jeneratör
8. Kontrol kutusu
9. Anemometre
10. Rüzgar gülü
11. Türbin kafa kısmı
12. Yüksek hız şaftı
13. Rota mekanizması
14. Rota motoru
15. Kule



Şimdi bu parçaları inceleyelim.

### **8.1 Kanatlar Ve Rotor:**

Kanatlar rüzgarı yakalar ve onun gücünü rotora aktarır. Rotor, gücü şaft vasıtasıyla dişli kutusuna, oradan da jeneratöre gönderen en dış birimdir. 600 KW'lık modern bir rüzgar türbininde her bir kanat 20 m (66 ft) uzunluğundadır ve bir uçak kanadının oldukça benzeri olarak dizayn edilmektedir.

Rüzgarın içerisinde barındırdığı kinetik enerji rüzgar türbinleri yardımıyla yararlı enerjiye çevrilmektedir. Bir rüzgar türbininden maksimum enerji üretimini sağlayabilmek çeşitli faktörlere bağlıdır. Bunlar rüzgar türbininin yüksekliği, rüzgar türbin kanadının süpürme alanı ve aerodinamik yapısı, hava yoğunluğu ve rüzgar hızı gibi faktörlerdir. Bu faktörlerin en önemlilerinden biri de rüzgar türbin kanadının aerodinamik yapısıdır. Rüzgar türbin kanadının aerodinamik yapısının önemi rüzgarın barındırdığı kinetik enerjinin maksimum %59'unun yararlı enerjiye dönüştürülebilir olmasından kaynaklanmaktadır. (Eker, B., Vardar A., 2003)

Kanat tasarımı, rüzgar türbininde çok önem arz etmektedir. Bu yüzden kanat tasarımı konusunda uzun süre çalışmalar yapılmıştır ve çeşitli kanat profilleri geliştirilmiştir. Türbinlerin verimlerinin artırılması için geliştirilen bu kanat profillerine üzerinde yoğun olarak teorik çalışmalar yapılan NACA (National Advisory Committee for Aeronautics) profilleri örnek olarak gösterilebilir. Bir yörede rüzgar türbini kurulacağı zaman, yörenin spesifik özelliklerine bakılarak bu kanat profillerinden uygun olan seçilmelidir. Seçilen kanadın önemli olduğu kadar, bu kanadın rotora bağlanma açısı da çok önemlidir. Büyük ölçekli türbinlerde kanatlar istenildiği gibi, verim optimum olacak şekilde ayarlanabilmektedir ancak küçük türbinlerde kanadın bağlama açısı uygun seçilmelidir.

Yapılan bir çalışmada NACA 4415 profili için uygun kanat açıları ve burulma açıları hesaplanmıştır. Rüzgar santrali amaçlı türbinlerden farklı olarak türbin kanat açılarının türbinin çalışması esnasında sürekli sabit olduğu göz önünde tutulmuştur. Rüzgar türbin kanatlarının burulma ve kanat açıları ve kanat sayılarını ortaya koymak en verimli kanat formunun seçimi açısından son derece önemlidir. Materyal olarak "balsa" kullanılarak NACA 4415 profilli 4 adet kanat yapılmıştır. Kanatlar için profil genişlikleri (chord) hesaplanmış ve uç profil genişliği 1,5 cm olarak bulunmuştur. Kök profil genişliği ise 3 cm olarak belirlenmiştir. 2, 3 ve 4 kanatlı olarak test edilmesi planlanan rotorların çapı ise 30 cm dir. Kanatlar 10 ve 20 derece burulma açısında yapılmıştır. Kanat açısı olarak, 10 derece burulma açısındaki kanatlarda 8-10-15 derece, 20 derece burulma açısındaki kanatlarda 10-15-18

derece seçilmiştir. Test sonuçlarına göre NACA 4415 profili kullanılarak işletme bazlı bir rüzgar türbini kurulması halinde kullanılacak rotorda verim açısından performansı en yüksek 10 derece burulma açılı ve 10 derece kanat açılı 2 kanatlı türbin uygun bulunmuştur. (Eker, B., Vardar A., 2002)

Kanat malzemesi olarak genellikle (GRP-Glass Reinforced Plastic), ağaç, haddelenmiş ağaç, karbon fiberiyle kuvvetlendirilmiş plastik (CFRP-Carbon Fibre Reinforced Plastic), çelik ve alüminyum kullanılmaktadır. (Walker ve Jenkins, 1997). Ağaçtan yapılan kanatçıklar çok iyi yorulma dayanımı vermektedir. Büyük türbinlerde kanatlar CFRP'den imal edilmektedir ancak maliyet fazladır. Çelik malzemede ise yorulma dayanımı düşüktür. Tokluk yüksektir ve ağırlık önemli bir sorun teşkil etmektedir. Günümüzde büyük türbinlerde GRP kullanılmaktadır.

Geleneksel sistemlerde, türbin rotorundaki dairesel hareket, aktarma elemanları yardımıyla jeneratör ile bağlantılı duruma getirilmektedir. Dişli kutusu, 30-60 d/dk. düşük devir sayısını, jeneratörün ihtiyaç duyduğu 1500 d/dk. mertebelerine yükseltir. Dişli sistemi, kavrama sistemine göre avantajlı sayılsa da direk sistemle karşılaştırıldığında daha karmaşık olduğu görülmektedir. Soğutma ve yağlama sistemleri gerektirmektedir.

Şekil 8.3'de görülen Direct Drive Sistemi, modern rüzgar türbinlerinde kullanılmaktadır. Bu sistem daha az dönel parça içerdiğinden mekanik gerilmelerde azalma sağlandığı gibi ekipmanların teknik ömrü de daha uzun olmaktadır. Ayrıca bakım ve servis maliyeti azalmakta, işletme maliyeti azaltılmaktadır. ( Anonim, 2008-g )

Bu sistemde rotor göbeği ve jeneratör direk bağlanmakta, arada karmaşık dişli mekanizmasına ihtiyaç duyulmamaktadır. Rotor ünitesi sabit mile takılır. Geleneksel türbinlerle karşılaştırılma yapıldığında, dişli sistemlerde gerek duyulan bir çok yataklama noktasına karşın, direk sistemde iki adet, yavaşça dönen rulmanlı yatak bulunmaktadır. Bunun nedeni, direk sistemde düşük hıza gereksinim duyulmasıdır. ( Anonim, 2008-g )

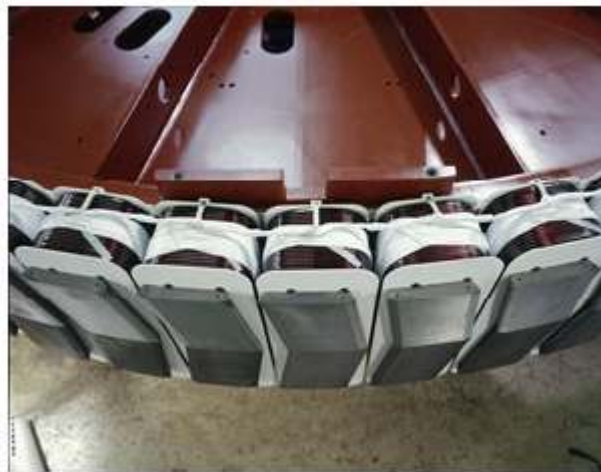
Direk sistemde en önemli parça dairesel jeneratör kısmıdır. Rotor göbeğiyle kombine çalışması, sürtünme kayıplarını en aza indirmekte, kesintisiz bir enerji akımı oluşturmaktadır.



Şekil 8.2 Modern bir Rotor göbeğinin iç yapısı (Enercon,2007)



Şekil 8.3 Direct drive sistemi (Enercon 2007)



Şekil 8.4 Direct Drive sistemli Enercon jeneratör (Enercon, 2007)

## 8.2 Kanat Döndürme Mekanizması (Pitch) :

Pitch kontrollü türbinlerde kanatlar, göbeğe sabit bir açı ile sabitlenmiş değildirler. Kanat, pitch kontrol mekanizması sayesinde rüzgar hızına göre eksenini etrafında döndürülebilmektedir. Bu türbinler, nominal hız üzerinde sabit güç üretimi sayesinde daha kaliteli bir güç çıkışı sağlamaktadırlar. Bu sistem ile bütün hızlarda kullanılarak elde edilen enerjinin artırılması sağlanabilir ya da sistemde aşınmayı azaltmak için sadece nominal hızın üzerinde güç kontrolü için kullanılabilir. Pitch kontrollü türbinlerden elde edilecek performans artışı temel olarak kullanılan pitch mekanizmalarının hızına ve hassasiyetine bağlıdır. Bu makineler sahip oldukları pitch sistemleri sebebiyle yüksek hızlarda yapısal sorunlara gebedirler. Ancak gelişen teknolojiyle bu sorunlar en aza indirilmektedir.

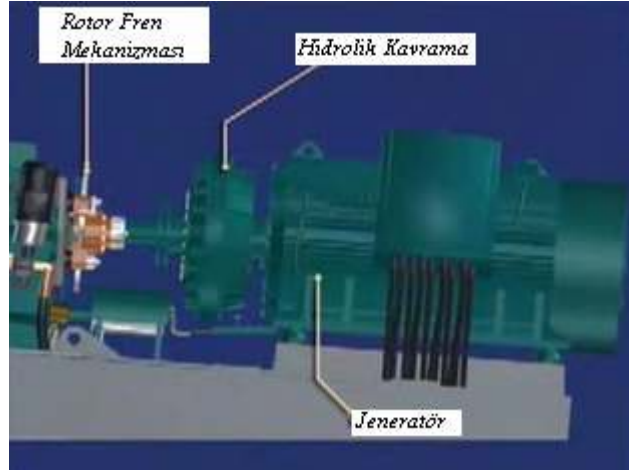


Şekil 8.5 Pitch Mekanizması (Bortolani, L., 2005)

## 8.3 Fren

Rüzgardan elde edilen enerji, rüzgar hızının küpü ile doğru orantılıdır. Dolayısıyla yüksek rüzgar hızlarında meydana gelebilecek kuvvetler tahmin edilebilir. Bu kuvvetleri kontrol altına alabilmek için fren sistemi kullanılmaktadır.

Özellikle fırtınalı havalarda rüzgara karşı küçük bir yüzey çıkarmak, hatta tesisten yararlanılmayacaksa tamamen durdurmak gerekir. Bu sonuçları elde etmek amacıyla çeşitli sistemler uygulanmaktadır. Bunlardan birisi de mekanik fren düzenidir. Mekanik fren, dişli kutusuna yerleştirilen bir diskten oluşmaktadır. Fren diski çelikten yapılır ve mil üzerine sabitlenir. Olabilecek arızalara karşı frenleme sistemini korumak için hidrolik yağ basıncı gerekmektedir. Hidrolik sistem türbinin aerodinamik frenlerini ayarlamak için kullanılır. Yağ basıncı olmadığında, fren blokları fren diskini sıkıştıracaktır. Frenleme, fren bloğu ile disk arasındaki sürtünmenin bir sonucudur (Güney vd., 2001).



Şekil 8.6 Fren mekanizması

#### 8.4 Düşük Hızlı Şaft:

Rüzgar türbinini, rotor bağlantı noktası yüksekliğinden dişli kutusuna bağlar. 600 KW'lık modern bir rüzgar türbin rotoru 19-30 dönüş /dakika (RPM) kadar nispeten yavaş döner. Şaft, aerodinamik frenleri işletebilecek hidrolik sistemleri borulara bağlar.

#### 8.5 Dişli Kutusu:

Solunda düşük hızlı şaft vardır. Düşük hızlı şafttan yaklaşık olarak 50 kat daha hızlı dönen yüksek hızlı şaft ise sağındadır. Rüzgar türbin rotorunun (pervanesinin) dönmesiyle elde edilen güç, ana şaft, dişli kutusu ve yüksek hız şaftından oluşan güç ünitesiyle jeneratöre aktarılır. Rüzgar türbin rotorundan elde edilen yavaş dönme hızı ve yüksek tork, dişli kutusuyla jeneratör için kullanılan yüksek hız, düşük tork gücüne dönüştürülür. Genellikle rotorun dönüşüyle jeneratör arasında, tek bir dişli oranı vardır.

#### 8.6 Jeneratör:

Rüzgar türbinlerinde mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmek için gerekli olan parçadır. Senkron ve asenkron olmak üzere iki türü kullanılır. Senkron jeneratörler şebeke frekansında çalışırlar. Şebekeden reaktif güç çekmezler. Fakat pahalıdırlar. Çalışmaya başlamaları için şebekeye bağlı olmaları gerekir. Asenkron jeneratörler basit ve ucuzdurlar. Şebeke frekansından biraz yüksek frekansta çalışırlar. Ancak şebekeden reaktif güç çekerler.

#### 8.7 Kontrol Kutusu:

Elektronik kontrolcü, rüzgar türbininin şartlarını sürekli olarak takip eden ve rota

mekanizmasını (yaw) kontrol eden bir bilgisayar bulundurur. Herhangi bir bozukluk ( dişli kutusu veya jeneratörün aşırı ısınması gibi ) durumunda türbini otomatik olarak durdurur ve türbin operatörü bilgisayara modem hattı ile çağrı mesajı gönderir.

### 8.8 Anemometre Ve Rüzgar Gülü:

Rüzgarın hızını ve yönünü ölçmek için kullanılırlar. Örneğin türbin devreye girme hızı 5 m/s olan, Kesme hızı 25 m/s olan bir türbinde, rüzgar hızı 5 m/s'ye eriştiğinde türbini harekete geçirmek için rüzgar türbininin elektronik kontrolcüsü tarafından anemometrenin gönderdiği elektronik sinyaller kullanılır. Eğer rüzgar hızı 25 m/s' yi aşarsa bilgisayar, türbini ve çevresindekileri korumak için rüzgar türbinini otomatik olarak durdurur. Rüzgar gülünden gelen sinyaller, rüzgar türbini elektronik kontrolcüsü tarafından alınarak, rota mekanizması (yaw) yardımıyla rüzgara karşı türbini döndürmek için kullanılır.



Şekil 8.7 Rüzgar gülü

### 8.9 Türbin Kafa Kısmı:

Rüzgar türbininin dişli kutusunu ve jeneratör dahil ana parçalarını içine alır. Servis personeli, kafa kısmına türbin kulesinden girebilir. Kafa kısmının solunda rüzgar türbin rotoru, rotor kanatları ve kanat bağlantı noktası bulunur.

### 8.10 Yüksek Hız Şaftı:

Yaklaşık 1.500 devir/dak. (RPM) ile döner ve elektrik jeneratörünü çalıştırır. Acil bir mekanik disk freni ile birlikte. Aerodinamik frenler kusurlu olduğu zaman veya türbin hizmette olduğu zaman mekanik fren devreye girer.

### 8.11 Rota Mekanizması Ve Motoru (Yaw):

Rota mekanizması, rüzgar vanasını (gülü) kullanarak rüzgar yönünü belirleyen elektronik kontrolcü tarafından işletilir. Rüzgardan azami derecede faydalanabilmek için kanatların yönü daima rüzgara dik olmalıdır. Rüzgar yönü değiştiği zaman rota mekanizması devreye girerek türbin kanatlarını en uygun duruma getirir. Bu genelde birkaç derecelik bir açı değişimi ile sağlanabilir. Bu rota motorunun döndürme etkisiyle olur. Bazen de, çok yüksek rüzgar hızlarında kanatların dönüşünün yavaşlaması hatta durması istenebilir. Bu gibi durumlarda rota mekanizması ters yönde çalıştırılabilir.

Yeni nesil türbinlerde yaw mekanizması hidolik fren sistemiyle birlikte takılmaktadır. Hidrolik fren rotor dönüşündeki pürüzleri düzelttiği gibi, rüzgara göre uygun konum yakalandığında rotoru sabitlemektedir.



Şekil 8.8 Yaw Mekanizması (Bortolani, L., 2005)

### 8.12 Kule:

Rüzgar türbininin kulesi, kafa kısmını ve rotoru üzerinde taşır. Genellikle kulenin yüksek olması bir avantajdır çünkü, rüzgar hızları yerden yükseldikçe artar. Ancak kule ağırlığının ve maliyetin artması kule yüksekliğini sınırlamaktadır. Rotor 3-26 ton, gövde 10-56 ton ve kule ağırlığı 12-88 ton arasında değişmektedir. Tipik olarak 600 KW'lık modern bir rüzgar türbininin kulesi 40-60 m yüksekliktedir ( bir 13-20 katlı bina yüksekliği kadar ). Kuleler ya tüp ya da kafes biçimindedir. Tüp biçimli kuleler çalışanlar için daha avantajlıdır, çünkü gerektiğinde bir merdivenle içerden türbinin tepesine çıkmak daha kolaydır. Kafes kulelerin avantajı esas olarak ucuz oluşlarıdır. (Anonim, 2008-f; Özgür, 2002)

## 9. KANAT(PALA) RÜZGAR İLİŞKİSİ

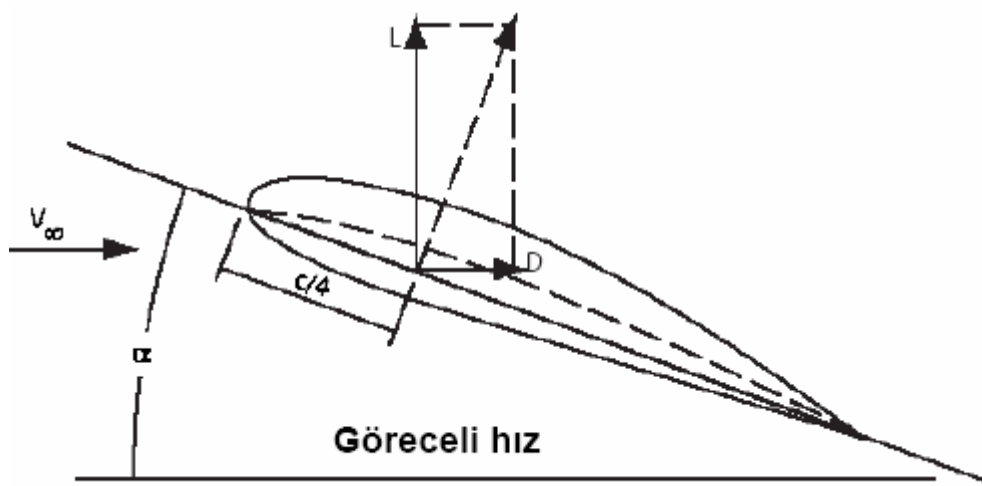
Kutta teoremine göre, V hızındaki bir akım içerisinde konmuş bir kanada , V hızına dik yönde

$$F = \rho \cdot V \cdot \Gamma \quad (9.1)$$

şiddetinde bir kuvvet etkimektedir. Buradaki tesir kuvveti iki bileşene ayrılmaktadır. Bunlardan akışa paralel olan kuvvet sürüklenme kuvveti (D), akışa dik olan kuvvet ise kaldırma kuvveti (L) olarak adlandırılır.

Kanat etrafındaki sirkülasyonu gösteren ifade ise aşağıdaki gibidir.

$$\Gamma = \frac{1}{2} \cdot c \cdot C_L \cdot V \quad (9.2)$$



Şekil 9.1 Rüzgar – Kanat profili ilişkisi

Şekilde gösterilen değerler aşağıda açıklanmıştır.

c : Viter uzunluğu ( Kiriş Uzunluğu)

L: Kaldırma kuvveti

D: İtme ( sürüklenme, direnç ) kuvveti

α: Hücüm açısı

### 9.1 Kaldırma Ve Sürüklenme Denklemleri:

Hava içinde hareket eden cisme, en büyük etkiyi, cismin yüzeyleri arasındaki basınç farkından kaynaklanan kuvvet meydana getirir. Bu kuvvet yanında, sürtünmeden meydana gelen kuvvetler ihmal edilebilir. Kaldırmanın meydana gelmesi için en büyük rolü basınç



kuvvetleri oynar. Hava içinde hareket eden bir cismin etrafındaki ortam basıncı, bir bileşke kuvvet meydana getirmez. Bu durumdan anlaşılır ki, hava içinde hareket eden bir cisme etkiyen kuvvetin kaynağı dinamik basınçtır. Dinamik basıncın tesirini anlamamız için otomobilde giderken elimizi camdan dışarı çıkarmamız yeterlidir.

Kaldırma kuvvetinin sürüklenme kuvvetine oranı olarak tarif edilen "L/D" profilin verimliliğinin bir ölçüsü olarak kabul edilir. Yapılan deneyler sonucu görülmüştür ki, hava içerisinde hareket eden bir cisme aşağıda sıralanan değişkenler etkimektedir. Cisim üzerinde meydana gelen kuvvetler bu değişkenlerin fonksiyonudur. Bu değişkenlerden, etkisi ihmal edilemeyecek olanlar aşağıda açıklandığı gibi kabul edilebilir.

1. Havanın yoğunluğu
2. Serbest hava akış hızı
3. Havanın ses hızı
4. Havanın viskozitesi
5. Cisim geometrisi
6. Cisim alanı
7. Cismin yüzey pürüzlülüğü
8. Hücum açısı

Bu değişkenler göz önünde bulundurularak kaldırma, sürüklenme ve moment denklemleri çıkarılabilir. Kuvvet ve moment denklemlerini çıkarmak için boyut analizi yöntemi kullanılabilir.

Hava içerisinde hareket eden kanada etkiyen toplam aerodinamik kuvvet  $\rho, \alpha, \mu, V, S, V_a$  ile cismin geometrisi ve yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır. Burada son iki değişkenin etkisi ihmal edilecektir. Bir kanadı etkileyen kuvvet aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$F = (\rho, \alpha, \mu, V, S, V_a) \quad (9.3)$$

Boyutsal homojenliği korumak için, bu parametrelerin üslü veya köklü şekilde çarpım durumunda olmaları gerekir. Bu durumda ifade aşağıdaki halde yazılır.

$$F = K. (V^a, \rho^b, S^c, V_a^d, \mu^e) \quad (9.4)$$

Bu ifadede a, b, c, d, e ve K bilinmeyen sabitlerdir.  $\alpha$ 'nın boyutu olmadığı için etkisi K içinde kabul edilir. Yukarıdaki ifadeyi MLT sistemi ile analiz edersek;

$$[MLT^{-2}] = K. [LT^{-1}]^a . [ML^{-3}]^b . [L^2]^c . [LT^{-1}]^d . [ML^{-1}T^{-1}]^e \quad (9.5)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifadenin her iki tarafı boyutsal açıdan özdeştir. Üstel olarak denklik sağlanmalıdır.

$$M \text{ için,} \quad 1 = b + e \quad (9.6)$$

$$L \text{ için,} \quad 1 = a - 3b + 2c + d - e \quad (9.7)$$

$$T \text{ için,} \quad -2 = -a - d - e \quad (9.8)$$

Şeklinde yazılmalıdır. Beş bilinmeyene karşın üç denklem mevcuttur. Diğerlerine göre daha az önemli olan  $V^a$  ile  $\mu$  diğerleri cinsinden yazılırsa;

$$a = 2 - d - e \quad (9.9)$$

$$b = 1 - e \quad (9.10)$$

$$c = 1 - e/2 \quad (9.11)$$

bulunur.

Böylece kanadı etkileyen kuvvet denklemi:

$$F = K. (V)^{2-d-e}. (\rho)^{1-e}. (S)^{1-(e/2)}. (V_a)^d. (\mu)^e \quad (9.12)$$

şeklinde yazılabilir. Benzer üslü büyüklükleri toplarsak;

$$F = K. \rho. S. V^2. \left(\frac{V_a}{V}\right)^d. \left(\frac{\mu}{\rho.V.S^{1/2}}\right)^e \quad (9.13)$$

neticesini buluruz. Boyutsal olarak  $S^{1/2}$ , uzunluk boyutuna eşdeğerdir. Bu sebeple  $S^{1/2}$ , yi doğrusal bir boyut olan “d” ile değiştirmek mümkündür. Bu suretle,

$$F = K. \rho. S. V^2. \left(\frac{V_a}{V}\right)^d. \left(\frac{\mu}{\rho.V.d}\right)^e \quad (9.14)$$

ifadesi elde edilir.

$$\frac{V_a}{V} = \frac{1}{M} = \frac{1}{Mach} \quad (9.15)$$

$$\frac{\mu}{\rho.V.d} = \frac{1}{R_N} = \frac{1}{Reynold} \quad (9.16)$$

olduğundan

$$F = K. \rho. S. V^2 . \left(\frac{1}{M}\right)^d . \left(\frac{1}{R_N}\right)^e \quad (9.17)$$

ifadesi elde edilir.

Bu ifade şu şekilde tanımlanabilir.

$F = \text{sabit} \cdot \text{dinamik basınç} \cdot \text{referans alan}$

Sabit çarpan boyutuz olduğu için

$$c = K. 2 . \left(\frac{1}{M}\right)^d . \left(\frac{1}{R_N}\right)^e \quad (9.18)$$

şeklinde yazılabilir.

Bu sabit sayılar taşıma ve sürüklenme kuvvetleri için ayrı notasyonlarla ifade edilirse genel aerodinamik kuvvet ifadeleri;

$$\text{Kaldırma kuvveti ( L )} = C_L . \frac{1}{2} . \rho . S . V^2 \quad (9.19)$$

$$\frac{C_L}{2} = K. \left(\frac{1}{M}\right)^d . \left(\frac{1}{R_N}\right)^e \quad (9.20)$$

$$\text{Sürüklenme kuvveti ( D )} = C_D . \frac{1}{2} . \rho . S . V^2 \quad (9.21)$$

$$\frac{C_D}{2} = K. \left(\frac{1}{M}\right)^d . \left(\frac{1}{R_N}\right)^e \quad (9.22)$$

Sonuç olarak;

Kaldırma kuvveti için

$$L = C_L . q . S = C_L . \frac{1}{2} . \rho . S . V^2 \quad (9.23)$$

Sürüklenme kuvveti için,

$$D = C_D . q . S = C_D . \frac{1}{2} . \rho . S . V^2 \text{ yazılabilir.} \quad (9.24)$$

Burada 'S' kanadın karakteristik yüzeyine karşı gelmektedir. S yüzeyi olarak kanat izdüşüm alanı alınır.



Şekil 9.2 Kanat profili kesiti

$$S = b \cdot c \text{ olur.} \quad (9.25)$$

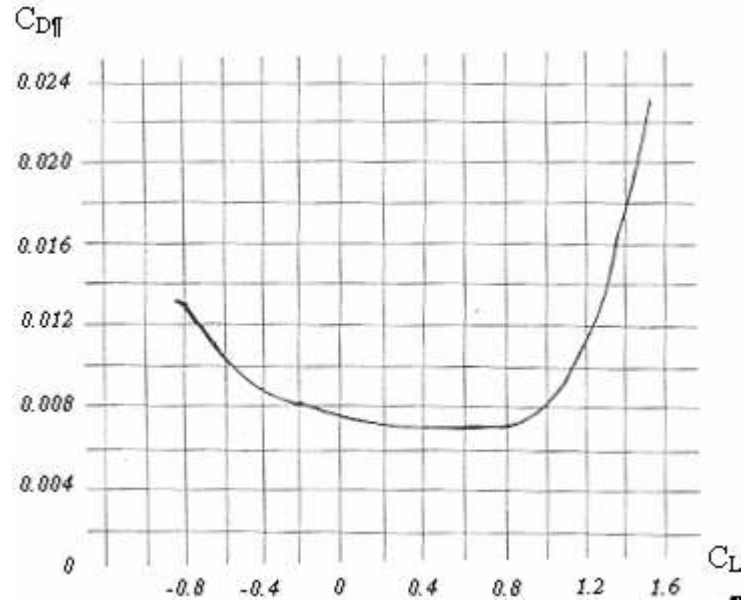
$C_L$  ve  $C_D$  boyutsuz kaldırma ve direnç katsayılarını göstermektedir. Bu katsayılar belirli bir kanat formu için  $Re$  sayısı ve pürüzlülüğün birer fonksiyonudur. Bu katsayılar pürüzsüz ve belirli bir kanat formu için hücum açısı ve  $Re$  sayısının birer fonksiyonu olarak kabul edilebilir.

$$C_L = f ( Re, \alpha ) \quad (9.26)$$

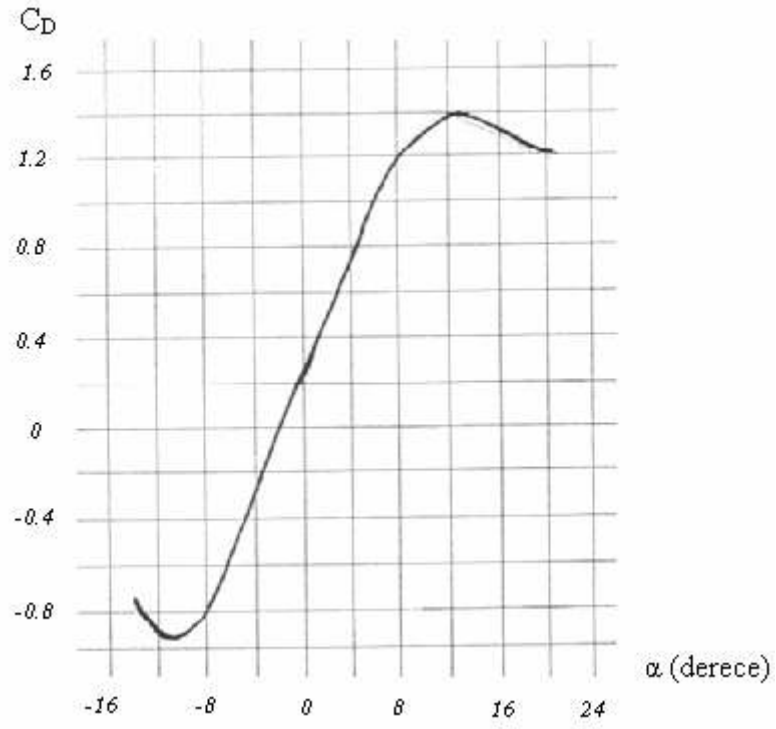
$$C_D = f ( Re, \alpha ) \quad (9.27)$$

Kanada ters yönde direnç uygulayan  $D$  kuvvetinin küçük olması istenir.  $D/L$  ile  $C_D/C_L$  oranı verimliliğin bir göstergesidir. Bu oran ne kadar küçükse kanat o kadar verimli kabul edilir. Az bir dirençle büyük bir kaldırma elde edilmesi anlamına gelir.

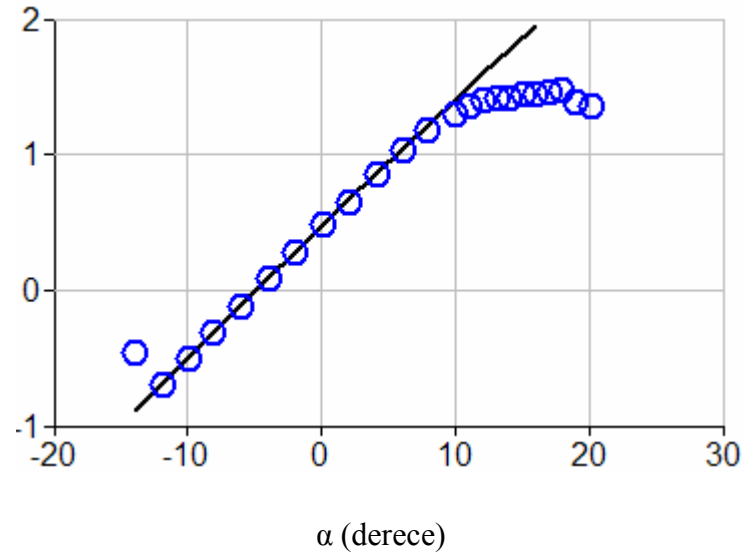
Aşağıda diğer gelişmiş kanat profil türlerine göre daha kolay imal edilebilecek NACA 4415 profiline ait direnç katsayı grafikleri verilmiştir.



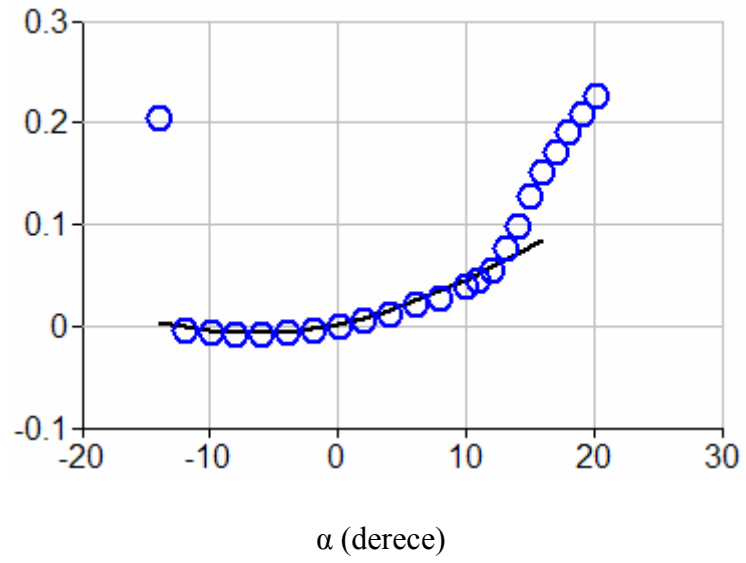
Şekil 9.3 NACA 4415 Profili  $C_D - C_L$  Eğrisi



Şekil 9.4 NACA 4415 Profili  $C_D - \alpha$  Eğrisi



Şekil 9.5 Kaldırma katsayısının  $\alpha$  ile değişimi (SymLab Programı)



Şekil 9.6 Direnç katsayısının  $\alpha$  ile değişimi (SymLab Programı)

Çizelge 9.1 Çeşitli NACA profillerine ait  $\alpha$  ile kaldırma ve direnç katsayılarının değişimi

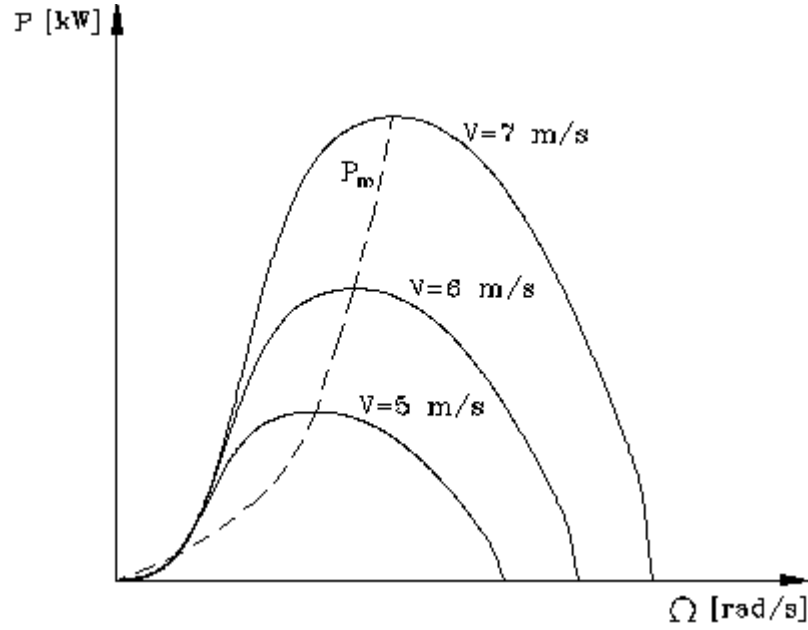
Profil	$\alpha$	$C_L$	$C_D$
Naca 23012	-2	0.0	0.006
	8	0.872	0.010
	20	1.210	0.190
Naca 23015	-2	-0.001	0.007
	8	0.898	0.010
	20	1.270	0.167
Naca 4412	-4	0.003	0.008
	8	1.135	0.014
	20	1.504	0.164
Naca 4415	-4	-0.038	0.075
	8	1.102	0.116
	20	1.304	0.121
Naca 0012	25	0.835	0.445
	75	0.567	2.006
	150	-0.976	0.689
Naca Fx 60-120	-4	0.102	0.007
	8	1.364	0.013
	20	1.297	0.012
Naca Fx 60-184	-4	0.019	0.008
	8	1.262	0.012
	20	1.300	0.012

## 9.2 Rüzgar Türbinlerinin Karakteristikleri

### 9.2.1 $\Lambda$ ( Uç Hız Oranı ) :

Kanadın ucundaki çevresel hızın, rüzgar hızına oranı olarak tarif edilir.

Rüzgar türbini dizaynında öncelikle pervane hızının güç üretimi üzerindeki etkisini incelemek gerekir. Belli bir rüzgar hızında pervanenin rüzgardan çekebileceği gücün pervanenin dönme hızına bağlı değişimini gösteren grafik şekil.9.7'deki gibidir.



Şekil 9.7 Rüzgar Türbini pervanesinde gücün hıza bağlı değişimi (Ena, 2007)

Buradaki her bir eğri farklı rüzgar hızlarına aittir. Görüldüğü gibi rüzgar hızı sabit iken maksimum güç, sadece belli bir açısal hızda elde edilebilmektedir. Rüzgar hızı arttıkça maksimum güç noktasına tekabül eden açısal hız da artmaktadır. Söz konusu P-Ω grafiğinde her rüzgar hızı için maksimum güç noktalarını birleştiren bir P<sub>m</sub> eğrisini çizmek mümkündür. Bu durumda pervaneden en iyi aerodinamik verimi alabilmek için pervanenin P<sub>m</sub> eğrisini takip edecek şekilde çalıştırılması gerekir.

Şekil.9.7'de her bir rüzgar hızı için çizilen eğrileri tek bir eğri ile ifade edebilmek için güç (P) ve açısal hız (Ω) parametrelerini boyutsuzlaştırıp, güç yerine 'güç katsayısı' (C<sub>P</sub>), açısal hız yerine de 'uç hız oranı' (λ) parametrelerini kullanmak gerekir. Böylece P-Ω eğrileri basitleştirilerek şekil 9.9'deki tek bir C<sub>P</sub> - λ eğrisine dönüştürülebilir.

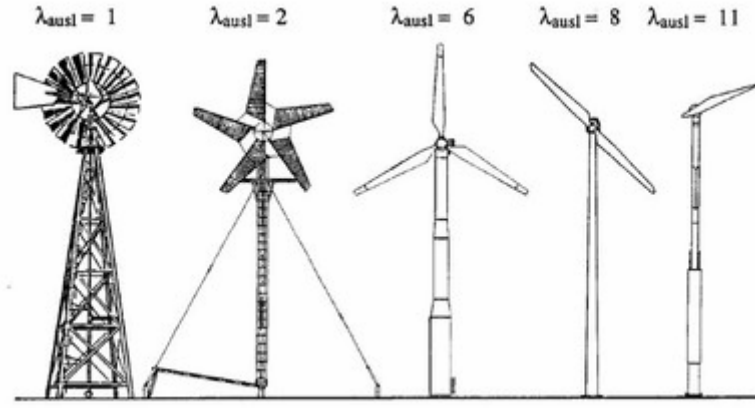
$$\lambda = \frac{R\Omega}{V} \quad (9.28)$$

R : Kanat süpürme alanının yarıçapı

Ω : Rotorun açısal hızı ( 2πn ) (1/s)

V : Rüzgar hızı ( m/s)





Şekil 9.8 Uç Hız Oranı – Kanat Sayısı İlişkisi (Johnson, Gary L, 2001)

### 9.2.2 $C_p$ ( Güç Katsayısı ) :

Rotor gücünün, rüzgardan elde edilebilecek güce oranı şeklinde tanımlanır.

$$C_p = P_R / P \quad (9.29)$$

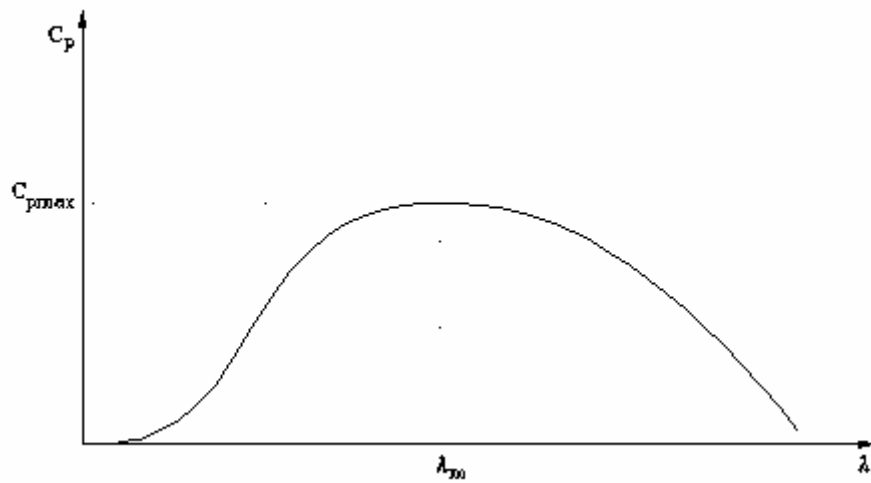
$P_R = C_p \cdot P = C_p \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3 = C_p \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot V^3$  buradan R çekilecek olursa

$$R = [ 2P_R / (\rho \cdot \pi \cdot V^3 \cdot C_p) ]^{1/2} \quad (9.30)$$

$P_R$  : Rotordan elde edilen güç ( W, kW )

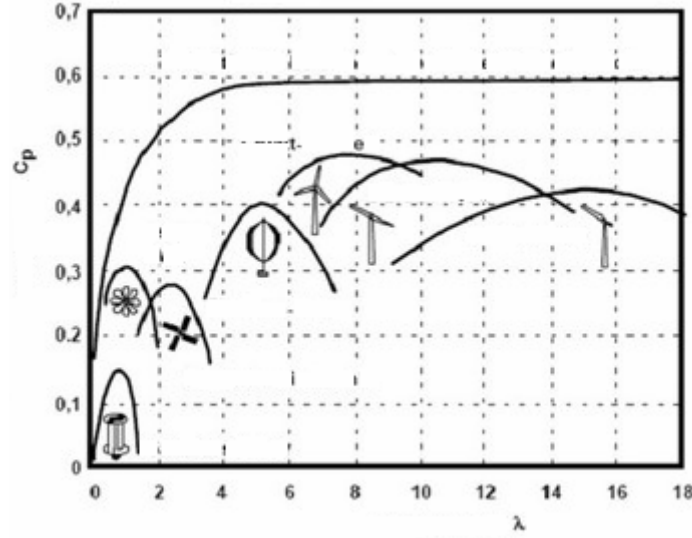
$P$  : Rüzgar gücü ( W, kW )

$A$  : Rotor kanadının süpürdüğü alan



Şekil 9.9 Rüzgar Türbini pervanesinde aerodinamik verimin uç hız oranına bağlı değişimi (Ena, 2007)

Şekil 9.9'deki maksimum  $C_p$  noktası, şekil 9.7'deki tüm maksimum güç noktalarını birleştiren  $P_m$  eğrisini temsil etmektedir. Bu durumda maksimum verim bölgesinde hız kontrolü için uygulanacak temel kural “pervanenin, maksimum  $C_p$  noktasına karşılık gelen  $\lambda_m$  uç hız oranını koruyacak şekilde işletilmesi” olarak özetlenebilir.  $\lambda_m$  değeri ise tamamen pervanenin aerodinamik tasarımına bağlıdır. Bir fikir verebilmek amacıyla, aerodinamik kaldırma prensibiyle çalışan modern türbinlerde bu değer genellikle 6-8 arasında değiştiğini söylemek mümkündür.



Şekil 9.10 Güç katsayısının uç hız oranına göre değişimi (Johnson, Gary L, 2001)

### 9.2.3 $\sigma$ ( Katılık Oranı ) :

Rotor kanatlarının kapladığı alanın, Kanatların süpürdüğü alanın tamamına oranı olarak tanımlanır.

$$\sigma = A / A \quad (9.31)$$

$\tilde{A}$  : Rotor kanatlarının kapladığı alan

A : Rotor kanatlarının süpürdüğü alan

Belli bir katılık oranı için, pala sayısı ne kadar az olursa bir palaya ait kesit alan değeri o kadar artacağından palanın dayanımı da artacaktır. Yapısal dayanım açısından pala sayısının mümkün olduğunca az seçilmesi iyidir. Belli bir katılık oranı için pervanedeki pala sayısının az olması oluşan gerilmeler açısından avantaj sağlamaktadır.

Dinamik eşlemeyi sağlayabilmek için pervanedeki pala sayısı azaldıkça daha yüksek uç hız oranlarında çalışmak gerekir. Dolayısıyla pervane milinde yüksek hızlar elde edebilmek için pervanede olabildiğince az sayıda pala kullanılır.

Pala sayısı arttıkça aerodinamik verim de artar. Pala sayısının bir adetten ikiye çıkması aerodinamik verimin %6 artmasına neden olurken bu sayının ikiden üçe çıkması verimde %3'lük ek bir artış daha getirir. Pala sayısının daha fazla artırılması pala rijitliğinde önemli miktarda azalmaya neden olurken kazanılan verim artışı oldukça azdır.

Rüzgar türbini tasarımcıları tarafından kullanılmaya başlanan bir başka optimizasyon kriteri ise “ minimum enerji maliyeti ” dir. Bu kritere göre yapılacak olan optimizasyon işlemi disiplinler arası bir çalışmayı gerektirmektedir. Söz konusu çalışmada bir aerodinamik model, palalar için yapısal bir model, palaların maliyet modelleri, türbine ait ana komponentler göz önüne alınır ve her üç optimizasyon kriteri birlikte kullanılır. Minimum enerji maliyetine göre yapılan optimizasyon düşük pervane katılık oranı ile yüksek pervane hızlarına doğru bir eğilimi doğurmaktadır. Fakat bu büyüklükler maksimum yıllık enerji üretimi ve gürültü parametreleri tarafından sınırlandırılırlar.

#### 9.2.4 $P_f$ ( Faydalı Güç ) :

Sistemden elde edilen güç, faydalı olarak tanımlanır.

$$P_f = \eta_t \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (9.32)$$

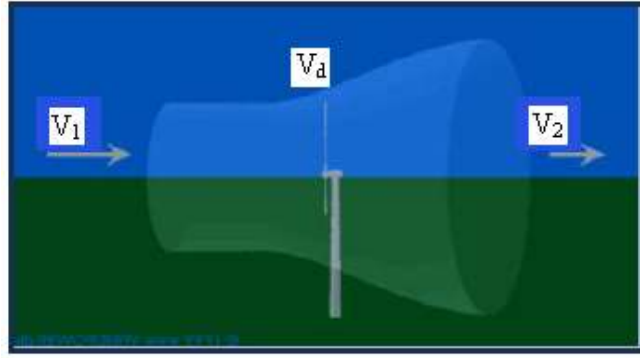
$\eta_t$  : Sistemin toplam verimidir.

Pratikte bir rüzgar enerji türbininin faydalı gücü aşağıdaki şekilde kabaca tahmin edilebilir.

$$P_f = (0.1-0.3) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (9.33)$$

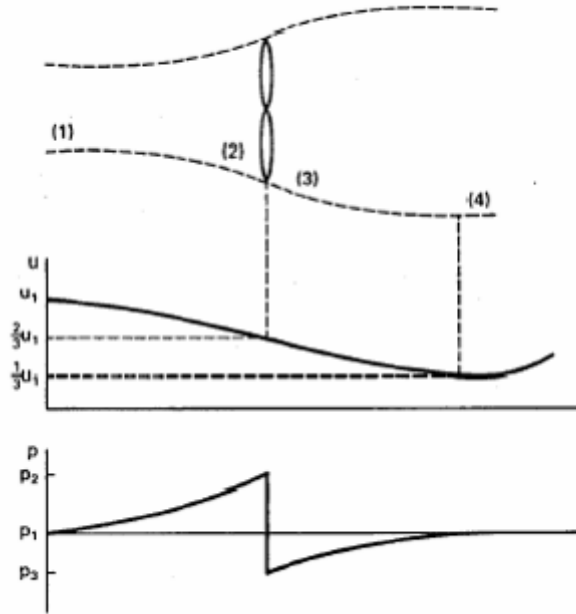
### 9.3 Rüzgar Türbinin Aerodinamik Verimi

Rüzgar türbininin aerodinamik verimi LANCHESTER – BETZ LİMİTİ ile sınırlıdır. Betz teoremi enerjinin, çizgisel momentum ve kütleinin korunumu kanunlarından türetilebilir. Hesabının basitliği açısından tek boyutlu akım hali için bu kanunlar uygulanmıştır.



Şekil 9.11 Kanat ön ve arka bölgelerinde hız değişimi

Rüzgarın akış yönüne dik, herhangi bir A alanı içinden  $V_1$  hızıyla geçen hava kanat bölgesinden  $V_d$  hızıyla geçerek, kanadın arkasında  $V_2$  hızına ulaşır.



Şekil 9.12 Rotor önünde ve arkasında hız ve basıncın değişimi

Şekil 9.11'deki 1 bölgesinde A kesit alanından geçen rüzgarın, önünde kanat olmadan taşıdığı enerji P olsun.

$$P = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V_1^2 \text{ (Watt)} \quad (9.34)$$

$m$  : kütleli debi

$V_1$  : Serbest alandaki rüzgar hızı

$$m = \rho \cdot A \cdot V_1 \text{ (kg/s)} \quad (9.35)$$

Rüzgarın getirdiği güç ;

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V_1 \cdot V_1^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V_1^3 \text{ ( Watt )} \quad (9.36)$$

Buradan anlaşılmaktadır ki, hız arttıkça rüzgardan elde edilen güç kübüyle doğru orantılı olarak artmaktadır. Ayrıca rüzgarın geçtiği kesit alan  $\pi \cdot r^2$  olduğundan, kanadın süpürme alanının yarıçapıyla doğru orantılıdır.

Kanat süpürme alanına dik doğrultuda oluşan kuvvet, Newton'un 2. kanunundan yararlanılarak bulunabilir.

$$F = m \cdot (V_1 - V_2) \text{ ( N )} \quad (9.37)$$

olup rotor üzerinde birim zamanda yapılan iş (  $N_r$  ) :

$$P_r = F \cdot V_d = m \cdot (V_1 - V_2) \cdot V_d \text{ ( Watt )} \quad (9.38)$$

$$m = \rho \cdot A \cdot V_d \text{ ( kg/s )} \quad (9.39)$$

$m$  : rotorlu durumdaki kütleli debidir.

$V_d$  : kanat arkasındaki rüzgar hızıdır.

İş – Enerji prensibine göre, birim zamandaki kinetik enerji değişimi rotor üzerinde birim zamanda yapılan işe eşittir.

$$m \cdot (V_1 - V_2) \cdot V_d = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (V_1^2 - V_2^2) \quad (9.40)$$

$$V_d = (V_1 + V_2) / 2 \text{ ( m/s )} \quad (9.41)$$

Yani rotor düzlemindeki akım hızı, rotora yaklaşan ve rotordan uzaklaşan akımların hızlarının ortalamasıdır.

$$P_r = F \cdot V_d \quad (9.42)$$

$$P_r = m \cdot (V_1 - V_2) \cdot V_d \quad (9.43)$$

$$P_r = m \cdot (V_1 - V_2) \cdot (V_1 + V_2) / 2 = \rho \cdot A \cdot (V_1 + V_2) / 2 \cdot (V_1 - V_2) \cdot (V_1 + V_2) / 2 \quad (9.44)$$

$$P_r = \rho \cdot A / 4 \cdot (V_1 + V_2) \cdot (V_1^2 - V_2^2) \quad (9.45)$$

Bu güç fonksiyonunun maksimum değeri uygulamada çok önemli olmaktadır. Bu değere göre maksimum verim tahmin edilmektedir. Burada güç ifadesinin  $V_2$  hızına göre türevini alırsak;

$$\frac{dPr}{dV_2} = (\rho \cdot A / 4) \cdot (V_1^2 - 2 \cdot V_1 \cdot V_2 - 3 \cdot V_2^2) = 0 \quad (9.46)$$

$V_1^2 - 2 \cdot V_1 \cdot V_2 - 3 \cdot V_2^2$  ifadesi  $V_2$ ' ye göre ikinci dereceden bir denklem olup, bu denklemin kökleri ;  $(V_1 - 3 \cdot V_2) \cdot (V_1 + V_2) = 0$  olup, buradan gerçek kök

$$V_2 = V_1 / 3 \quad (9.47)$$

bulunur.

$$Pr_{maks} = (\rho \cdot A / 4) \cdot \left( V_1 + \frac{V_1}{3} \right) \cdot \left( V_1^2 - \left( \frac{V_1}{3} \right)^2 \right) \quad (9.48)$$

$$Pr_{maks} = \rho \cdot \frac{A}{4} \cdot 4 \cdot \frac{V_1}{3} \cdot 8 \cdot \frac{V_1^2}{9} \quad (9.49)$$

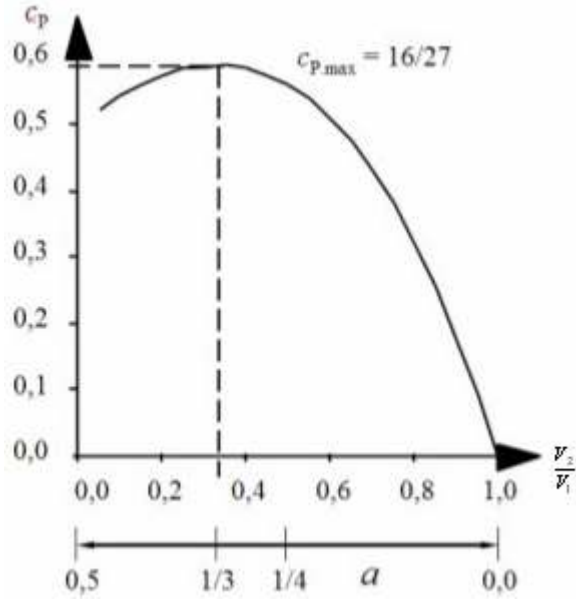
$$Pr_{maks} = \frac{8}{27} \cdot \rho \cdot A \cdot V_1^3 \text{ ( Watt)} \quad (9.50)$$

olarak bulunur. ( Çöten, A.,1990 )

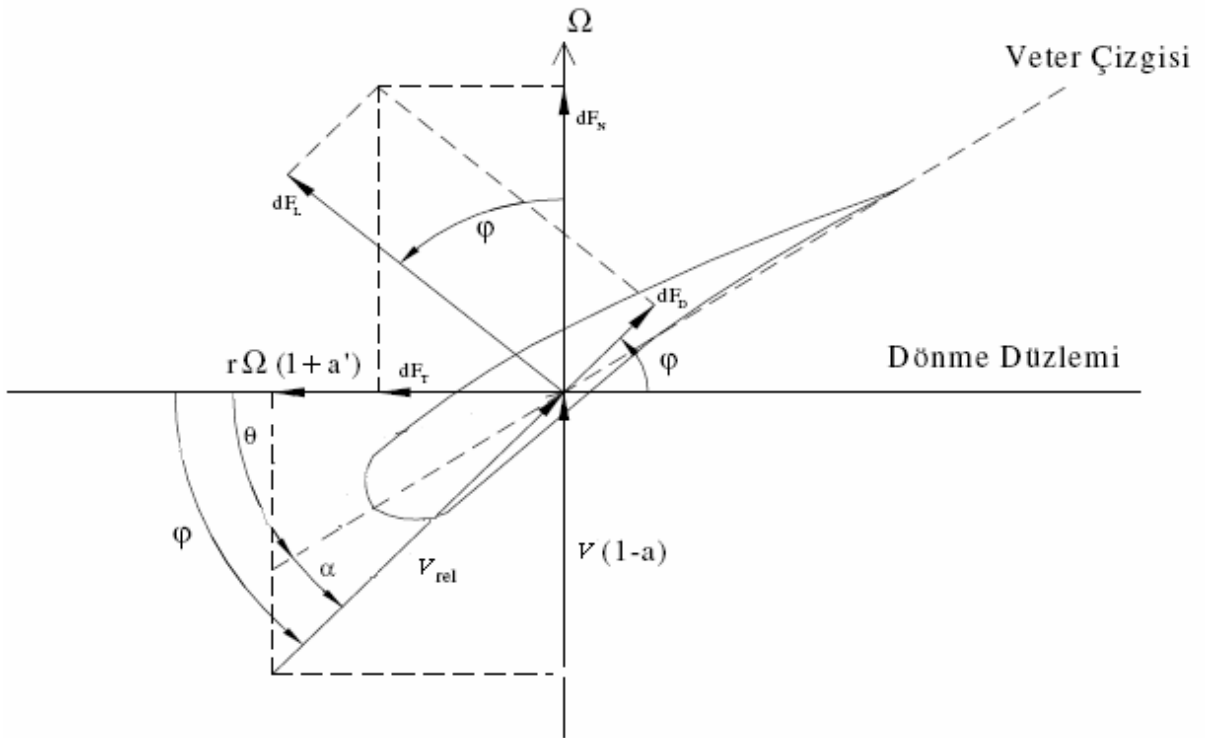
$$Cp_{maks} = \frac{Pr_{maks}}{P} = \frac{8/27 \cdot \rho \cdot A \cdot V_1^3}{1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot V_1^3} = \frac{16}{27} \quad (9.51)$$

$$Cp_{maks} = 0,593 \quad (9.52)$$

İdeal koşullarda güç katsayısının alacağı maksimum değer % 59,3 olmaktadır. ( Taylor, 1995 ). Buna Betz Limiti denmektedir. Bu denklemden anlaşılacağı üzere rüzgar türbini havada bulunan rüzgar enerjisinin ancak % 59'unu kullanabilmektedir. Pratikte ise güç katsayısı 0,35-0,50 arasında olmakta, 0,5'i geçmemektedir.



Şekil 9.13 Hız oranı güç katsayısı ilişkisi (Johnson, Gary L, 2001)



Şekil 9.14 Yatay eksenli bir türbinin analizi için pala geometrisi ve hız- kuvvet diyagramı (Manwell vd., 2002)

Kutta – Jukowski teoremine göre, bir kaldırma meydana gelebilmesi için, bir akış ve de bir sirkülasyona ihtiyaç vardır. Betz teoreminde kanat bölgesi bir disk şeklinde kabul edilerek işlem yapılmıştır. Gerçek kanat geometrisi ise radyal aralıklarla yerleştirilmiş rijit kanatçıklardır.

Şekil 9.21’de dr şeklinde alınan bir kanat elemanı üzerindeki görülmektedir.

hız – kuvvet diyagramı

Burada :

a Eksenel indüksiyon katsayısı

á Radyal indüksiyon katsayısı

V<sub>rel</sub> Bağlı Hız

φ Dönme düzlemi ile bağlı hız arasındaki açı

θ Kanat açısı

α Hücum açısı

$$V_{rel} = \left[ [r \cdot \Omega (1 + a')]^2 + [V(1 + a)]^2 \right]^{1/2} \quad (9.53)$$

$$\phi = \arctg \frac{V(1 - a)}{r \cdot \Omega (1 + a')} \quad (9.54)$$

Hava akımının kanat profiline etkisi, kaldırma (L) ve sürüklenme (D) kuvvetleri şeklinde kendini gösterir. Bu kuvvetlerin bileşkesi, dönme düzlemine dik dF<sub>n</sub> ( normal) ve paralel dF<sub>t</sub> (teğetsel) olarak ayrıştırılabilir. dr kanat elemanı için;

$$dL = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{rel}^2 \cdot C_L(\alpha) \cdot c \cdot Dr \quad (9.55)$$

$$dD = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{rel}^2 \cdot C_D(\alpha) \cdot c \cdot Dr \quad (9.56)$$

şeklinde yazılabilir. Burada C<sub>L</sub> ve C<sub>D</sub> hücum açısına bağlıdır.

$$dF_t = dL \cdot \sin \phi - dD \cdot \cos \phi \quad (9.57)$$

$$dF_n = dL \cdot \cos \phi + dD \cdot \sin \phi \quad (9.58)$$

Döndürme momenti oluşturan kuvvet F<sub>t</sub> kuvvetidir.



## 10. KANAT TASARIMI

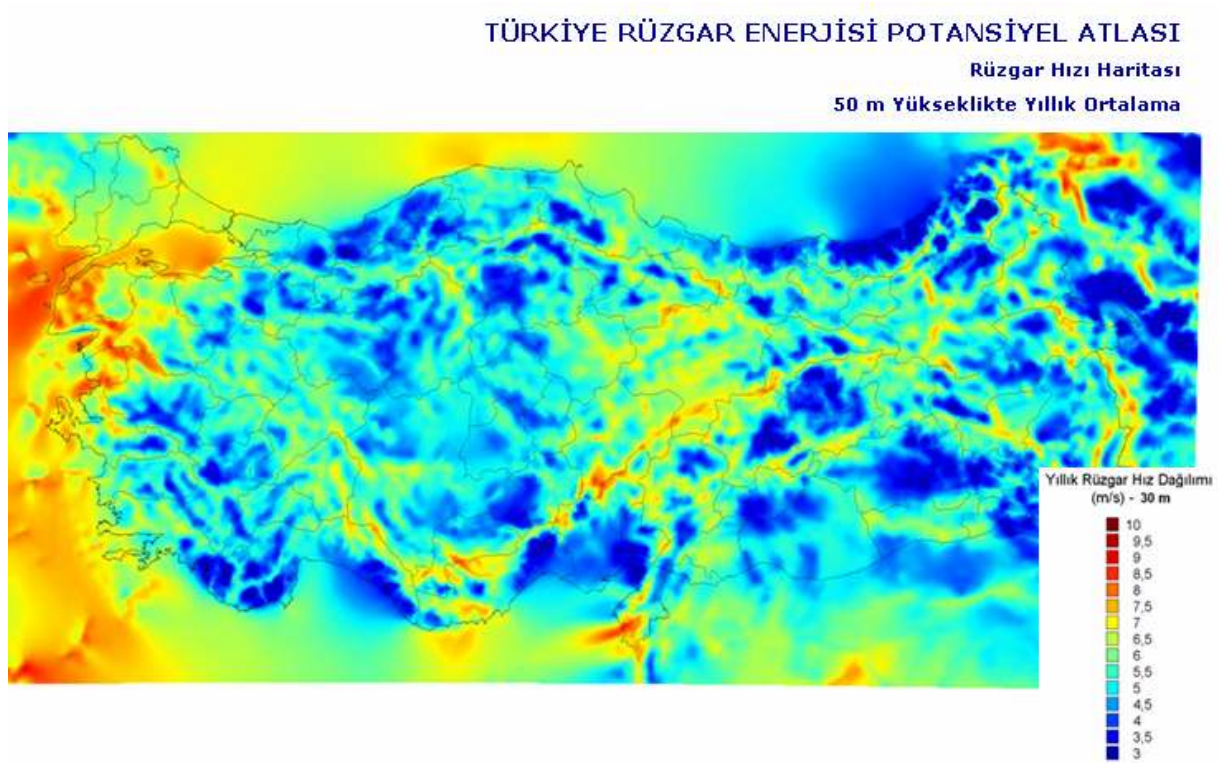
### 10.1 Yer Seçimi

Seçilen sahada rüzgar enerji santrali kurmak fiziksel, çevresel, teknik ve yasal açılardan mümkün olmayabilir. Bu nedenle şu kriterler dikkate alınmalıdır:

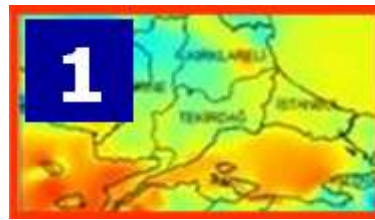
- Sahaya ulaşım kolaylığı
- Enerji nakil hatlarının ve trafo merkezlerinin güç kapasitesi
- Üretilecek enerjinin nakli için trafo merkezlerine olan uzaklık
- Sahanın yol ve diğer çalışmalar için işlenme kolaylığı
- Arazinin eğimi
- Sahanın alansal olarak yeterliliği
- Sahada arazi kullanım şekli ve mülkiyeti
- Sahanın bitki örtüsü
- Sahanın hakim rüzgar yönüne göre durumu
- Sahanın yerleşim birimlerine olan uzaklığı
- Sahanın imar durumu
- Sahanın askeri ve sivil radar ve benzer tesislere olan yakınlığı
- Sahanın sit, milli park, orman arazisi veya diğer kapsamda olup olmadığı
- Sahanın doğal yaşam etkinlikleri ve ekolojik açıdan önemi
- Sahanın jeolojik yapısı
- Yeraltı su kaynaklarının analizi
- Yakın civarda yaşayanların rüzgar santrallerine bakış açısı
- Sahanın buzlanma, yağmur, yıldırım ve atmosferik kararlılık durumları
- GSM kapsama alanının tespiti
- Yasal yükümlülükler
- Yerel elektrik dağıtım şirketi ile yapılacak görüşmelerin sonuçları

Yer seçimi için iki bölge belirlenmiştir. Birinci bölge Tekirdağ Muratlı ilçesinde, fabrikanın bulunduğu alanın bahçesidir. Buraya inşa edilen rüzgar türbinleri vasıtası ile fabrikanın

elektrik enerjisi ihtiyacı karşılanabilecektir. Etüd edilen ikinci bölge ise rüzgar hızı daha yüksek olan Osmaniye bölgesi olarak seçildi. Burada üretilen elektrik bölge şebekesine verilebilir. Tekirdağ'da kullanılan elektrik miktarı ile Osmaniye'de üretilen elektrik miktarı birbirine çok yakın olacak ve fabrikanın kullanımı baz alınacaktır. Eğer fabrika fazla elektrik kullandıysa bu meblağ ödenecektir. Fazla üretim var ise bu satılabilecektir.

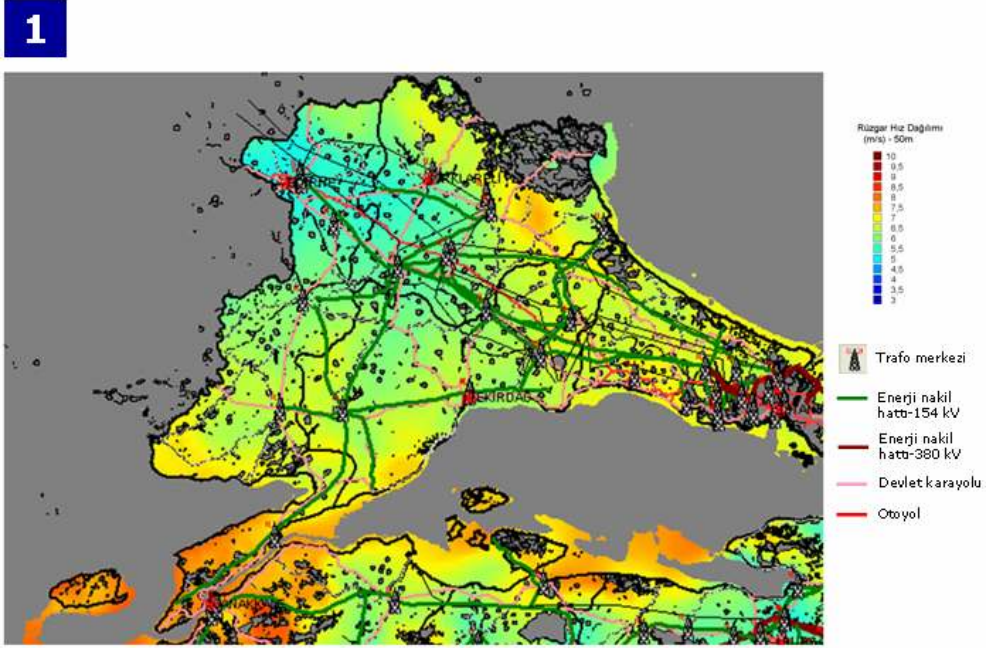


Şekil 10.1 Türkiye'deki bölgelerde rüzgar hızı haritası (Repa, 2007)



Şekil 10.2 Tekirdağ rüzgar hızı haritası (Repa, 2007)

Aşağıdaki haritada siyah ve gri olarak gösterilen alanlar, rüzgar potansiyeli yüksek olmasına rağmen havaalanı, Çevre koruma alanı, derinliği 50 metre'den fazla olan deniz alanları gibi çeşitli nedenlerden ötürü rüzgar enerjisi uygulamaları açısından uygun olmayan alanları ifade etmektedir.



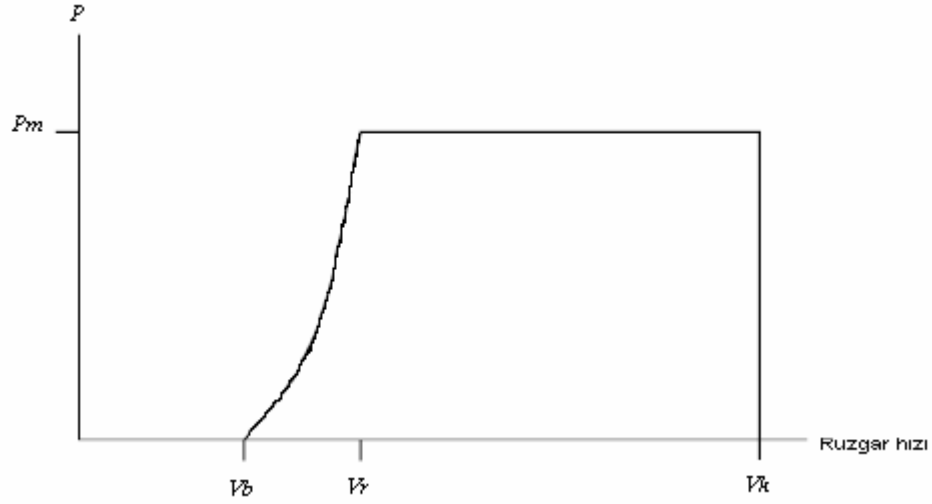
Şekil 10.3 Rüzgar enerjisi uygulamaları açısından uygun olmayan alanları gösteren harita (Repa, 2007)

## 10.2 Dizayn Hızı

Rüzgar türbinlerinde, rüzgar hızı arttıkça aldığımız güç doğru orantılı olarak artmaz. Belirli bir noktadan sonra güç eğrisi aşağıya doğru meyillenir. Buradan anlaşılacağı üzere, bir hız aralığı seçilmelidir. Bu noktada optimal davranılmalı, en iyi durumda rüzgar hızı aralığı seçilmelidir.

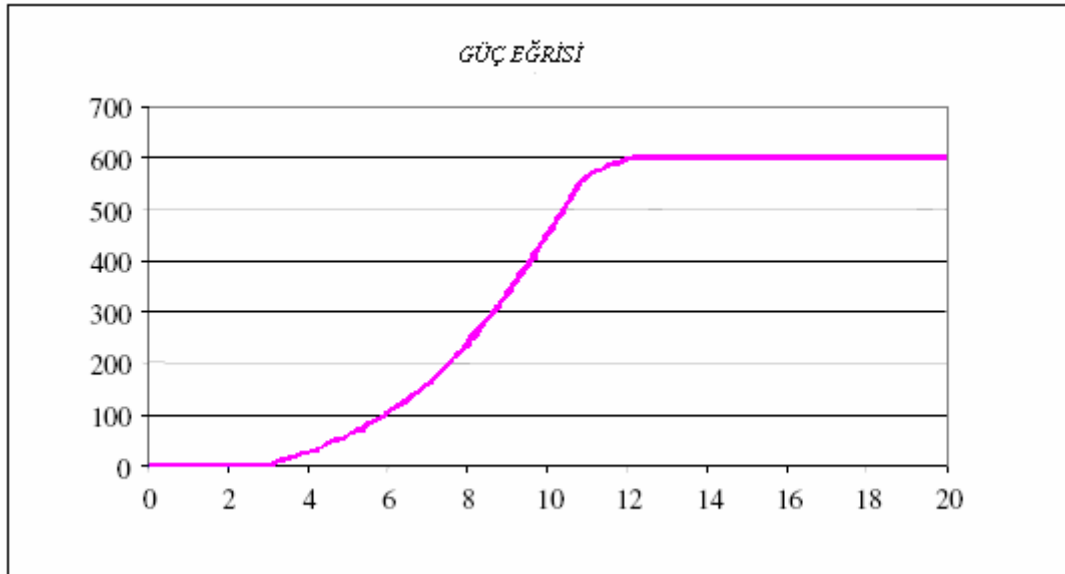
Rüzgar gücünü değerlendirdikten sonra  $P_r$ ,  $C_p$  değişimleri ve rüzgar türbininin kontrol yapısı düşük hızlarda mümkün olduğu kadar daha fazla güç elde etmek ve sonra türbini korumak için yüksek hızlarda gücü ayarlamaktır. Şekil 10.4 de genel rüzgar hızının bir fonksiyonu olarak arzu edilen güç yapısını göstermektedir

$v_b$  parametresi elektriksel güç üretiminin başladığı rüzgar hızıdır.  $v_r$  nispi rüzgar hızıdır. Bu  $v_r$  değeri maksimum elektrik gücünü üreten minimum hızdır.  $v_k$  ,türbinin yüksek hızlı rüzgarlardan korunmak için kapatıldığı hızıdır.

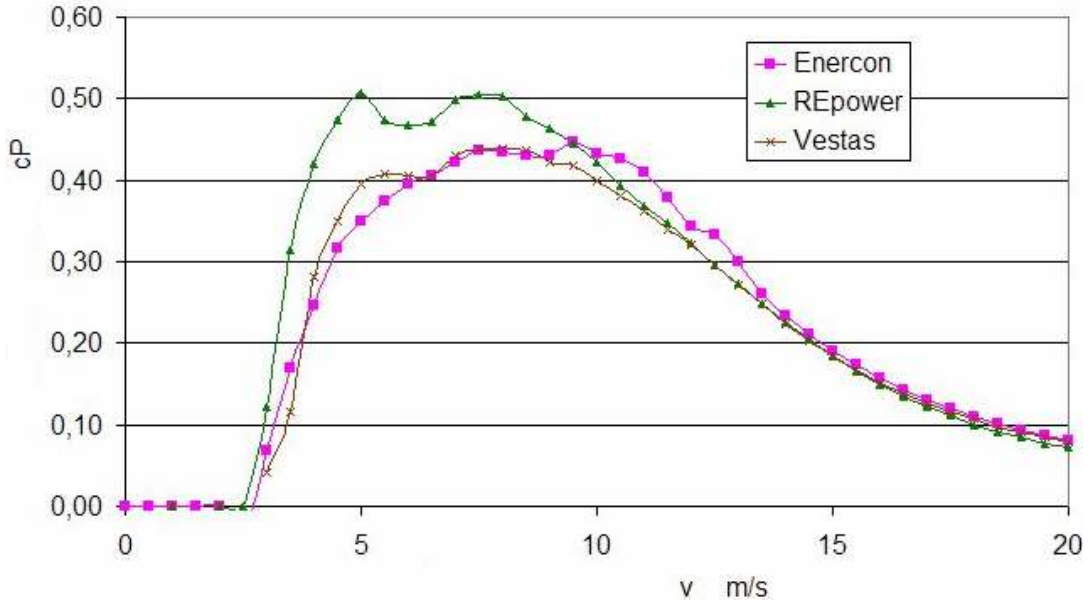


Şekil 10.4 Rüzgar Türbininin Arzu Edilen Güç Yapısı (Ena, 2007)

Başlangıç hızı olarak 3 m/s hız iyi bir değerdir. Kesme hızı için ise 20 m/s seçilebilir. Nispi rüzgar hızı ise Tekirdağ ili Muratlı ilçesi için 7 m/s alınabilir. Şekil 10.5’de ise tipik bir rüzgar türbininin güç eğrisi grafiği gösterilmiştir. Dikey sütun kW cinsinden güç çıkışını belirtirken yatay sütunda ise rüzgar hızı verilmiştir. 7 m/s nominal hızda güç çıkışı yaklaşık 160 kW’tır.



Şekil 10.5 Tipik bir 600 kW türbine ait rüzgar hızına karşılık gelen güç eğrisi (Dewind, 2004))



Şekil 10.6 Farklı Firmalara ait türbinlerin hız – güç katsayısı grafiği (Enercon, 2007)

### 10.3 Türbin Karakteristiklerinin Seçimi

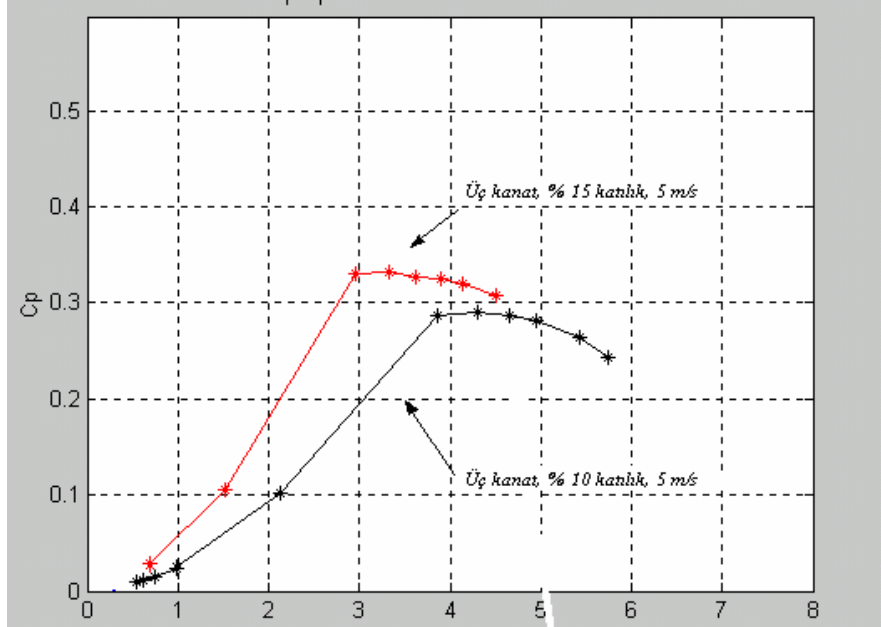
Karakteristiklerin seçimine kanat sayısını belirleyerek başlanabilir. Rüzgar türbini teknolojisi geliştikçe, üç kanatlı türbinler tercih edilir hale gelmiştir. Tecrübelerle görülmüştür ki, kanat sayısı üçten az olan türbinlerde dengesizlikler meydana gelmektedir. Kontrol altına alınması gereken bu dengesizlikler maliyeti çok artırdığı gibi, bu türbinler iyi performans gösterememektedir. Bir çok denemeden sonra anlaşılmıştır ki optimum kanat sayısı üçtür.

Aşağıda açıklayacağımız Clarkson Üniversitesinde yapılan deneyde, neden 3 kanadın optimum çözüm olduğuna cevap bulabiliriz. Diğer şartlar aynı olmak şartıyla kanat sayısı ve dolayısıyla katılık oranı değiştirilen kanatlar için sonuçlar açıklandığı gibidir.

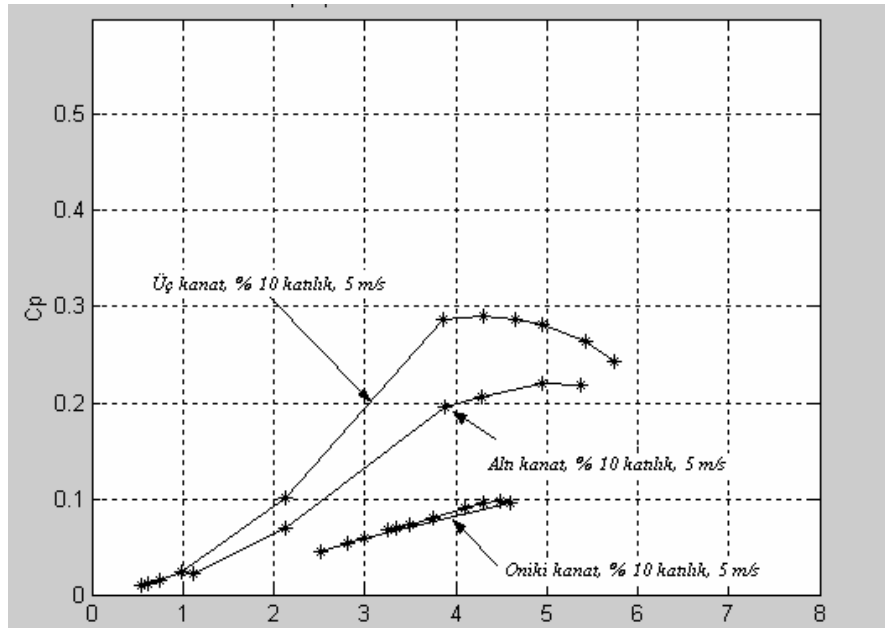
Çizelge 10.1 Türbin karakteristiklerinin seçimi için kullanılan test değişkenleri (J. Swanson vd. 2002)

TEST DEĞİŞKENLERİ			
	%5 KATILIK	%10 KATILIK	%15 KATILIK
3 KANAT	X	X	X
6 KANAT		X	
12 KANAT		X	

Güç katsayısı, türbinden elde edilecek verimin göstergesi olacak şekilde kıstas alınabilir. Şekil 10.7’de üç kanat sayısı için katılık oranı % 5 artırıldığında güç katsayısındaki artış dikkati çekmektedir. Şekil 10.8’de ise diğer şartlar aynı iken sadece kanat sayısı artırıldığında güç katsayısındaki değişim görülmektedir. Anlaşılacağı üzere 3 kanatlı türbin daha verimli olmaktadır.



Şekil 10.7 Katılık oranındaki değişimin aerodinamik performansa etkisi(J. Swanson vd. 2002)



Şekil 10.8 Kanat sayısındaki değişimin aerodinamik performansa etkisi(J. Swanson vd. 2002)

Kanat sayısı Multi-Science Publishing Co Ltd.' in yayınladığı Duquette M.M.; Swanson J.; Visser K.D.' ye ait diğer bir makalede ise katılık oranı değiştirilerek performansın % 7-27 arasında artırılabilirdiği gösterilmiştir. Yine bu çalışmada da görülmüştür ki 3 kanatlı türbinin performansı en iyidir

Ayrıca aşağıdaki çizelge incelendiğinde görülecektir ki seçtiğimiz uç hız oranına uygun düşen kanat sayısı üçtür.

Çizelge 10.2 Çeşitli pala sayılarına denk gelen uç hız oranları ( Olivari, 1984 )

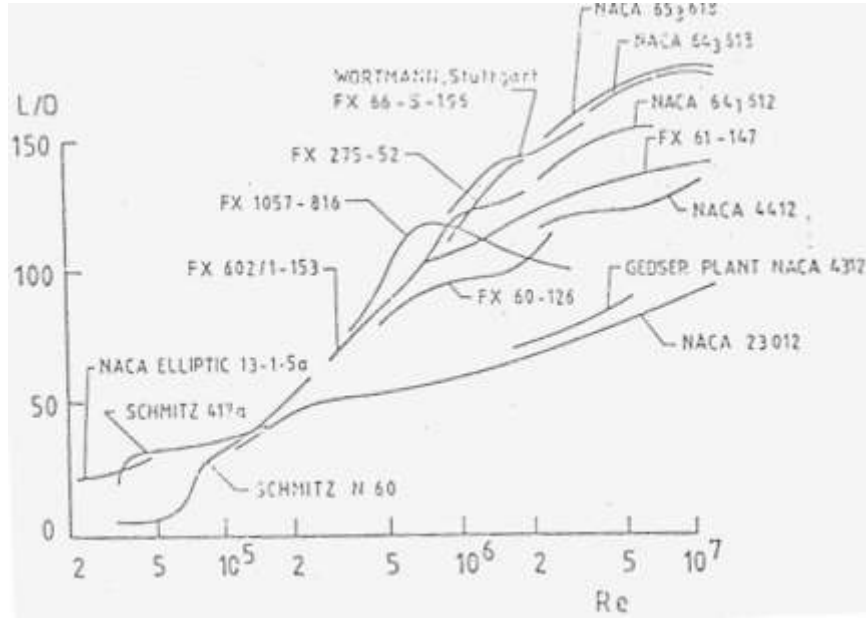
Uç hız oranı	Pala sayısı
1	6-20
2	4-12
3	3-6
4	2-4
5-8	2-3
8-15	2

Uç hız oranı – Kanat sayısı grafiği incelendiğinde, Üç kanatlı bir türbin için uç hız oranı  $\lambda = 8$  seçilebilir.

Aerodinamik performansı eniyilemek için, tasarıma uygun hücum açısı seçilerek başlanmalıdır. Bu açı seçilirken dikkat edilmesi gereken husus maksimum L/D oranına ulaşmaktır. Büyük hücum açılarında L/D oranının azaldığı görülmektedir. Çalışma esnasında kanat Re sayısı

$$R_N = \frac{W.C}{\nu} \quad (10.1)$$

şeklinde tanımlanabilir. Performansın düşmesini engellemek için profilin minimum karakteristik değerini aşması gerekir. Kaliforniya Berkeley üniversitesinde NACA profilleri üzerinde yapılan bir çalışmada görülmüştür ki Reynolds Sayısı düştükçe türbin performansı da düşmektedir. Bu çalışmada Reynolds Sayısı  $0,5 \cdot 10^5$  değerinin altına indiğinde performansta aşırı düşmeler kaydedilmiştir. ( Laitone, E.,V.,1997)



Şekil 10.9 Çeşitli profillere ait L/D oranı ve  $R_N$  Sayısı

NACA 4415 profiline ait şekil 9.4 incelendiğinde  $\alpha = 10$  dereceye kadar karakteristiğın doğrusal olduğu görülmektedir. Buna rağmen  $\alpha$  açısının sıfır değerinde bir kaldırma mevcuttur. Yani karakteristik orijinden geçmemektedir. Bunun nedeni profilin simetrik olmamasıdır. Gerçekten simetrik olmayan profilde hücum açısı  $\alpha = 0$  derece olsa bile kanat etrafında bir sirkülasyon doğar.  $\alpha$  büyüdükçe özellikle kanadın sırt tarafındaki basınçlar azalır, akım çizgilerinin eğrilikleri çoğalır ve cidardan ayrılma tehlikeleri baş gösterir. Bu kısımda  $C_L$  kaldırma katsayısının daha az arttığı görülür.  $\alpha$  açısı daha fazla arttırılırsa belirli bir noktadan sonra ayrılma tam olarak teşekkül ettiği ve kanat sırtında oldukça geniş girdaplı bölge meydana geldiği karakteristik eğrinin devrilmesinden anlaşılmaktadır. Bu noktadan sonra hücum açısının arttırılması kaldırma katsayısını azaltmaktadır.

Uç hız oranı 8 olarak seçilmişti. Şekil 9.18'den bu değere karşılık gelen güç katsayısı yaklaşık olarak 0,47 seçilebilir. Rotor yarıçapını bulmak için güç denkleminde bilinen değerler yerine konularak kanat yarıçapı ( R ) aşağıdaki şekilde bulunur.

$$R = \left[ \frac{2P}{\pi \cdot \rho \cdot C_p \cdot V^3} \right]^{1/2} \quad (10.2)$$

Rotor açısal hızı ( $\Omega$ ), uç hız oranı denkleminde aşağıdaki şekilde elde edilir.

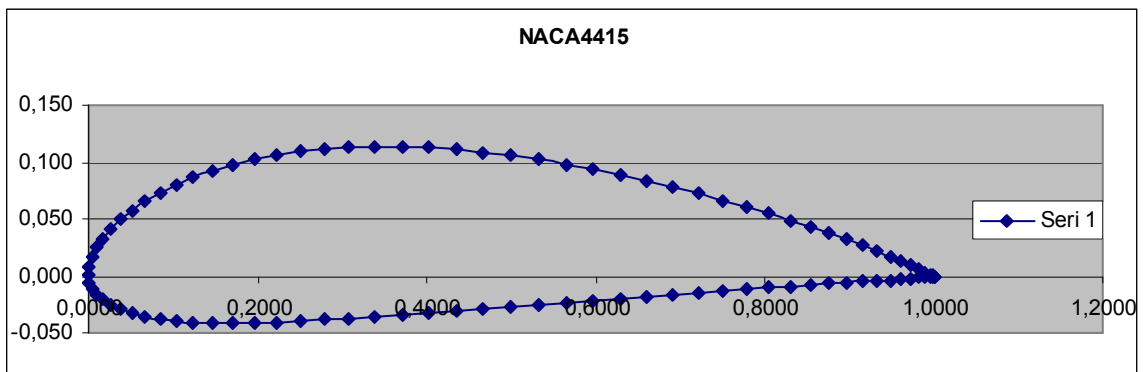
$$\Omega = \frac{\lambda V}{R} \quad (10.3)$$



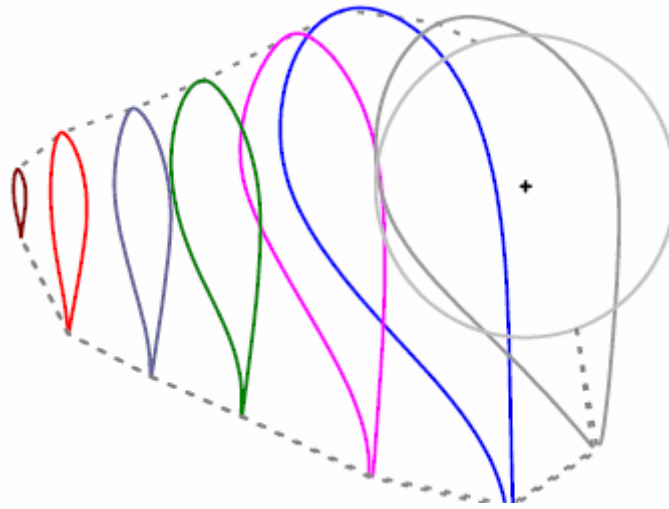
#### 10.4 Kanat Dizaynı

Kanat malzemesi olarak Cam Takviyeli Plastik (CTP) kullanılmaktadır. Kanat imalatı şu şekilde yapılabilir. Önce çeşitli noktadaki kanat profilleri çizilir. Bu profiller bir iskelet oluşturacak şekilde hücum kenarından  $S = 0.25 C$  mesafede delinen deliklerin içerisinde, bir mil geçirilerek birleştirilir. Elde edilen iskelet CTP kaplanarak kanat imal edilmiş olur. İskelet malzemesi olarak, ağaç, balsa veya poliüretan kullanılabilir. Günümüzde kabuk şeklinde içi boş kanatlar imal edilmektedir. Böylece ağırlık asgariye indirildiği gibi, kanatların rüzgardan daha etkin faydalanması sağlanır.

Şekil 10.10'da excel programında çizilmiş NACA 4415 profili görülmektedir.



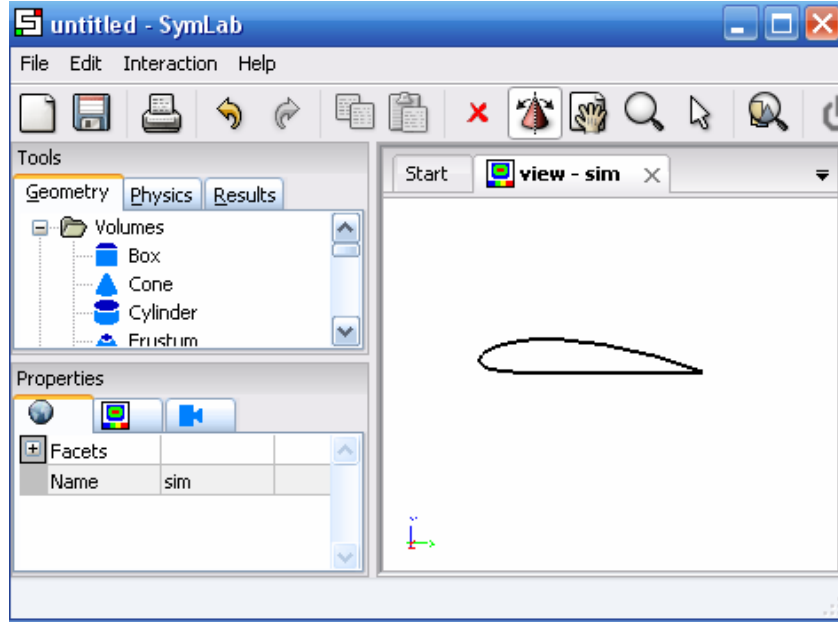
Şekil 10.10 NACA 4415 profili



Şekil 10.11 Yapısal olarak kanat profili (Ruud V. R., Nando T., 2004)

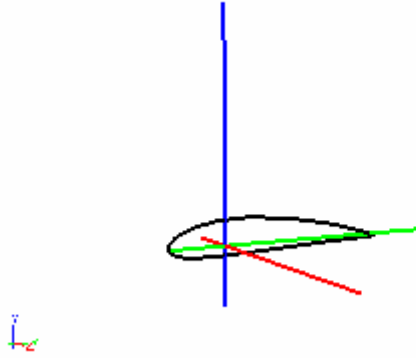
##### 10.4.1 Üç Boyutlu Kanat Profilinin Oluşturulması

Aşağıdaki şekillerde symlab programında kanat profili çizilen NACA 4415 profili incelenecek ve kanat üzerine gelen basınçlar görülecektir.

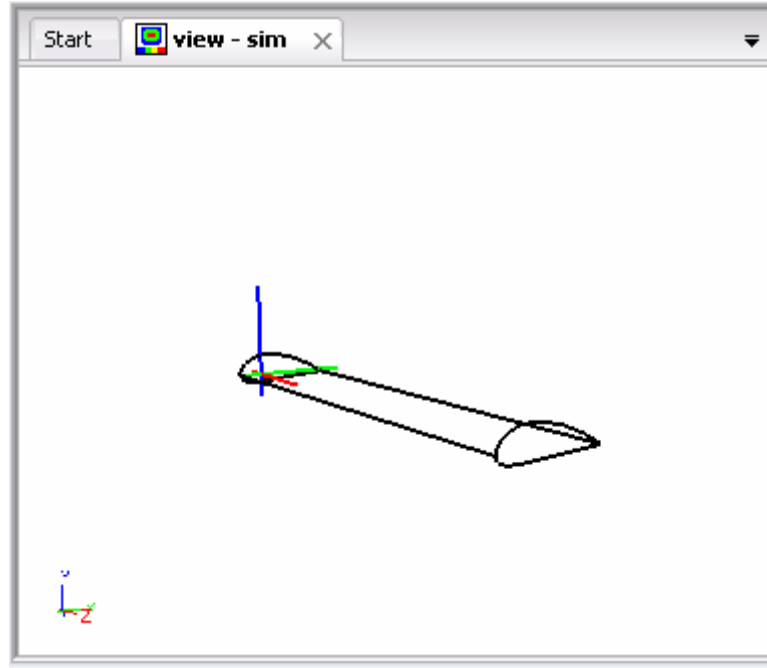


Şekil 10.12 Kanat profilinin programa gönderilmesi

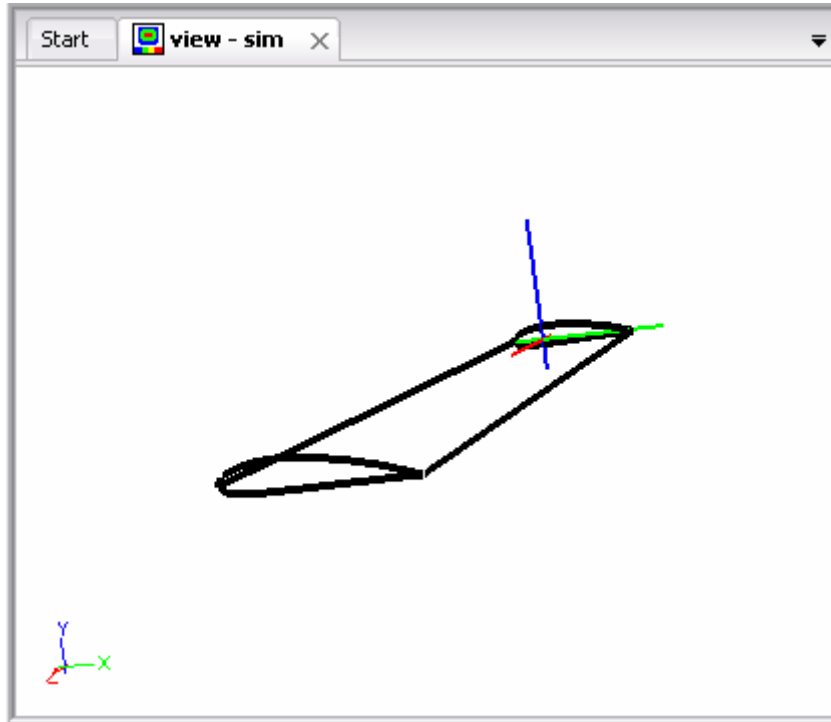
Kanat profili çizilerek SymLab programına gönderilir. ( export ) Eksen takımı atanır. Eksen takımında x eksenı boyunca kanat profili genişletilir.(Extrude) Kanat profil ölçüleri kontrol edilir ve orijinal boyutlar tanımlanır.



Şekil 10.13 Eksen takımı atanır.

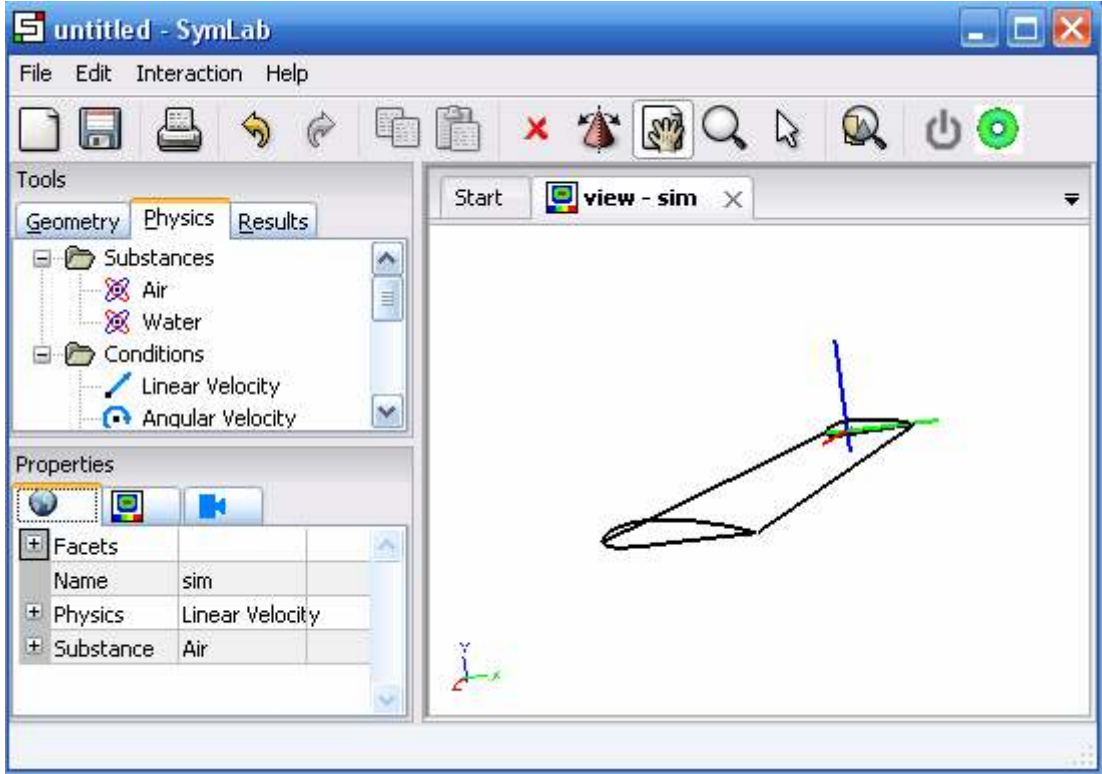


Şekil 10.14 Kanat profili boyunca yüzey oluşturulur (extrude)



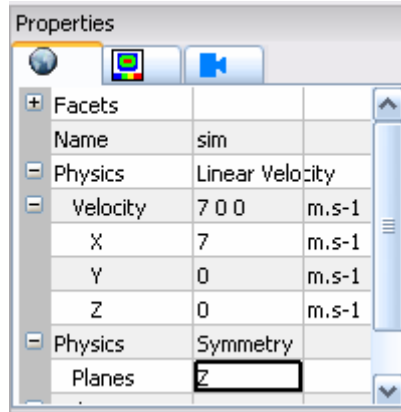
Şekil 10.15 Kanat profil ölçüleri kontrol edilir ve orijinal boyutlar tanımlanır.

#### 10.4.2 Simülasyon Özelliklerini Tanımlama



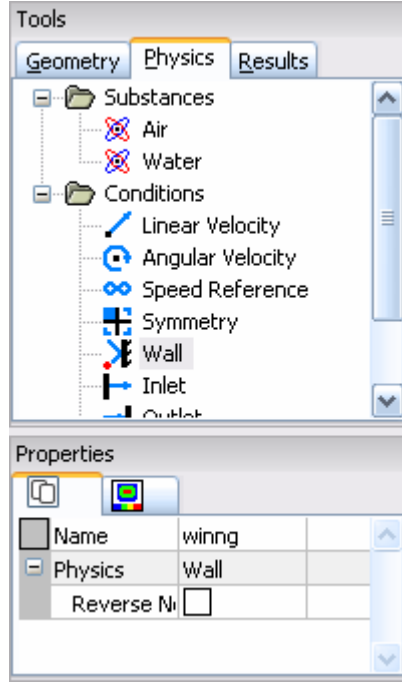
Şekil 10.16 Kanat yüzeyinde akışkan olarak havanın tanımlanması

Araç menüsü içerisinde bulunduğumuz geometry butonundan çıkarak physics butonuna geçeriz. Bu menüden kanada akışkan olarak hava uygulayacağımızı tanımlarız. Ayrıca havanın lineer akışlı olacağını tanımlarız.



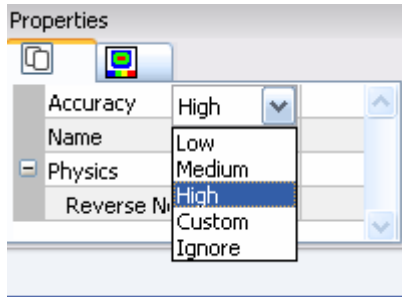
Şekil 10.17 Kanat üzerine etki eden havanın hızının seçilmesi

Özellikler menüsünden rüzgar hızı 7 m/s seçilir. Z eksenine boyunca malzeme simetrik olarak tanımlanır.



Şekil 10.18 Kanadın bir bütün olarak tanımlanması

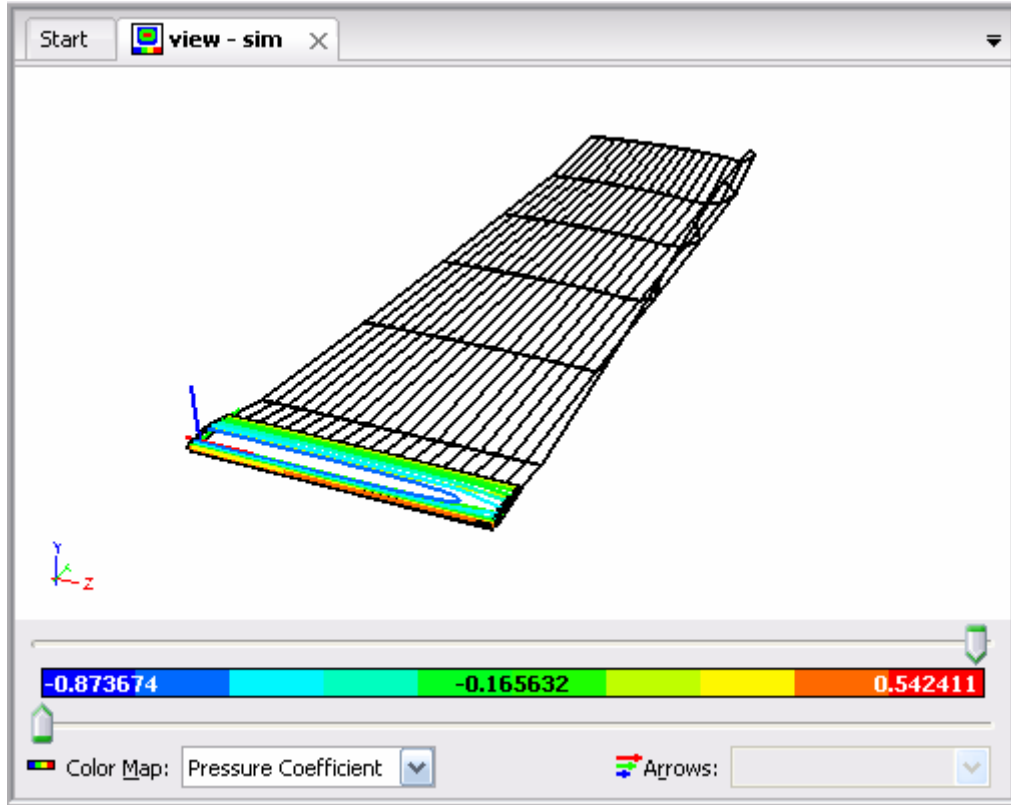
Araçlar menüsünden wall özelliği uygulanır. Kanadın bütün yüzeyleri bir grup olarak tanımlanır. Akışkanın kanadı hangi ucundan terk edeceği belirlenir ( trailing edge ). Kanadın hücum kenarı belirlenir (leading edge ).



Şekil 10.19 Havanın yüksek hızda estiğinin tanımlanması

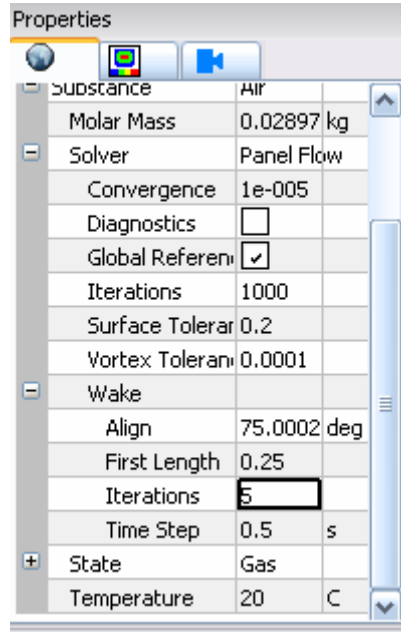
Özellikler menüsünden yüksek hız özelliği seçilir.

### 10.4.3 Kanadın Basınç Katsayısının Hesaplanması



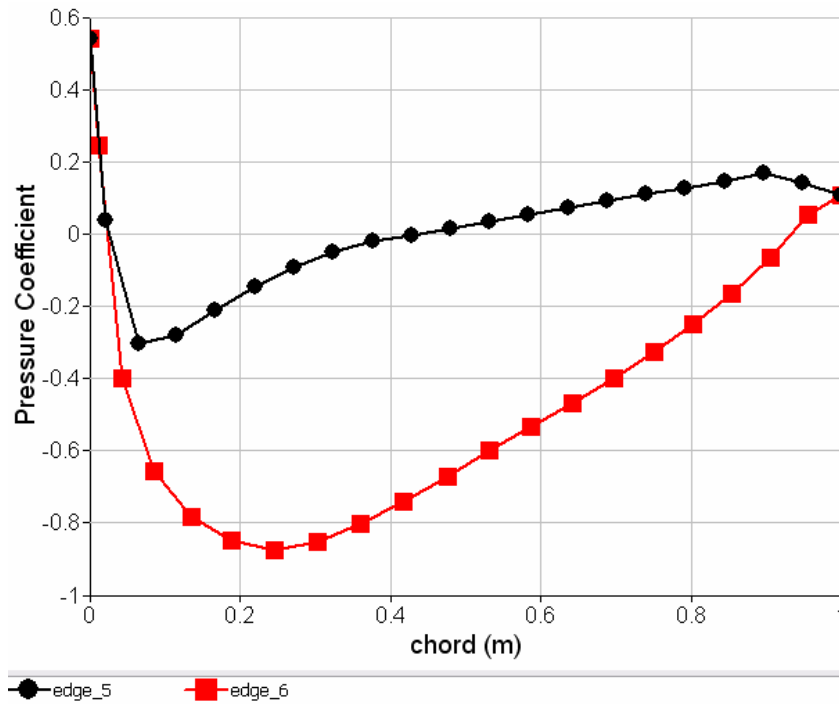
Şekil 10.20 Basınç katsayısının değişimi

Araçlar (tools plate) menüsünden sonuç (result) kısmı seçilir. Basınç katsayısı (pressure coefficient) hesaplanır. Şekildeki renkli haritada basınç katsayısının değişimi görülmektedir. Hucüm kenarında katsayı yükselmekte, ortalarda minimuma inmekte, rüzgarın kanadı terk ettiği kenarda biraz yükselmektedir.



Şekil 10.21 İterasyon sayısı ve zaman adımlarının tanımlanması

Özellikler menüsünden iterasyon sayısı ve zaman adımları değiştirilebilir. İterasyon sayısı 5 olarak tanımlanmıştır. Bu sayının artırılması kanat arkasındaki izdüşümden anlaşılmaktadır.



Şekil 10.22 Kanat yüzeyinde oluşan basıncın grafik üzerinde gösterilmesi

## 10.5 Kanat Profili Seçimi Ve Rotor Dizaynı

Şekil 10.1'den türbinin kurulacağı bölge olan Tekirdağ ili Muratlı ilçesinde ortalama rüzgar

hızı 7 m/s alınabilir. Şekil 9.12'deki güç eğrisinden çıkış gücü ( $P_t$ ) = 160 kW alınır. Emniyet faktörü  $k=0.8$  ile çarpıldığında  $P_R = 128$  kW olarak bulunur. Kanat profili olarak NACA 4415 seçildi. Şekil 9.3-9.4'den ,  $L/D$  oranı maksimum olacak şekilde  $C_L = 1,102$  ,  $C_D = 0,116$  ve  $\alpha = 8$  derece seçilebilir. Türbin 3 kanatlı olarak seçildi. Şekil 9.18 incelendiğinde 3 kanatlı türbinlerde maksimum güç katsayısına ( $C_p$ ) uç hız oranının ( $\lambda$ ) 6-8 değerleri arasında rast geldiği görülür. Uç hız oranı olarak  $\lambda = 8$  seçilebilir. Ayrıca çizelge 8.1 incelendiğinde bu uç hız oranında, kanat sayısı olarak 3 seçilebileceği görülür. Şekil 9.18'den güç katsayısı ( $C_p$ ) 0,47 seçilebilir.

Denklem 9.30'dan kanat yarıçapı

$$R = \left[ \frac{2.128.10^3}{(0,47)(1,23).\pi.(7)^3} \right]^{1/2} = 20,3 \text{ m bulunur. Rotor yarıçapı 21 m alınabilir.} \quad (10.4)$$

Denklem 9.28 'den rotorun açısal hızı

$$\Omega = \frac{8.7}{21} = 2,66 \text{ rad/s} \quad (10.5)$$

$$\text{Devir sayısı } n = 25,4 \text{ d/dk bulunur.} \quad (10.6)$$

Jeneratör olarak , 380V  $n_G = 1500$  d/dk asenkron jeneratör seçilirse çevrim oranı  $i = 59$  olarak bulunur.

Denklem 9.30'da rotor yarıçapı olarak 21m yazılır ve hız değeri 8,5 m/s olarak değiştirildikten sonra Güç ( $P_R$ ) çekilecek olursa Osmaniye Sırtköy bölgesinde 21 m yarıçaplı rotor ile ortalama 8,5 m/s esen rüzgarda 246 kW güç elde edilebileceği görülür.

$$P_R = \frac{21^2.(0,47)(1,23).\pi.(8,5)^3}{2.10^3} = 245 \text{ kW} \quad (10.7)$$

$$\text{Denklem 9.28'den açısal hız } 3,24 \text{ rad/s olarak bulunur.} \quad (10.8)$$

$$\Omega = \frac{8.8,5}{21} = 3,24 \text{ rad/s} \quad (10.9)$$

Devir sayısı ise  $n = 32$  d/dk bulunur. Çevrim oranı ise aynı jeneratör kullanılarak  $i = 47$  olarak



bulunur.

Bulduğumuz bütün değerler bir tablo halinde toplanacak olursa çizelge 10.1'i elde ederiz.

Çizelge 10.3 Tekirdağ ve Osmaniye'de kurulabilecek türbine ait büyüklükler

	TEKİRDAĞ MURATLI	OSMANİYE SİRTKÖY
Rotor Gücü (kW)	128	245
Rotor Çapı (m)	42	42
Rotor Devir Sayısı (dev/dk)	25,4	32
Jeneratör Devir Sayısı /dev/dk)	1500	1500
Dişli Kutusu Aktarma Oranı	59	47
Uç Hız (m/s)	53,6	68

Tekirdağ ilinde kurulu olan Eksun Un Fabrikasının yıllık enerji ihtiyacı ortalama 5.000.000 kWh olarak kabul edilebilir. Bir yılda 8760 saat olduğu kabul edilebilir. Yılda iki ay türbinlerin bakım onarım vb. çalışmaları için duracağı varsayılabilir. Böylece yılda 8040 saat türbinler aktif olarak çalışabilecektir. Tekirdağ'da kurulacak bir türbinden elde edilebilecek yıllık enerji miktarı;

$$128 \times 8040 = 1.029.120 \text{ kWh olarak hesaplanabilir.} \quad (10.10)$$

Eksun Un Fabrikasının yıllık enerji ihtiyacı olan 5.000.000 kWh enerjisi üretmek için

Türbin Sayısı :  $5.000.000/1.029.120 = 4,85$  bulunur. Tekirdağ'da gerekli enerjiyi üretmek için 5 türbin kurulmalıdır.

Aynı şekilde Osmaniye ilinde kurulacak bir türbinden elde edilebilecek yıllık enerji miktarı;

$$245 \times 8040 = 1.969.800 \text{ kWh olarak hesaplanabilir.} \quad (10.11)$$

Türbin sayısı:  $5.000.000/1.969.800 = 2,54$  bulunur. Osmaniye'de gerekli enerjiyi üretmek için 3 türbin kurulmalıdır.

## 11. MALİYET

Bir rüzgar çiftliğinin maliyetini oluşturan faktörler temel olarak iki grupta toplanabilir:

- Çiftliğin kuruluş maliyeti
- İşletme maliyeti

Çiftliğin kuruluş maliyeti, türbin tedariki, tesisi, nakliyesi ve arsa maliyeti gibi çiftliğin faaliyete geçmesi için gerekli yatırımı kapsar. İşletme maliyeti ise rüzgar çiftliğinin kurulumundan sonra çalıştığı süre boyunca çiftliğin uygun biçimde çalışması için gerekli masrafları ifade eder.

Tasarımı yapılan türbin kullanılarak kurulacak bir çiftliğinin maliyeti ve getirisi konusunda bir fikir edinmek gereklidir. Bu amaçla yukarıda sözü edilen kuruluş ve işletme masraflarının hangi mertebelerde olduğunu görmek için aşağıdaki inceleme yapılmıştır.

### 11.1 Kuruluş Maliyeti

#### 11.1.1 Türbin Maliyeti

Avrupa’da rüzgar türbini üretimi ve satışı yapan 18 firma tarafından Türkiye için verilen tekliflerde türbin fob fiyatları 900-1750 \$/kW arasında değişmektedir. Çeşitli türbin sınıflarına göre bu fiyatlar şöyle sıralanabilir (Ültanır, M., Ö., 1998, 2004).

- 450-600 kW türbinler için 900-1100 \$/kW
- 750-1000 kW türbinler için 1200-1300 \$/kW
- 1000-1500 kW türbinler için 1400-1500 \$/kW
- 1500-2000 kW türbinler için 1750 \$/kW

#### 11.1.2 Tesis Maliyeti

Tesis masraflarının türbin fiyatına olan oranı yaklaşık olarak Çizelge 11.1’de sunulan şekildedir.

Çizelge 11.1 Tesis maliyetini oluşturan kalemlerin maliyete katkıları (Milborrow vd., 1997)

Maliyetler	Türbin Fiyatının % maliyeti
------------	-----------------------------

Planlama Maliyetleri	1,5-3
Arsa Ücreti	0-5,7
Onaylar	3-8
Altyapı	2-4
İdare	3-6
Kule Temelleri	5-11
Elektrik Bağlantıları	5-11
Çeşitli Masraflar	2-4
Şebeke Bağlantısı	7,5-15
TOPLAM	29-67,7

## 11.2 İşletme Maliyeti

İşletme masrafları da ülkeden ülkeye, hatta ülke içerisinde bulunan bölgeye göre değişebilir, ancak bu değerler konusunda yaklaşık fikir sahibi olmak için Çizelge 11.2'deki değerler kullanılabilir. Çizelgedeki değerlerin bazıları türbin boyutundan bağımsızdır, fakat genel olarak 500-750 kW sınıfı türbinler için geçerli durumu yansıtmaktadır.

Çizelge 11.2 KWh enerji üretimi başına işletme maliyeti (Milborrow vd., 1997)

	cent/kWh
Arsa Kirası	0-0,5
Yerel Vergiler	0-0,25
Sigorta	0,2-0,63
Servis Sözleşmesi	0,2-0,8
İdare	0,13-0,4
Elektrik Kullanımı	0,06-0,25

Reaktif Güç	0-0,13
TOPLAM	0,59-2,96

Çizelgedeki üretime bağlı değerlerin yanı sıra kurulu kapasite için birim işletme maliyeti değerlendirmesi yapılacak olursa, 15 cent/kW/yıl düşük, 23 cent/kW/yıl orta ve 31 cent/kW/yıl yüksek olarak nitelenebilir (Milborrow vd., 1997).

### 11.3 Yaklaşık Maliyet Hesabı

Tekirdağ'da ve Osmaniye'de kurulacak Çizelge 9.3.'te sıralanan yörelerde kurulacak türbinlerin TKM (Toplam Kurulum Maliyeti), türbin maliyetinin 950 \$/kW ve tesis maliyetinin türbin maliyetinin %30'u kadar olacağı kabulleriyle yaklaşık olarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

#### ***Tekirdağ'da kurulacak türbinin Toplam Kurulum Maliyeti:***

$$TM \text{ (Türbin Maliyeti)} : 950 \text{ \$/kW} \times 600 \text{ kW} \times 5 = 2,85 \text{ milyon \$} \quad (11.1)$$

$$TEM \text{ (Tesis Maliyeti)} : 2,85 \times 0,3 = 0,855 \text{ milyon \$} \quad (11.2)$$

$$TKM : 2,85 \text{ milyon \$} + 0,855 \text{ milyon \$} = 3,705 \text{ milyon \$} \quad (11.3)$$

#### ***Osmaniye'de kurulacak türbinin Toplam Kurulum Maliyeti:***

$$TM \text{ (Türbin Maliyeti)} : 950 \text{ \$/kW} \times 600 \text{ kW} \times 3 = 1,71 \text{ milyon \$} \quad (11.4)$$

$$TEM \text{ (Tesis Maliyeti)} : 1,71 \times 0,3 = 0,513 \text{ milyon \$} \quad (11.5)$$

$$TKM : 1,71 \text{ milyon \$} + 0,513 \text{ milyon \$} = 2,223 \text{ milyon \$} \quad (11.6)$$

İşletme maliyeti için Çizelge 9.3.'te belirtilen alanlardaki üretim miktarları ile çalışacak rüzgar çiftliklerinin 20 yıl süreyle 1,1 cent/kWh işletme maliyetiyle çalışacağı kabul edilirse İM (İşletme Maliyeti) şu şekilde hesaplanabilir:

$$İM = 5 \text{ türbin} \times 20 \text{ yıl} \times 1,1 \text{ cent/kWh} \times 1 \text{ türbinin yıllık üretimi (kWh)} \quad (11.7)$$

***Tekirdağ'da kurulacak türbinin işletme Maliyeti:***

$$\dot{M} = 5 \text{ türbin} \times 20 \text{ yıl} \times 1,1 \text{ cent/kWh} \times 1.029.120 = 113.203.200 \text{ cent/kWh} =$$

$$1,132 \text{ Milyon \$} \quad (11.8)$$

***Osmaniye'de kurulacak türbinin İşletme Maliyeti:***

$$\dot{M} = 3 \text{ türbin} \times 20 \text{ yıl} \times 1,1 \text{ cent/kWh} \times 1.969.800 = 130.006.800 \text{ cent/kWh} =$$

$$1,300 \text{ Milyon \$} \quad (11.9)$$

***Birim maliyet:***

$$BM = \text{Toplam Maliyet (\$/)} / (\text{Türbin sayısı} \times 20 \text{ yıl} \times 1 \text{ türbinin yıllık üretimi (kWh)}) \quad (11.10)$$

Çizelge 11.3 Türbin maliyetleri

BÖLGE	İŞLETME MALİYETİ (\$)	TOPLAM MALİYET(\$)	BİRİM MALİYET
TEKİRDAĞ	1,132 Milyon	4,837 Milyon	4,30 cent/kWh
OSMANİYE	1,300 Milyon	3,523 Milyon	2,98 cent/kWh

**11.4 Geri Ödeme Süresi**

1 türbin için hesaplanacak olan GÖS (Geri Ödeme Süresi), aşağıdaki eşitlik kullanılarak bulunabilir.

$$\text{Geri Ödeme Süresi} = (\text{Toplam Kurulum Maliyeti} / \text{Türbin Sayısı}) / \text{Yıllık Net Gelir} \quad (11.11)$$

Önce Yıllık Elektrik Enerjisi Gelirini hesaplayalım. Elektrik kurumundan satın alınan elektrik için ödenen ücret kWh başına yaklaşık olarak  $17,216 \text{ Ykr} + \text{KDV} = 20,32 \text{ YKr/kWh}$  olarak kabul edilebilir.  $1 \$ = 1,55 \text{ YTL}$  olarak alınırsa, elektrik kWh maliyeti yaklaşık  $0,131 \$$  olarak bulunur. Üretilen Elektrik Enerjisi kullanıldığında bu paranın elektrik kurumuna ödenmesi yerine rüzgar enerji santraline gelir olarak kalacaktır. Üretilen Elektrik Enerjisi değeri birim kWh maliyeti ile çarpılırsa, bir türbin için Yıllık Elektrik Enerjisi Geliri bulunur. Yıllık Net Gelir değeri, Yıllık Elektrik Enerjisi Geliri değerinden Yıllık İşletme Maliyeti çıkarılmasıyla elde edilmiştir Yıllık İşletme Maliyeti ise yukarıda bulunan Toplam İşletme Maliyetinin 20'ye bölünmesiyle elde edilir.[Köse ve Özgören 2005].

$$\text{Yıllık Net Gelir} = \text{Yıllık Elektrik Enerjisi Geliri} - \text{Yıllık İşletme Maliyeti} \quad (11.12)$$

Türbin sayısının artması, GÖS'ünü değiştirmez. Çünkü türbin sayısı, yıllık üretilen enerji ve giderler ile çarpan durumundadır. Rüzgar türbinlerinin literatürde yaklaşık ömrünün 20 yıl, mekanik aksamının ise 50 yıl süresince kullanılabileceği belirtildiği düşünüldüğünde, kurulacak rüzgar enerjisi tesisinin geri ödeme sürelerinden karlı bir yatırım olacağı aşıkardır. Ancak Tekirdağ'da kurulacak bir rüzgar türbininin geri ödeme süresi 10 yılın üzerindedir. Bunun için Tekirdağ'da türbin inşa etmek yerine Osmaniye seçilirse ve orada üretilen elektrik devlete satılırsa, bu miktar Tekirdağ'da tüketilen elektrik miktarını telafi edecektir. Böylece daha karlı bir yatırım yapılmış olacaktır.

Çizelge 11.4 Tekirdağ ve Osmaniye illerinde türbinlerin gelir değerleri ve geri ödeme süreleri

BÖLGE	YILLIK ELEKTRİK ENERJİSİ GELİRİ	YILLIK NET GELİR	GERİ ÖDEME SÜRESİ
TEKİRDAĞ	134.814,72 \$	78.214,72 \$	12,37 Yıl
OSMANİYE	258.043,8 \$	193.043,800 \$	6,08 Yıl

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada geçmişten günümüze enerjinin gelişimi incelendi. Teknolojinin ilerleyişiyle kullanımı artan geleneksel enerji kaynakları tükenme tehlikesiyle karşı karşıya geldi. Yirminci yüzyılın sonlarına doğru bu tükeniş kendini petrol krizleriyle hissettirmeye başladı. 1973 petrol krizi ile birlikte alternatif, yani dönüşümlü ve temiz enerji kaynakları ve enerjinin verimli kullanımı, içinde bulunduğumuz döneme damgasını vurdu. 1980'li yıllar; gelişmiş ülkelerin, daha fazla enerji temininden daha verimli enerji kullanımı stratejisine geçiş dönemi oldu.

Artan enerji talebinin geleneksel enerji kaynakları ile yeteri kadar karşılanmayışı ayrıca artan hava kirliliği yenilenebilir enerji kaynaklarına karşı talebi arttırmıştır. Buna bağlı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarında yapısal unsurlar tekrar gözden geçirilerek sistem verimliliğini sağlayacak teknolojik çalışmalara hız verilmelidir

Yenilenebilir enerji kaynakları (özellikle rüzgar enerjisi) zararlı gazların çevre etkilerinin azaltılmasında önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle, dünyanın tüm ülkeleri zararlı gazların bu etkilerini azaltmaya çalışmaktadırlar. Bu noktada ülkemiz üzerine düşen görevleri yapmalıdır. Sera gazı emisyonlarının, Kyoto protokolünde saptanan hedeflere ulaşması dünyanın geleceği için oldukça önemlidir. Kyoto protokolüne imza atmak ve dünyanın havasının daha fazla kirletilmemesi konusunda bundan sonra atılacak adımlarda üzerine düşen görevleri yapmak önemli bir sorumluluk olarak belirmektedir.

İkibinli yıllara girildiğinde yenilenebilir enerjinin önemi anlaşılmış ve çevreye duyarlı enerjiden daha fazla yararlanmanın yolları aranmaya başlanmıştır. Ülkemiz yenilenebilir enerji kaynakları açısından önemli potansiyele sahiptir. Diğer temiz enerji türlerinin yanında asıl konumuz olan rüzgar enerjisi konusunda da önemsenecek derecede potansiyele sahiptir. Ülkemizin her köşesinde yükselen rüzgar türbinleri gelecekte Türkiye'nin enerji ihtiyacının önemli bir bölümünün rüzgardan elde edilebileceğinin sinyallerini vermektedir. Yetkililer bu konuda üzerine düşen görevlerin bilincinde olduğunu göstermektedir. Bu konudaki çalışmalara hız kesilmeden devam edilmelidir.

Geleneksel ve yenilenebilir enerji kaynaklarının çevreye olumlu ve olumsuz etkileri incelendi. Her tür enerji, elde edilmesinden son kullanıcıya ulaştırılmasına kadar geçtiği tüm aşamalarda havaya, suya, yaşayan canlılara ya da yok edilmesi sorun olan atıklarıyla çevreye zarar verir. Geleneksel enerji kaynaklarının çevreye olan etkileri yenilenebilir enerji kaynaklarının yanında çok daha fazladır. Bu zarar yenilenebilir enerji kaynaklarıyla minimuma indirilebilir.

Artan enerji talebiyle birlikte nükleer enerjiden faydalanmayı da elbette gündeme almak gerektiği görülmektedir.. Ülkemiz olarak avantajımız bizden önce bu enerjiyi kullanmış olan ülkeleri takibe alıp, incelemelerde bulunduktan sonra bu enerjiden optimum oranda faydalanabilmektir. Böyle yapılırsa görülebilecek zararlar en aza indirilir ve artan talebe bir nebze olsun katkıda bulunulabilir. Ancak bu enerjiden faydalanırken çevreye olabilecek etkileri asgariye indirmeli, günümüze ulaşmış olan tecrübelerden azami derecede faydalanılmalıdır. Tabi burada hatırlatmak gerekir ki yenilenebilir enerjinin önceliği her zaman hatırdan tutulmalıdır. Yalnız tüm enerji ihtiyacımızı yenilenebilir kaynaklardan sağlamak olanaksız gözükmektedir.

Dünyada rüzgar enerjisinden faydalanma oranı hızlı bir şekilde artış göstermektedir. Ülkemizin de son yıllarda bu konuya gerekli önemi verdiği artan rüzgar türbini çiftliklerinden anlaşılmaktadır. Rüzgar enerjisinden elde edilen enerji üretimi, global enerji üretiminin % 1'ine ulaşmış durumdadır. Toplam kurulu kapasitede 2007 yılında % 26,6'lık bir büyüme gözükmektedir. Tahminlere göre 2010 yılında dünyada toplam kurulu kapasite 170.000 MW'a ulaşacaktır. Türkiye gelişmekte olan ilk yirmi pazar içerisinde en ön sıradadır. Bu yatırımlara hız kesilmeden devam edilmelidir.

Konstrüktif açıdan rüzgar türbinlerine bakıldığında görüldü ki, dikey eksenli rüzgar türbinlerinin güç katsayısı çok düşük kalmaktadır. Bu yüzden Yatay eksenli, rüzgarı önden alan ve pitch kontrol mekanizmalı türbin tipi seçildi. Bu türbinlerde kanat sayısı azaldıkça rotor daha hızlı dönebilmektedir. Güç katsayısı ise dikey eksenli rüzgar türbinleriyle karşılaştırılamayacak kadar yüksektir. Diğer avantajlarının yanında üç kanatlı türbinlerin güç dengesizliği de minimumdur. Pitch kontrollü türbinlerde daha kaliteli ve kontrol edilebilir güç üretilmektedir. Kanat döndürme mekanizması olarak adlandırılan pitch kontrol sistemi modern türbinlerde rahatlıkla kullanılabilir. Her bir kanat için bir ünite halinde alınıp yerine yerleştirilen pitch kontrol mekanizmaları seçildi. Ayrıca kanadın rüzgara göre yön değiştirmesini sağlayan yaw mekanizması, bir motor sağı bir motor solu kontrol edecek şekilde iki adet seçildi. Sonraki aşamalarda türbinin en önemli parçaları olarak düşündüğümüz kanat (pala) üzerinde duruldu. NACA 4415 profili incelendi. Kanat üzerinde etkili olabilecek değişkenler belirlendi. Boyut analiziyle yapılan incelemede kanat üzerinde meydana gelen kuvvetlerin bu değişkenlerin fonksiyonu olduğu görüldü. Symlab programında kaldırma ve direnç katsayılarının değişimi incelendi. Kaldırma kuvvetini maksimize etmek için hücum açısının ( $\alpha$ )  $10^\circ$  'yi geçmemesi gerektiği belirlendi ve bu açı  $8^\circ$  seçildi. Türbin karakteristikleri incelendi. Uç hız oranının 6-8 arası değiştiği durumlarda güç katsayısının ( $C_p$ ) maksimum



olabileceği saptandı. Diğer değişkenler aynı kalmak şartıyla pala sayısının değişimi incelendi ve üç palalı türbinin aerodinamik veriminin yüksek olduğu belirlendi. Symlab programında üç boyutlu kanat profili oluşturuldu ve basınç katsayısının kanat yüzeyi boyunca değişimi incelendi.

Bu çalışmamızda rüzgar türbinlerinin kurulacağı iki bölge seçildi. Birinci bölge Tekirdağ Muratlı ilçesinde, fabrikanın bulunduğu alanın bahçesidir. Buraya inşa edilen rüzgar türbinleri vasıtası ile fabrikanın elektrik enerjisi ihtiyacı karşılanabilecektir. Etüd edilen ikinci bölge ise rüzgar hızı daha yüksek olan Osmaniye bölgesi olarak seçildi. Repa incelenerek Tekirdağ bölgesi için ortalama rüzgar hızı 7 m/s alındı. Dewind'in kataloğundaki güç eğrisinden bu hıza karşılık gelen güç üretimi 160 kW belirlendi. Diğer değişkenler aynı kalmak şartıyla kanat sayısı değiştirilerek elde edilen veriler sonucu 3 kanatlı türbin veriminin daha yüksek olduğu saptandı ve 3 kanatlı türbin seçildi. Üç kanatlı bir türbin için uç hız oranı  $\lambda = 8$  seçildi. Symlab programında kanat profili oluşturuldu ve kandan tüm yüzeyinde basınç katsayısının değişimi incelendi. Seçilen NACA 4415 profilinin yarıçapı 21 m olarak bulundu. Rotorun devir sayısı 25,4 d/dk. olarak hesaplandı. Aynı yarıçaplı kanat ortalama rüzgar hızı 8,5 m/s olan Osmaniye Sırtköy mevkiinde kullanıldığında 245 kW güç elde edilebileceği hesaplandı. Rotor devir sayısı ise 32 d/dk. olarak bulundu.

Tekirdağ'da bulunan Eksun Un Fabrikasının yıllık elektrik ihtiyacı 5.000.000 kWh olarak belirlendi. Bir türbinin yılda iki ay bakım ve arıza gibi nedenlerle çalışmadığı kabul edildi. Türbinlerin aktif olarak çalışacağı yılda 8040 saat baz alındığında Eksun'un ihtiyacını karşılamak için Tekirdağ'da 5 türbin inşa edilmesi gerektiği anlaşıldı. Aynı enerji ihtiyacının Sırtköy'de inşa edilecek 3 türbinle karşılanabileceği sonucuna ulaşıldı. Maliyetler incelendiğinde Tekirdağ'da inşa edilecek türbinlerin birim maliyeti 4,30 cent/kWh olarak hesaplandı. Osmaniye'de ise birim maliyetin 2,98 cent/kWh'e kadar indiği saptandı. Geri Ödeme Süresi incelendiğinde Tekirdağ'da inşa edilecek türbinler 12,37 yılda kendini amorti ederken bu süre Sırtköy'de 6,08 yıla kadar gerilemektedir. Rüzgar türbinlerinin literatürde yaklaşık ömrünün 20 yıl, mekanik aksamının ise 50 yıl süresince kullanılabileceği düşünüldüğünde, kurulacak rüzgar enerjisi tesisinin geri ödeme sürelerinden karlı bir yatırım olacağı aşikardır. Ancak Tekirdağ'da kurulacak bir rüzgar türbininin geri ödeme süresi 10 yılın üzerindedir. Bunun için Tekirdağ'da türbin inşa etmek yerine Osmaniye seçilirse ve orada üretilen elektrik devlete satılırsa, bu miktar Tekirdağ'da tüketilen elektrik miktarını telafi edecektir. Böylece daha karlı bir yatırım yapılmış olacaktır.

**KAYNAKLAR**

- Akman A.T., ; Roth K., (2005), Rüzgar Enerjisi, Bilim ve Teknik Dergisi, Sayı: 457, Sayfa:44
- Akman A.T., (2004) “Rüzgar Enerjisi”, Bilim ve Teknik Dergisi, Sayı: 436, Sayfa: 74
- Aldoss,T.K., ve Najjar, Y.S.H., (1985) “Further Development of the Swinging - Blade Savonius Rotor”, Wind Engineering, Vol. 9, No.3
- Anonim, (1996), “Uzayda Güneş Enerjisi Üretimi”, Tubitak Bilim Ve Teknik Dergisi, Sayı 341, Sayfa 96
- Anonim, (1999-a), Türkiye’deki Barajlar ve Hidroelektrik Santraller, DSİ Genel Müdürlüğü,
- Anonim, (2000-a), 1999 Enerji İstatistikler Konseyi Türk Milli Komitesi, Ankara
- Anonim, (2000-b), 1999 Enerji Raporu, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Ankara
- Anonim, (2000-c), Sürdürülebilir Kalkınma ve Nükleer Enerji, TAEK
- Anonim, (2003-a) "Large wind Rising" Renewable Energy World, pp 39-51, Volume 6, No: 2, London
- Anonim, (2003-b), Tubitak Bilim Ve Teknik Dergisi, “Avustralya Güneş Enerjisi İçin Kolları Sıvıyor”,Sayı:423, Sayfa: 8 Aralık 2003
- (Anonim, 2005-a) [www.bbc.co.uk/ climate/policies/kyoto.shtml](http://www.bbc.co.uk/climate/policies/kyoto.shtml)
- Anonim, (2005-b), Tubitak Bilim Ve Teknik Dergisi, “Ucuz, Verimli ve Güvenilir Bir Çatı Güneş Enerjisi Düzenegi ”,Sayı:457, Sayfa: 46 Aralık 2005
- Anonim, (2005-c) “Dalga Enerjisi”, Bilim ve Teknik Dergisi, Sayı: 457, Sayfa: 43
- Anonim, (2006-a) <http://www.euas.gov.tr>
- Anonim, (2007-a), <http://www.teias.gov.tr/AylikElektrikIstatistikleri/> AylikElektrik Istatistikleri.xls,
- Anonim, (2007-b ) [ec.europa.eu/environment/climat/kyoto.htm](http://ec.europa.eu/environment/climat/kyoto.htm)
- Anonim, (2008-a) [http://www.wwf.org.tr/nasil-yardim-edebilirsiniz/ nasil-yasiyorsunuz / enerji/](http://www.wwf.org.tr/nasil-yardim-edebilirsiniz/nasil-yasiyorsunuz/enerji/)
- Anonim, (2008-b) "AB'den yeni iklim önlemleri" BBC, [www.bbc.co.uk/turkish/europe/ story /2008/01/080123\\_eu\\_climate.shtml](http://www.bbc.co.uk/turkish/europe/story/2008/01/080123_eu_climate.shtml) - 34k -
- Anonim, (2008-c), <http://www.wwf.org.tr/nasil-yardim-edebilirsiniz/nasil-yasiyorsunuz/enerji>
- Anonim, (2008-d) Vikipedi Özgür Ansiklopedi, EİE Güneş enerjisi,
- Anonim, (2008-e), WWEA Press Release,[http://www.wwindea.org/home/images/stories/pr\\_statistics2007\\_210\\_2\\_08\\_red .pdf](http://www.wwindea.org/home/images/stories/pr_statistics2007_210_2_08_red.pdf)
- Anonim, (2008-f) [http://www.alliantenergykids.com/stellent2/groups/public/documents/ pub /phk\\_ee\\_re\\_001502.hcsp](http://www.alliantenergykids.com/stellent2/groups/public/documents/pub_phk_ee_re_001502.hcsp)
- Anonim, (2008-g ) , Enercon Product Document, <http://www.world-wind-energy.info/>
- Avşar, H., vd., (2001). Vol. 9, No:3, Brazil. Avşar H., Çetinkaya K., Gökkaya H. “Afyon Yöresi Rüzgar Potansiyeli ve Elektrik Enerjisi Üretimi için Savonius Tasarımı”, Yenilenebilir

Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi kitabı, Kayseri, s.171-178

Aygün, E. (1989), “Güneş Enerjisi Nedir, Nasıl Faydalanılır?”, Tubitak Bilim Ve Teknik Dergisi, Sayı 257, Sayfa 22

Bölme, A.B., Gündüz, Ö., Kılıç, İ., (2007), “Nükleer Enerji’ye Genel Bir Bakış”, [www.taek.gov.tr/bilgi/pdf/nukleer\\_enerji\\_genel\\_bakis.pdf](http://www.taek.gov.tr/bilgi/pdf/nukleer_enerji_genel_bakis.pdf)

Bozkurt, G., (1994), “Nükleer Santrallerin Elektrik Enerjisi Üretiminde Dünü, Bugünü ve Yarını”, 21 YY. Bütün Yönleri ile Enerji Sempozyumu, İstanbul

Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N. ve Bossanyi, E., (2001). Wind Energy Handbook, John Wiley & Sons, Ltd., Wets Sussex

Bortolani,L., (2005), Luca Bortolani, Wintech International

Bonus, (2004). Bonus 600 Kw Brochure

Clulow, R., (1999) "Financing for Wind Energy", Renewable Energy, Pergamon, Vol.16, pp:858-862

Çöten, A., (1990) “Rüzgar Enerjisi”, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enst.Yüksek Lisans Tezi, İstanbul

DeWind, (2004). D4-Series Brochure

Doğu, B.,Uysal, Z. (1991), Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü, 1.Ulusal Sempozyumu, Ankara

Dursun, B., vd., (2005), “Savonius Tipi Rüzgar Türbini Tasarımı”, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu

Emniyetli, G., (2007), Eysel Elektrik İhtiyacının Karşılanması İçin Rüzgar Türbini Tasarımı, Trakya Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi

Eker, B., Vardar, A., (2002) “Bir Rüzgar Türbin Kanadı Olarak NACA 4415 Profilinin Rüzgar Tüneli Testleri”, 3 E Dergisi, Sayı:96

Eker, B., Vardar, A., (2003) ”Rüzgar Türbinlerinde Uygun Kanat Tipinin Seçilmesi”, 3 E Dergisi, Sayı:105

Eker B., Vardar A., (2005) "Trakya Yöresinde Rüzgar Türbinleri İçin Uygun Yerlerin Saptanması", 3 E Dergisi, Sayı 133

Eker B., Aytacıoğlu E.E., (2006) "Rüzgar Enerjisi Çiftlikleri", 3 E Dergisi, Sayı 142

Enercon, (2007), Enercon product document, Hannover Energy International Fair

Ena, (2007 ), “Yelkapanların Denetim Teknolojisindeki Temel İlkeler” Ena Mühendislik, 2007

Gökmen, F., (2008), “Stall ve Angle of Attack” <http://www.formulamodel.com/bilgiler/stallattack.htm>

IEA, (2008 ) “IEA Statistics, Electricity Information 2008”

Laitone, E.V., (1997) Department of Mechanical Engineering University of California Berkeley, CA 94702, USA, US, Mart

J.Swanson vd.(2002) “Improving the Efficiency of Small Wind Turbines by Optimizing

Blade Number and Solidity” Department of Mechanical and Aeronautical Engineering

Johnson, Gary L. (2001) Wind Energy Systems: Electronic Edition. Manhattan, KS, 10 December

Karadeli, S., (1999): “Rüzgar Enerjisi”, Temiz Enerji Vakfı Kitapçık Serisi, s.6-12, No:11, Ankara

Karamolla M., Doğan H., (2006) “Hidrojen Enerjisi Üretimi ve Kullanım Olanakları”, Makine Tek Dergisi, Sayı: 101

Korur, E., (1990), “Güneş Enerjisi Hayatımıza Giriyor”, Tubitak Bilim Ve Teknik Dergisi, Sayı 268, Sayfa 5

Manwell, J.F., McGovan J.G. ve Rogers A.L., (2002). Wind Energy Explained, John Wiley & Sons, Ltd., West Sussex

Mazlum, S.C., (2008) "AB'nin Yenilenebilir Enerji ve İklim Değişikliği Paketi", Semra Cerit Mazlum, açık radyo programı

Modi, V.J. ve Fernando, M.S.U.K.,(1989) “On The Performance of The Savonius Wind Turbine”, Journal of Solar Energy Engineering, Vol.111, 71-81

Nurbay N., Çınar A., (2005) “Rüzgar Türbinlerinin Çeşitleri ve Birbirleriyle Karşılaştırılması”, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli

Özdamar, A., (2000) “Dünya ve Türkiye’de Rüzgar Enerjisinden Yararlanılması Üzerine Bir Araştırma”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6. Cilt, 2.-3. Sayı, s.133.145

Özer Z., (1996) “Biyokütle Enerjisi”, Bilim ve Teknik Dergisi, Sayı: 342, Sayfa: 56

Özgener, Ö., (2002) Dokuz Eylül üniversitesi Fen Ve Mühendislik Dergisi Cilt: 4 Sayı: 3 Sh. 159-173

Özgür M.A., (2002), Kütahya’da Seçilen Bir Konumda Rüzgar Verileriyle Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyelinin Bulunması, Erciyes Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Kayseri

Reupke, P., ve Probert, S.D., (1991) “Slatted-Blade Savonius Wind-Rotors”, Applied Energy, Vol.40

Ruud V. R., Nando T., 2004) “Design of Airfoils for Wind Turbine Blades”, Delft University of Technology

Sadhy, D., 1995) Sadhy D. “The Application of wind power to irrigation in Brazil, Wind Engineering”,

Serpen Ü., (1996) “Jeotermal Enerji”, Bilim ve Teknik Dergisi, Sayı: 339, Sayfa: 60, Şubat:1996

Şen, Ç., (2003) Gökçeada’nın Elektrik Enerjisi İhtiyacının Rüzgar Enerjisi ile Karşılanması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir

Tavman İ.H., Önder T.K., (2001) "Türkiye'de Rüzgar Enerjisi Potansiyeli ve Kullanımı", I. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, İzmir, Sayfa: 316-323

Taylor, D., (1995) “Energy Resources Package”, Open University Publication, England

TEİAŞ, (2009) “<http://www.teias.gov.tr/>”

Thomas J., (2008) “Science and Technology”, Virginia

TUİK, (2009) “<http://www.tuik.gov.tr/>”

Tümerdem O., (2002) “Rüzgar enerjisi teknolojisi ve Türkiye'nin rüzgar enerjisi potansiyeli”, Yıldız Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul

Türksoy, F., (2001) “Rüzgar verisi ölçümü ve analizi”, Rüzgar Enerjisi Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s 87-103

Tsoutsos T., vd., (2005) “Environmental Impacts From The Solar Energy Technologies”, Energy Policy, 33, 289-296

Uslu T., (1990), “Türkiye’deki Kömüre Dayalı Termik Santraller Çevreyi Olumsuz Etkileyen Faktörleri ve Yarattığı Çevre Sorunları”, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara

Ushiyama, I. ve Nagai, H., (1988) “Optimum Design Configurations and Performance of Savonius Rotors” Wind Engineering Vol. 12 (1), 59-75

Ültanır, M.Ö., (1996) “21. Yüzyılın Eşiğinde Güneş Enerjisi”, Bilim ve Teknik Dergisi”, Sayı 340, S:50-55

Ültanır, M.Ö., (1996) “Rüzgar Enerjisi”, Tubitak Bilim Ve Teknik Dergisi, Sayı:341, Sayfa: 56

Yahya, H., (2005) “Rüzgarlar nasıl oluşur?” , Ortadoğu gazetesi 08 Temmuz

Yavuzcan, G., (1961) “Türkiye rüzgar enerjisi ve Türkiye’de kullanılan rüzgar türbinleri üzerinde bir araştırma”, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zirai Kuvvet Makineleri Kürsüsü, Ankara

Yılmaz, A., (1990), “Güneş Enerjisi İle Dönen Dişliler”, Tubitak Bilim Ve Teknik Dergisi, Sayı 266, Sayfa 51

Vardar, A., (2002) “Trakya Yöresinde Kırsal Kesimde Kurulacak Bir Rüzgar Türbini İçin En Uygun Kanat Tipinin, Kanat Açısının Ve Kanat Konumunun Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma”, Trakya Üniversitesi Doktora Tezi , Tekirdağ

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi 10.09.1981

Doğum yeri Ardahan

Lise 1995-1998 Tekirdağ Namık Kemal Lisesi

Lisans 1999-2004 Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fak.  
Makina Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2005-2008 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makina Müh. Anabilim Dalı, Kontrüksiyon Programı

**Çalıştığı kurumlar**

2004-2007 Eksim Holding A.Ş.

2007-Devam ediyor Ce-Ka Müh. Ltd. Şti.

## EKLER

## EK 1 Türkiye’de kurulu güç üretiminin yıllar itibariyle gelişimi ( TEİAŞ, 2009)

TÜRKİYE KURULU GÜÇ VE ÜRETİMİNİN YILLAR İTİBARIYLA GELİŞİMİ										
ANNUAL DEVELOPMENT OF INSTALLED CAPACITY AND GENERATION IN TURKEY										
YILLAR	KURULU GÜÇ (MW)					ÜRETİM (GWh)				
	TERMİK	HİDROLİK	JEOTER.+RÜZ	TOPLAM	ARTIŞ	TERMİK	HİDROLİK	JEOTER.+RÜZ	TOPLAM	ARTIŞ
YEARS	THERMAL	HYDRO	GEO THERM.WIND	TOTAL	INCREASE %	THERMAL	HYDRO	GEO THERM.WIND	TOTAL	INCREASE %
1990	9535,8	6764,3	17,5	16317,6	3,2	34314,9	23148,0	80,1	57543,0	10,6
1991	10077,8	7113,8	17,5	17209,1	5,5	37481,7	22683,3	81,3	60246,3	4,7
1992	10319,9	8378,7	17,5	18716,1	8,8	40704,6	26568,0	69,6	67342,2	11,8
1993	10638,4	9681,7	17,5	20337,6	8,7	39779,0	33950,9	77,6	73807,5	9,6
1994	10977,7	9864,6	17,5	20859,8	2,6	47656,7	30585,9	79,1	78321,7	6,1
1995	11074,0	9862,8	17,5	20954,3	0,5	50620,5	35540,9	86,0	86247,4	10,1
1996	11297,1	9934,8	17,5	21249,4	1,4	54302,8	40475,2	83,7	94861,7	10,0
1997	11771,8	10102,6	17,5	21891,9	3,0	63396,9	39816,1	82,8	103295,8	8,9
1998	13021,3	10306,5	26,2	23354,0	6,7	68702,9	42229,0	90,5	111022,4	7,5
1999	15555,9	10537,2	26,2	26119,3	11,8	81661,0	34677,5	101,4	116439,9	4,9
2000	16052,5	11175,2	36,4	27264,1	4,4	93934,2	30878,5	108,9	124921,6	7,3
2001	16623,1	11672,9	36,4	28332,4	3,9	98562,8	24009,9	152,0	122724,7	-1,8
2002	19568,5	12240,9	36,4	31845,8	12,4	95563,1	33683,8	152,6	129399,5	5,4
2003	22974,4	12578,7	33,9	35587,0	11,7	105101,0	35329,5	150,0	140580,5	8,6
2004	24144,7	12645,4	33,9	36824,0	3,5	104463,7	46083,7	150,9	150698,3	7,2
2005	25902,3	12906,1	35,1	38843,5	5,5	122242,3	39560,5	153,4	161956,2	7,5
2006	27420,2	13062,7	81,9	40564,8	4,4	131835,1	44244,2	220,5	176299,8	8,9
2007	27271,6	13394,9	169,2	40835,7	0,7	155196,2	35850,8	511,1	191558,1	8,7

## EK 2 Dünya genelinde elektrik enerjisi üretimi (IEA, 2008)

2006 OECD ÜLKELERİNDE ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ ELECTRICITY GENERATION OF OECD COUNTRIES TWh										
ÜLKELER	KÖMÜR COAL	SM LIQUID	GAZ GAS	YENİLENEBİLİR +ATIK RENEWABLE +WASTES	TERMİK TOPLAM THERMAL TOTAL	NÜKLEER NUCLEAR	HİDROLİK TOPLAM HYDRO TOTAL	JEOTERMAL GEOTHERMAL	GÜNEŞ+RÜZGAR +DALGA SOLAR+WIND +WAVE	TOPLAM TOTAL
1 AVUSTURALYA	198,92	2,39	30,56	2,04	233,91		16,03		1,72	<b>251,66</b>
2 AVUSTURYA	8,31	1,64	10,72	3,42	24,09		37,66		1,76	<b>63,51</b>
3 BELÇİKA	9,21	1,38	23,02	3,11	36,72	46,65	1,63		0,62	<b>85,62</b>
4 KANADA	104,71	9,41	33,39	9,06	156,57	97,96	355,51		2,55	<b>612,59</b>
5 ÇEK CUMHURİYETİ	50,52	0,26	3,29	0,93	55,00	26,05	3,26		0,05	<b>84,36</b>
6 DANİMARKA	24,64	1,61	9,42	3,92	39,59		0,02		6,11	<b>45,72</b>
7 FİNLANDİYA	23,60	0,48	12,32	10,91	47,31	22,91	11,49		0,59	<b>82,30</b>
8 FRANSA	26,32	7,11	22,05	5,00	60,48	450,19	61,11		2,69	<b>574,47</b>
9 ALMANYA	302,29	9,55	76,08	21,34	409,26	167,27	27,30		32,93	<b>636,76</b>
10 YUNANİSTAN	32,26	9,60	10,61	0,14	52,61		6,48		1,70	<b>60,79</b>
11 MACARİSTAN	7,09	0,52	13,16	1,40	22,17	13,46	0,19		0,04	<b>35,86</b>
12 İZLANDA	0,01	0,00		0,00	0,01		7,29	2,63		<b>9,93</b>
13 İRLANDA	8,03	2,71	14,47	0,13	25,34		1,09		1,62	<b>28,05</b>
14 İTALYA	50,43	45,88	158,08	6,74	261,13		43,43	5,53	4,03	<b>314,12</b>
15 JAPONYA	298,89	120,74	254,49	22,40	696,52	303,43	95,58	3,08	1,75	<b>1100,36</b>
16 KORE	152,91	23,79	72,66	0,35	249,71	148,75	5,22		0,34	<b>404,02</b>
17 LÜKSEMBURG			3,25	0,08	3,33		0,92		0,08	<b>4,33</b>
18 MEXİKA	31,73	53,84	113,61	2,45	201,63	10,87	30,39	6,69	0,07	<b>249,65</b>
19 HOLLANDA	26,49	2,10	56,66	6,64	91,89	3,47	0,11		2,92	<b>98,39</b>
20 YENİ ZELANDA	5,46	0,02	9,83	0,69	16,00		23,45	3,40	0,67	<b>43,52</b>
21 NORVEÇ	0,14	0,02	0,45	0,45	1,06		119,80		0,80	<b>121,66</b>
22 POLONYA	150,52	2,44	3,11	2,39	158,46		3,02		0,26	<b>161,74</b>
23 PORTEKİZ	14,95	5,25	12,34	2,01	34,55		11,47	0,09	2,93	<b>49,04</b>
24 SLOVAKYA	5,73	0,72	1,91	0,42	8,78	18,01	4,57		0,06	<b>31,42</b>
25 İSPANYA	68,27	23,83	90,28	3,05	185,43	60,13	29,50		27,99	<b>303,05</b>
26 İSVEÇ	1,98	1,67	0,58	9,36	13,59	66,98	61,74		0,99	<b>143,30</b>
27 İSVİÇRE	0,00	0,18	0,79	2,33	3,30	27,82	32,88		0,04	<b>64,04</b>
28 TÜRKİYE	46,66	4,34	80,69	0,15	131,84		44,24	0,09	0,13	<b>176,30</b>
29 İNGİLTERE	151,94	5,00	141,34	11,91	310,19	75,45	8,46		4,23	<b>398,33</b>
30 ABD	2128,43	80,55	839,26	71,95	3120,19	816,20	317,69	16,58	29,44	<b>4300,10</b>
<b>OECD</b>	<b>3930,52</b>	<b>417,02</b>	<b>2098,41</b>	<b>204,76</b>	<b>6650,71</b>	<b>2355,57</b>	<b>1361,52</b>	<b>38,09</b>	<b>129,12</b>	<b>10534,99</b>
<b>DÜNYA</b>	<b>7756,50</b>	<b>1095,69</b>	<b>3806,91</b>	<b>239,38</b>	<b>12898,47</b>	<b>2767,94</b>	<b>3119,23</b>	<b>59,24</b>	<b>144,74</b>	<b>19014,22</b>



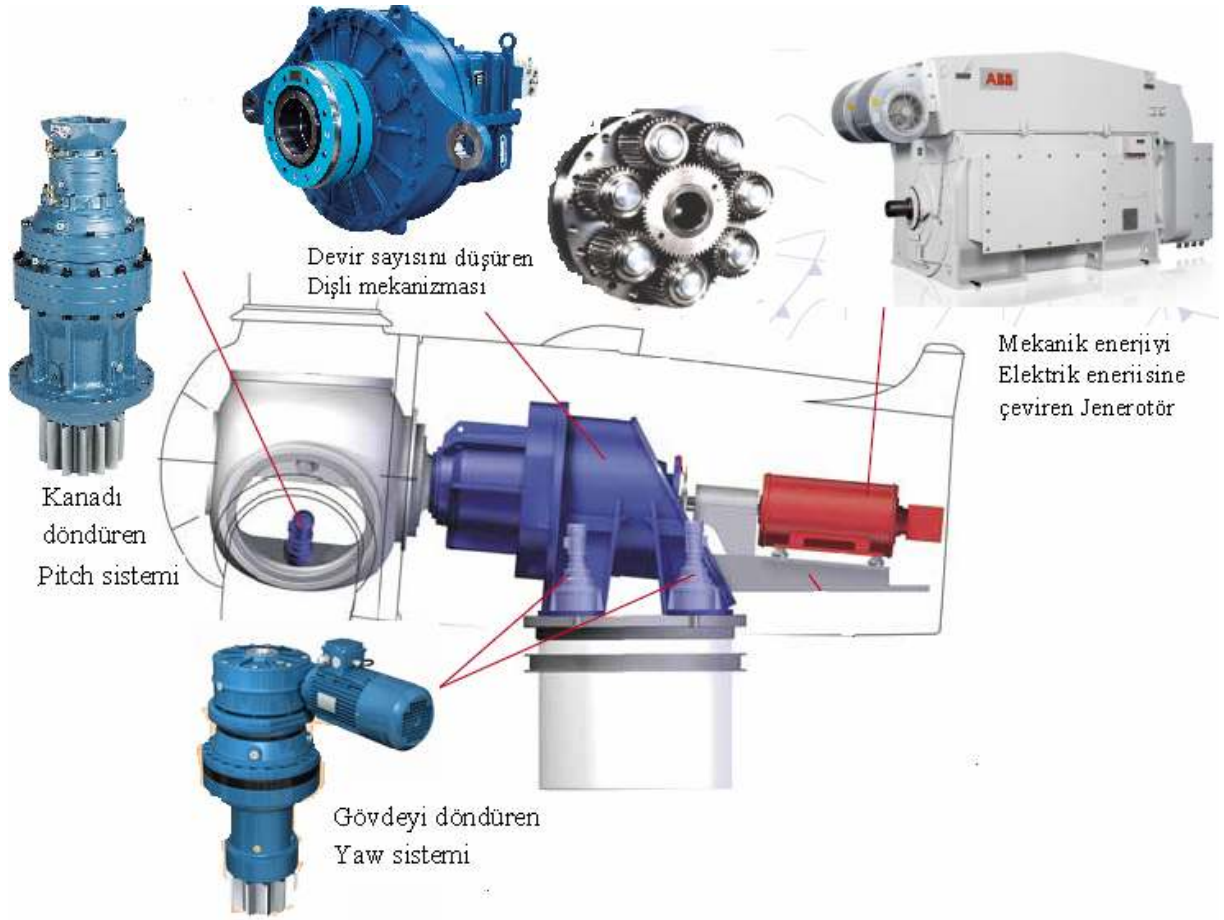
## EK 3 Türkiye elektrik enerjisi tüketimi istatistikleri (TUİK, 2009)

## YILLAR İTİBARIYLA TÜRKİYE ELEKTRİK ENERJİSİ TÜKETİMİ

Birim: GWh

YILLAR	MESKEN		TİCARET		RESMİ				GENEL		DİĞER		TOPLAM
		%		%	DAİRE	%	SANAYİ	%	AYDINLATMA	%		%	
1990	9 059,8	19,4	2 557,8	5,5	1 463,3	3,1	29 211,8	62,4	1 231,4	2,6	3 193,4	6,8	46 820,0
1991	10 833,3	22,0	3 054,1	6,2	1 864,3	3,8	28 511,8	57,9	1 417,9	2,9	3 593,1	7,3	49 282,9
1992	11 481,7	21,3	3 270,3	6,1	2 008,6	3,7	31 535,6	58,4	1 859,7	3,4	3 828,8	7,1	53 984,7
1993	12 559,0	21,2	3 605,4	6,1	2 266,4	3,8	34 247,1	57,8	2 270,3	3,8	4 288,8	7,2	59 237,0
1994	13 449,7	21,9	3 704,7	6,0	3 315,1	5,4	34 138,1	55,6	2 502,1	4,1	4 291,2	7,0	61 400,9
1995	14 492,5	21,5	4 195,2	6,2	3 011,6	4,5	38 007,4	56,4	3 105,9	4,6	4 581,2	6,8	67 393,9
1996	16 394,2	22,1	5 740,9	7,7	3 002,5	4,0	40 638,3	54,8	3 084,9	4,2	5 295,9	7,1	74 156,6
1997	18 514,4	22,6	6 852,4	8,4	3 803,4	4,6	43 491,3	53,1	3 310,2	4,0	5 913,2	7,2	81 884,9
1998	20 034,1	22,8	7 733,8	8,8	4 271,6	4,9	46 139,0	52,6	3 691,2	4,2	5 835,0	6,7	87 704,6
1999	22 584,3	24,8	8 208,0	9,0	3 775,1	4,1	46 480,3	51,0	4 185,3	4,6	5 968,9	6,5	91 201,9
2000	23 887,6	24,3	9 339,4	9,5	4 107,9	4,2	48 841,7	49,7	4 557,7	4,6	7 561,4	7,7	98 295,7
2001	23 557,3	24,3	9 907,8	10,2	4 370,0	4,5	46 989,0	48,4	4 888,2	5,0	7 357,7	7,6	97 070,0
2002	23 559,4	22,9	10 867,3	10,6	4 580,5	4,4	50 489,4	49,0	5 103,9	5,0	8 347,3	8,1	102 947,9
2003	25 194,9	22,5	12 871,9	11,5	4 554,0	4,1	55 099,2	49,3	4 974,8	4,5	9 071,2	8,1	111 766,1
2004	27 619,0	22,8	15 656,2	12,9	4 530,7	3,7	59 565,9	49,2	4 432,5	3,7	9 337,5	7,7	121 141,9
2005	30 935,0	23,7	18 543,8	14,2	4 662,7	3,6	62 294,2	47,8	4 143,0	3,2	9 684,1	7,4	130 262,8
2006	34 466,0	24,1	20 256,4	14,2	6 044,8	4,2	68 026,7	47,5	3 950,4	2,8	10 326,2	7,2	143 070,5
2007	36 475,8	23,5	23 141,2	14,9	6 933,2	4,5	73 794,5	47,6	4 052,6	2,6	10 737,9	6,9	155 135,3

#### EK 4 Tasarlanan rüzgar türbinine yakın parametrelerde üretilen türbin verileri



Şekil Ek 4 1 Fuhrlaender firmasına ait 600 kw'lık FL 600 model rüzgar türbini iç yapısı

Çizelge Ek 4 1 Fuhrlaender firmasına ait FL 600 model rüzgar türbini teknik özellikleri

<b>ROTOR</b>	
ÇAP	52 m
KANAT SÜPÜRME ALANI	2124 m <sup>2</sup>
AÇISAL HIZ	24 d/dk.
GÜÇ KONTROLÜ	Stall
KANAT SAYISI	3

<b>DİŞLİ KUTUSU</b>	
TİPİ	Kombine planet dişli ve helisel dişli
DİŞLİ ORANI	1/62

<b>JENERATÖR</b>	
TİPİ	Üç fazlı asenkron
VOLTAJ	690V 50Hz
HIZI	Ort. 1500 d/dk.

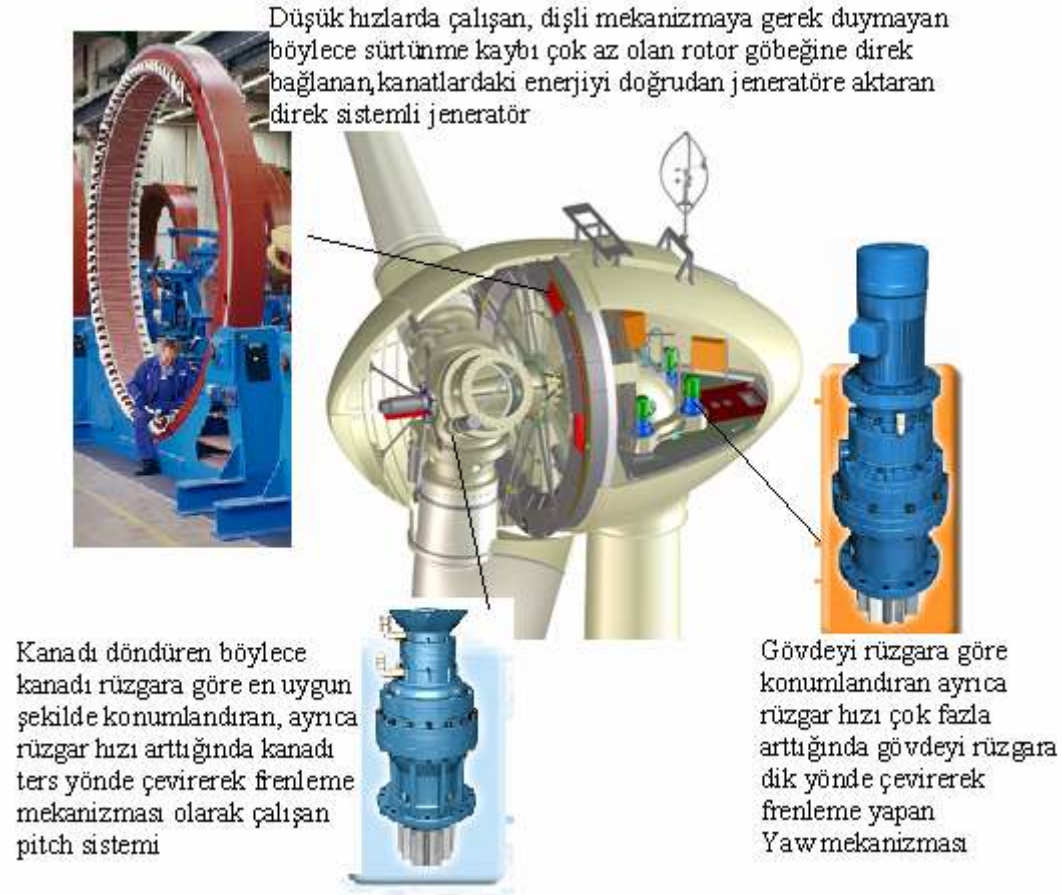
<b>GÜÇ ÜRETİMİ</b>	
NOMİNAL GÜÇ	600 KW
BAŞLANGIÇ RÜZGAR HIZI	4 m/s
KESME HIZI	25 m/s
MAKSİMUM TEORİK RÜZGAR HIZI	70 m/s

<b>KULE</b>	
TİPİ	BORU ŞEKLİNDE
YÜKSEKLİĞİ	50 m

<b>KONTROL</b>	
YAW SİSTEMİ	4 motor ile
ANA FREN SİSTEMİ	Kanat stall etkisiyle
İKİNCİ FREN SİSTEMİ	Mekanik

<b>SES KONTROLÜ</b>	
SES SEVİYESİ	107 dB

<b>AĞIRLIKLAR</b>	
ROTOR	16 t
GÖVDE	22,3 t
KULE	30-50 t



Şekil Ek 4 2 Direct Drive Sistemli Enercon E-53 model rüzgar türbinin iç yapısı

Çizelge Ek 4 2 Enercon E-53 model türbine ait teknik özellikler

<b>ROTOR</b>	
ÇAP	52,9 m
KANAT SÜPÜRME ALANI	2198 m <sup>2</sup>
AÇISAL HIZ	12-29 d/dk.
GÜÇ KONTROLÜ	Aktif pitch kontrol
KANAT SAYISI	3

<b>JENERATÖR</b>	
TİPİ	Direct drive
ANA RULMAN	Tek sıralı silindirik rulman
JENERATÖR	Enercon direk sistemli senkron jeneratör

<b>GÜÇ ÜRETİMİ</b>	
NOMİNAL GÜÇ	800 KW
ORTALAMA RÜZGAR HIZI	7,5 m/s
KESME HIZI	28-34 m/s (Enercon fırtına kontrolü programı ile)
MAKSİMUM TEORİK RÜZGAR HIZI	57 m/s

<b>KULE</b>	
TİPİ	BORU ŞEKLİNDE
YÜKSEKLİĞİ	73 m

<b>KONTROL</b>	
YAW SİSTEMİ	Motor vasıtasıyla yüke duyarlı kontrol
PİTCH SİSTEMİ	Her bir kanat için bağımsız kontrol sistemi
ANA FREN SİSTEMİ	Kanat pitch etkisiyle (üç kanat birbirinden bağımsız)
İKİNCİ FREN SİSTEMİ	Mekanik rotor freni ve rotor kilidi