

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LOKAL BİR RÜZGAR SANTRALİ TASARIMI

Tarık Tuncay TÜRKMEN

Tez Yöneticisi
Yrd. Doç. Dr. Mehmet GEDİKPINAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Elazığ, 2005

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LOKAL BİR RÜZGAR SANTRALİ TASARIMI

Tarık Tuncay TÜRKMEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Bu tez, 16/09/2005 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği / ~~çokluğu~~ ile başarılı / ~~başarısız~~ olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet GEDİKPINAR

Üye: **Doç.Dr.Hanifi GULDEMİR**

Üye:

Yrd.Doç.Dr. Mehmet GEDİKPINAR

Üye:

Üye:

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 28/09/2005 tarih ve 2005/33-3 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında bilgi ve tecrübesi ile bana yardımcı olup çok yoğun olmasına rağmen bana vakit ayıran değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Mehmet GEDİKPINAR 'a, ayrıca çalışmamda bana her türlü desteği veren Arş. Gör. Resul ÇÖTELİ 'ye sonsuz teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	
İÇİNDEKİLER.....	I
ŞEKİL LİSTESİ.....	III
TABLO LİSTESİ.....	V
SİMGELER.....	VI
KISALTMALAR.....	VII
ÖZET.....	VIII
1. GİRİŞ.....	1
2. ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARI.....	4
2.1 RÜZGAR	5
2.2. Rüzgar Enerjisinin Oluşumu	5
2.3. Rüzgarın karakteristik Özellikleri.....	6
2.4. Rüzgarı Etkileyen Faktörler.....	13
2.5. Yeryüzündeki Rüzgar Sistemleri.....	15
2.5.1. Batı Rüzgarları.....	15
2.5.2. Kutup Rüzgarları.....	16
2.5.3. Alize Rüzgarları.....	17
2.5.4. Mevsim Rüzgarları.....	17
2.5.5. Yerel Rüzgarlar (Mahalli Rüzgarlar).....	18
2.5.6. Föhn Rüzgarları.....	18
2.5.7. Günlük Kara ve Deniz Rüzgarları.....	19
2.5.8. Yeryüzü şekillerine bağlı günlük rüzgarlar.....	20
2.5.9. Ağırlaştırma rüzgarları	21
2.6. Rüzgarın İş yapabilme Yeteneği.....	21
3. RÜZGAR ENERJİ SANTIALLERİ.....	25
3.1. Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi.....	28
3.2. Rüzgar Gücünün Yapısı ve İmalatı.....	30
3.3. Rüzgar Türbinleri.....	33
3.3.1. Türbinlerin Yapıları.....	34
3.3.2. Rüzgar Türbinlerinin Büyüklüğü.....	38

3.4.	Rüzgar Türbin Genaratörleri.....	40
3.4.1.	Senkron Genaratörler.....	42
3.4.2.	Asenkron Generatörler.....	42
3.4.3.	Rüzgar Türbin Genaratörlerinin Şebekeye Bağlantıları.....	45
3.4.	Kanatlar.....	46
4.	LOKAL BİR RÜZGAR SANTRALİ TASARIMI.....	50
4.1.	Elazığ İlinin İklimi ve Rüzgar Potansiyeli.....	50
4.2.	Santral Yerin Belirlenmesi.....	55
4.3.	Rüzgar Enerji Potansiyelinin Belirlenmesi.....	56
4.4.	Elazığ'ın Rüzgar Güç Yoğunluğu.....	57
4.5.	Rüzgar Türbin Tipinin Seçilmesi.....	58
4.6.	Güç Hesabı.....	59
4.7.	Maliyet.....	60
4.8.	Elazığ'da Bir Rüzgar Santrali Kurulması İçin Yapılan Çalışmalar.....	61
4.9.	Santral Kurulmasında Resmi Prosedür.....	61
5.	ALTERNATİF BİR RÜZGAR SANTRALİ TASARIMI.....	63
6.	SONUÇ VE TEKLİFLER.....	66
	KAYNAKLAR.....	
	ÖZGEÇMİŞ.....	

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Rüzgar Yönleri Ve Türkiye’de Esen Başlıca Rüzgarlar.....	7
Şekil 2.2. Jüriet Anemometresi.....	8
Şekil 2.3. Kepçeli Anemometre.....	9
Şekil 2.4. Ultrasonik Anemometrenin Ölçme Sistemi.....	10
Şekil 2.5. Ultrasonik Anemometre.....	10
Şekil 2.6. Bina Üzerine Kurulu Sabit Mekanik Anemograf.....	11
Şekil 2.7. Elektronik Anemografin Sensörlerinin Kule Üzerine Yerleştirilmesi.....	11
Şekil 2.8. Elazığ İçin Rüzgar Güllü.....	13
Şekil 2.9. Dünyadaki Rüzgar Kuşakları.....	15
Şekil 2.10. Föhn Rüzgarlarının Oluşması.....	19
Şekil 2.11. Deniz Ve Kara Rüzgarlarının Oluşması.....	20
Şekil 2.12. Dağ ve Vadi Meltemi	20
Şekil 2.13. Çok Kanatlı Rüzgar Türbini İle Su Pompalama Sistemi.....	23
Şekil 3.1 Çeşitli Rüzgar Santrali Görüntüleri.....	26
Şekil 3.2. Rüzgardan Elektrik Enerjisi Üretimi.....	28
Şekil 3.3.Türkiye Rüzgar Hız Dağılımı.....	28
Şekil 3.4. Pervane Ve Kısımları.....	31
Şekil 3.5. Kanat Ve Ölçüleri.....	31
Şekil 3.6. Ara Sistem Şeması.....	32
Şekil 3.7. Rüzgar Güllünden Elektrik Elde Edilmesi.....	33
Şekil 3.8. Türbin Regüle Hız Sistemleri.....	37
Şekil 3.9. Rüzgar Türbin Generatörü.....	40
Şekil 3.10. Asenkron Motorlarda Devir Sayısı Moment Karakteristiği.....	43
Şekil 3.11. Asenkron Motorun Generatör Çalışması.....	44
Şekil 3.12. Asenkron Motorun Boşta Çalışma Karakteristiği.....	44
Şekil 3.13 Kanat Elemanının İki Yönden ve kesit Görünüşü.....	47
Şekil 3.14. Kanat Yapıları.....	48
Şekil 3.15Yönlendirici Kanatlar.....	48
Şekil 3.16. Pervane Kanat Tipleri.....	49
Şekil 4.1. Elazığ Şehir Merkezi İçin Hakim Rüzgar Yönü.....	52
Şekil 4.2. Elazığ İçin Tablo 8’deki Değerlere Göre Oluşturulmuş Ortalama Rüzgar	54
Şekil 4.3. Şubat 2001 Rüzgar Hız Grafiği.....	58
Şekil 4.4. Mart 2001 Rüzgar Hız Grafiği.....	58
Şekil 4.5. Seçilen Türbinin PV Güç Eğrisi.....	61
Resim 3.1 Türbin Yapısı.....	35
Resim 5.1. Rüzgar Enerjisinden Elektrik Üretmek İçin Oluşturulan Sistemin Resimleri	65

TABLO LİSTESİ

Tablo	Sayfa
Tablo 2.1. Ülkelerin Rüzgar Güçleri.....	6
Tablo 2.2. Bofor Ölçeği Değerleri.....	12
Tablo 3.1. EİE Tarafından Yapılan Rüzgar Ölçümleri.....	30
Tablo 3.2. Kutup Sayısına Göre Devir Sayısı Değerleri.....	41
Tablo 4.1. Elazığ İlinin Güneşlenme Özellikleri.....	51
Tablo 4.2. Elazığ İlinin Basınç Durumu.....	51
Tablo 4.3. Elazığ İlinin Rüzgar Frekansları.....	52
Tablo 4.4. Elazığ İçin 53 Yıllık Ortalama Rüzgar Hızları.....	53
Tablo 4.5. Maksimum Rüzgar Hızları.....	53
Tablo 4.6. Kuvvetli Rüzgarlı Ve Fırtınalı Gün Ortalaması.....	53
Tablo 4.7. Elazığ İlinin 1987-200 Yılları Arasındaki Aylık Ortalama Rüzgar Hızları.	54
Tablo 4.8. Elazığ İlinin 1987-200 Yılları Arasındaki Ortalama Rüzgar Hızları.....	54
Tablo 4.9. İl Merkezinin Uzun Dönem Sıcaklık Ortalamaları.....	55
Tablo 4.10. İl Merkezinin Uzun Dönem Yağış Ortalamaları.....	55
Tablo 4.11. Şubat 2001 Ölçüm Sonuçları.....	57
Tablo 4.12. Mart 2001 Ölçüm Sonuçları.....	58
Tablo 4.13 Direğin tepesinde rüzgar hızına göre enerji üretimi.....	60
Tablo 4.14 10 m yükseklikte yapılan standart rüzgar hızlarına göre enerji üretimi....	60
Tablo 4.15 BWC XL – 50 Türbinin Değişik Hızlardaki Güç Değerleri.....	61
Tablo 5.1 Rüzgar hızına karşılık üretilen gerilim değerleri.....	65

Kısaltma ve Simgeler

A	: İletkenin kesiti (mm^2)
A.A	: Alternatif akım
A.B.	: Alçak Basınç
D.A.	: Doğru akım
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
DMİ	: Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
ODTÜ	: Orta Doğu Teknik Üniversitesi
RED	: Rüzgar Enerjisi Dönüşümü
TEAŞ	: Türkiye Enerji Üretim-İletim Anonim Şirketi
TEDAŞ	: Türkiye Enerji Dağıtım Anonim Şirketi
WECS	: Rüzgar Enerji Çevrim Sistemleri
Y.B	: Yüksek Basınç
YİD	: Yap İşlet Devret
kCal	: Kilo Kalori
KVA	: Kilo Volt Amper
kW	: Kilowatt
kWh	: Kilo Watt Saat
MW	: Megawatt
n	: Devir sayısı (d/d)
V	: Gerilim (Volt)
n_s	: Senkron devir sayısı (d/d)
S	: Kayma
I_m	: Maksimum akım (Amper)
f	: Frekans (Herz)
V_0	: Gerilimin ortalama değeri (volt)
P_{Top}	: Toplam güç (Watt)
ρ	: Hava yoğunluğu
v	: Hız (m/sn)
η	: Verim
e	: Üretilen gerilim (V)
l	: İletkenin uzunluğu (metre)

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

LOKAL BİR RÜZGAR SANTRALİ TASARIMI

Tarık Tuncay TÜRKMEN

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı
2005, 77 s.

Rüzgar gücü en az 3000 yıldır kullanılmaktadır. İlk olarak milattan önce 5000 yılında Nil nehri üzerindeki kayıklarda rüzgar gücünden faydalanılmıştır. Aynı dönemde Çin’de yel değirmenleri suyu pompalamak için kullanılmıştır. Rüzgar türbinleri hakkındaki ilk yazılı bilgiler türbinlerin yatay eksenli olduğuna dairdir. Perslerin ise milattan önce 700 ‘lü yıllarda dikey eksenli rüzgar türbinleri kullandığı bilinmektedir. Yel değirmenleri 12. yüzyılın başlarında müslüman ülkelerden Avrupa ‘ya gitmiştir. Bu yüzyıl boyunca Diyarbakır ‘da yaşayan Abou-l Iz ilk modern dikey rüzgar türbini yaptı. 20. yüzyıla kadar rüzgar gücü suyu pompalamak için gerekli olan mekanik gücü elde etmek ve tahılı öğütmek için kullanıldı. 1891 ‘de Dane tarafından Poul La Cour ‘da inşa edilen ilk rüzgar türbini ile elektrik üretildi.

21. yüzyılın başlarına doğru yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına özellikle de rüzgâr enerjisinden elektrik üretimine olan ilgi artmaktadır. Hayatımız enerji ile direkt olarak ilişkilidir ve enerji araştırma problemi son derece önemlidir. Rüzgar enerjisi temiz, ekonomik ve çevreyle dost olduğu için toplum ve endüstri tarafından iyi karşılanmıştır. Bu konu üzerine yapılan yoğun çalışmaların sonucu olarak, rüzgar enerjisi son yıllarda değişik endüstriyel alanlarda uygulanmakta ve diğer enerji kaynaklarına alternatif olmaya başlamıştır. Bu tez çalışmasında rüzgar enerjisinin tarihsel gelişimi, rüzgar gücü ve rüzgar türbinleri teknolojisi incelenmiş, ayrıca Elazığ bölgesi için rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretimi için bir rüzgar santrali tasarlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar, rüzgar enerjisi, rüzgar türbini, Elazığ

ABSTRACT

Master Thesis

DESIGN OF A LOCAL WIND PLANT

Tarık Tuncay TÜRKMEN

Firat University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical Education
2005, 77 s.

The power of the wind has been utilized for at least 3000 years. Wind energy first used for boat navigation on the Nil river 5000 BC. During the same period, windmills pumped water in China. The first written information on wind turbines is based on a simple structural horizontal axis wind turbine. It is known that the Persians used vertical axis wind turbines during 700 BC. Windmills are introduced to the western world at the beginning of the 12th century from Islamic world. During this century, Abou-l Iz who lived in Diyarbakır, Turkey, developed the first modern vertical wind turbine. Until the early 20th century wind power is used to provide mechanical power to pump water or to grind cereals. In 1891, the Dane, Poul LaCour built the first windturbine generated electricity.

Towards the beginning of the 21st centuries, interest has risen in new and renewable energy (RE) sources especially wind energy for electricity generation. Our life is directly related to energy and its consumption, and the issues of energy research are extremely important. Wind energy is welcomed by society and industry as a clean, economical and environmentally friendly alternative. As a result of extensive studies on this topic, wind energy has recently been applied in various industries, and it started to compete with other energy resources. In this thesis, wind energy for electricity generation was reviewed for Elazığ region. Besides in this study was reviewed wind energy history, wind-power and wind-turbine technology

Keyword: Wind, wind energy, wind türbine, Elazığ

1.GİRİŞ

Dünya enerji talebinin her yıl %5 oranında artmasına rağmen bilinen enerji kaynaklarında bu oranda bir artma olmamaktadır. Bundan dolayı ülke ekonomilerinin gelişmesine yardımcı olacak bir enerji politikasının izlenmesi çağımızın en önemli konularından biri haline gelmiştir. Son yıllarda çevre kirlenmesi, kullanılan enerji kaynaklarının hızla tükenmesi ve artan enerji ihtiyacı, dünya devletlerini mevcut enerji programlarını yeniden düzenleyerek yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından azami derecede yararlanma çalışmalarına hız vermeye yöneltmiştir. Bugün dünyada nükleer enerjinin yanı sıra yeni ve temiz enerji kaynakları olarak adlandırılan jeotermal, güneş, rüzgar ve biyogaz enerjileri son yıllarda üzerinde en çok durulan ve araştırılan konuları oluşturmaktadır. Bu enerji kaynaklarından biri olan rüzgar enerjisinden ülkemizde de yararlanmaya yönelik yapılan çalışmaların sayıca az olmasına karşın, pek çok ülkede bu potansiyelden yararlanmaya yönelik yoğun araştırmalar yapılarak, günümüz şartlarında ekonomik bir biçimde bu potansiyelin belli bir kısmının kullanılmaya çalışıldığı görülmektedir.

Yeryüzünün gerek duyduğu enerjinin tümü güneşten sağlanır. Dünyamıza güneşten sağlanan enerjinin 33.10^{18} Kcal/yıllık bölümü hava hareketleri tarafından harcamaktadır. Güneşten gelen enerjinin yaklaşık % 1-2'si rüzgar enerjisine dönüşür. Yani rüzgâr enerjisi, hıza (kinetik enerjiye) dönüşmüş güneş enerjisidir denilebilir. Yerkürede ortaya çıkan sıcaklık ve buna bağlı basınç farklılıkları rüzgarın oluşmasına neden olmaktadır. Hava hareketlerine harcanan bu enerji oldukça fazladır. Dünyadaki tüm rüzgarların enerjilerinin kuramsal olarak 1/50'si tüm dünya enerji gereksinimini karşılayabilir. Ancak, teknik ve ekonomik sorunlar bu enerjiden tam olarak yararlanmayı engellemektedir. Dünyada çeşitli bölgelerde kurulan rüzgar enerjisi üretimi deneme aygıtları bazen hasara uğramış, bazen de rüzgar değişkenliğinden ötürü verimli sonuç alınamamıştır. Rüzgar, yelkenli gemilerin ulaşımında, değirmenlerde un üretimi ve su çıkarılmasında kullanımının yanı sıra türbinlerde ısı ve elektrik enerjisi de elde edilmesinde kullanıldığı göz önüne alınarak, ülkemizin rüzgar enerjisi potansiyeli saptanabilir.

Yenilenebilir bir enerji kaynağı olan rüzgar enerjisi atmosferde serbest halde bulunur. Taşıma sorunu bulunmaz ve kullanımı daha yüksek bir teknoloji gerektirmez. Bir rüzgar sistemi ile elde edilebilecek güç, rüzgar hızının üçüncü kuvveti ile orantılıdır. Rüzgar hızını iki katına çıkarmak, gücü sekiz kat arttırmak demektir. Ortalama bölgesel rüzgar hızı, rüzgar sistemlerinin dizaynında ve ekonomik analizlerinde önemli bir faktördür. Rüzgar enerjisinden faydalanmak yeni bir olay değildir. Bu enerjiden iki farklı şekilde yararlanılır. Bunlardan birisi, çok eskilerden beri bilinen rüzgar enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürülmesidir. Yel değirmenleri ve yelkenli kayıklar buna bir örnek olarak verilebilir. Mısır'da M.Ö. 3000 yıllarında bile rüzgar

çarkları kurulmuştur. Rüzgar enerjisinin ikinci tür kullanım şekli ise rüzgar enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi yani elektrik enerjisi üretmektir. Bu yöntem, rüzgar enerjisinin endirekt kullanım yöntemi olarak bilinir. Bu yöntemde, rüzgar türbini yardımı ile rüzgar enerjisi hareket enerjisine ve bir jeneratör yardımı ile de elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Rüzgar türbinleri, rüzgardan elde ettikleri kinetik enerjiyi elektrik enerjisine çevirmektedirler. Modern rüzgar türbinleri 2–3 kanatlıdır. Kanat çapları 1m'den 30m'ye kadar değişmektedir. Bir rüzgar türbininden elde edilen enerji o bölgedeki rüzgar hızının küpü ve kanat uzunluklarının karesi ile doğru orantılıdır. Rüzgar hızı yükseklikle artar onun için rüzgar türbinini ne kadar yükseğe takılırsa o kadar çok verim alınır. Tipik rüzgar türbini kuleleri 6m ile 50m arasında değişmektedir. Bakım maliyeti sıfıra yakın olan bu sistemler, yıllar boyu bedava elektrik üretmektedirler. Şu andaki teknoloji ile üretilen rüzgar türbinlerinin ömrü minimum 20 yıldır. Bir kasabanın elektriğini sağlayacak 1.5 MW'lık sistemlerin yanı sıra bir çatı üzerine monte edilebilecek, ufak 250-500 W'lık küçük tip akü dolduran sistemler de mevcuttur.

Rüzgar enerjisinin fosil ve nükleer enerji kaynaklarına göre en büyük üstünlüğü, yenilenebilir olması yani, kömür ve petrol gibi bir kez kullanıldıktan sonra tükenmemesidir. Bunun yanında çevre ve insan hayatına olan olumsuz etkileri çok daha azdır. Hidrolik enerji bu türün en yaygın kullanılan enerji çeşididir. Bu nedenle klasik enerji kaynakları arasında sayılır. Diğer kaynaklar ise hem yeni hem de yenilenebilir kaynaklar olarak isimlendirilirler. Özellikle 1973 petrol krizi ve meydana gelen iki nükleer reaktör kazası bu tür enerji kaynaklarına olan ilginin artmasına neden olmuştur. Bugün için bu enerji türleri enerji ihtiyacını tam ve ekonomik olarak karşılayacak durumda değildir. Ancak gelişen teknoloji ve azalan maliyetler, gelecek için yapılan enerji varsayımlarında bu enerjilere büyük ölçüde yer vermektedir (Köse, 1996).

Ülkemiz genelinde rüzgar enerji potansiyelini belirleyici geniş kapsamlı bir çalışma bugüne kadar yapılmamıştır. Güneş enerjisi konusunda olduğu gibi Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Direktörlüğünün, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü ile yaptığı işbirliği çerçevesinde, ülkemiz rüzgar enerjisi potansiyelini belirleme çalışmalarını başlatmıştır. Ayrıca Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Direktörlüğü geliştirmekte olan rüzgar enerjisi teknolojisini takip etmek ve ülkemiz genelinde bu teknolojinin gelişmesine yardımcı olmak için O.D.T.Ü işbirliği ile bir proje başlatmıştır. 1984 yılında tamamlanmış olan bu proje kapsamında, yaklaşık 6.5 KVA gücünde bir rüzgar jeneratörü projelendirilerek imal edilecek ve ithal edilecek olan türbinle birlikte proje yerine monte edilecektir.

Türkiye rüzgar atlası hazırlanmakta ve rüzgar enerjisi çevrim teknolojilerinin yatırım, işletme ve toplumsal maliyetleri incelenmektedir. Ülkemiz dünyanın kuvvetli ve etkin rüzgar bölgesinde yer almaktadır. Günümüzde rüzgar enerjisinden yararlanmayı mümkün kılan bir çok rüzgar enerji sistem ve düzeneği mevcuttur. Bunlarla ilgili çalışmalara 1988 yılında bir yenisi

daha eklenerek rüzgar gücünü yoğunlaştırmak için asıl rüzgar pervanesi önüne rüzgarı hızlandıran sabit kanatlar konularak rüzgar gücünden daha fazla yararlanılması sağlanmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyetlerine örnek olarak rüzgar türbininin maliyeti, 1981 yılında yılda 45.000 kWh enerji üreten 25 kW kapasiteli bir rüzgar türbininin maliyeti 2600 \$ / kW iken bugünün tipik türbini olan 750 kW kapasiteli 800 \$ / kW yatırım maliyeti ile yılda 2.500.000 kWh enerji üretebilmektedir. Avrupa rüzgar enerjisi birliğinin bir raporuna göre rüzgar türbinin fiyatı 1981–1991 yılları arasında üç misli azalırken rüzgar enerji fiyatları yarı yarıya azalmıştır. Washington’daki yenilenebilir enerji politikaları projesi bulgularına göre 1997 yılında 1000 \$ / kW olan rüzgar türbinlerinin yatırım maliyetleri 2006 yılında 600 \$ / kW’ a düşecektir (Uyar, 1999).

Rüzgar enerjisi, elektrik şebekesinin gitmediği uzak yerleşim merkezlerinde, adalarda, kırsal alanlarda, ormanlık ve dağlık bölgelerdeki birimlerde (Tv, radyo istasyonları ve telekomünikasyon vericileri) elektrik enerjisi temini ve enterkonnekte sistemi beslemek amacı ile kullanmak mümkündür.



2. ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARI

Petrol enerjisine alternatif olabilecek farklı enerjilerin kullanım imkânları üzerine firmalar, AR-GE birimleri, üniversite ve enstitüler çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalar doğaya zararı olmayan, en az petrol enerjisi kadar verimli, tekrar kullanıma müsait ve ekonomik açıdan tatmin edici olma kriterlerinin ışığı altında yürütülmüştür. Enerji tüketiminin dünya nüfusunun artışı ile paralel olması ve enerjilerin birbirine dönüştürülebilme özelliği rüzgar, hidrolik, biomas, jeotermal ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerjilerin kullanımını gerekli kılmıştır. Temiz enerjiler olarak da adlandırılan alternatif enerjiler, kısmen depo edilebilme veya depo edilememe özelliklerinden dolayı, ancak bir takım düzenler sayesinde diğer enerji türlerine çevrilerek ya da direkt olarak kullanılmıştır. Ne yazık ki gerekli düzenlerden alınan verim ve ekonomik açıdan tatmin edici sonuçların çok uzun vadelere dayanması uygulamada bazı aksaklık ve yetersizliklere neden olmaktadır. Bunun yanında bu tip enerjiler, ısınma, ısıtma, aydınlatma, kurutma, mekanik güç gibi ihtiyaçlara da önemli ölçüde cevap vermektedir.

Rüzgar enerjisi ilk olarak M.Ö. 5000'li yıllarda Nil nehrinde kayıkları hareket ettirmek amacıyla kullanılmışlardır. Aynı tarihlerde Çin'de basit yel değirmenler su pompalamak için kullanılmışlardır. 640 yılında ilk defa Türkler tarafından yel değirmenlerinde rüzgar enerjisi kullanılmaya başlamıştır. Daha sonra Haçlı seferleriyle Avrupa'ya geçmiş ve Fransa, İngiltere ve diğer ülkelerde 1100'lü yıllardan sonra kullanılmaya başlamıştır. Hollanda'da 1772–1789 yılları arasında yel değirmeni teknolojisi gelişmeye başlamış, fakat buharlı makineler yel değirmenlerinin, yelkenli teknelerin ve rüzgar türbinlerinin önemini azaltmıştır.

Rüzgar enerjisinden yararlanma çalışmaları Amerika'da da 1880–1940 yılları arasında devam etmiş, ancak dizel ve benzinli motorların keşfi ve elektrifikasyonun gelişimi bu alternatif enerjinin kullanımını ikinci plana itmiştir.

Rüzgar enerjisi 1973–1974 yılları arasındaki enerji krizinden sonra tekrar gözde bir enerji kaynağı olmaya başlamıştır.

Rüzgar enerjisinden yoğun olarak yararlanan ülkeler arasında rüzgar potansiyeline sahip olan A.B.D., Danimarka, Hollanda, Almanya, Hindistan ve Çin gelmektedir. Ülkemizde rüzgar enerjisinin kullanımı yeni olmasına karşın uygulama alanı artmaya başlamıştır. Özellikle Marmara, Güneydoğu Anadolu ve Ege Bölgeleri ortalama rüzgâr gücü yoğunluğu ve ortalama rüzgar hızı açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Ege Bölgesi'nde 1970–1980 yılları arasında yapılan ölçümler sonucunda $23,47 \text{ W/m}^2$ 'lik ortalama rüzgar gücü yoğunluğu ve $2,65 \text{ m/s}$ 'lik rüzgar hızı ile ülke genelinde üçüncü sırada yer aldığı belirtilmektedir.

2.1. RÜZGAR

Rüzgar enerjisinin kaynağı güneştir. Güneşin yer yüzeyini ve atmosferi farklı derecede ısıtmasından "rüzgar" adı verilen hava akımı oluşur. Dünya yüzeyine ulaşan güneş enerjisinin 33.10^{18} Kcal/yıl değeri hava hareketlerine harcanmaktadır. Rüzgar enerjisinin özellikleri genel olarak şunlardır;

- Atmosferde bol ve serbest halde bulunur.
- Yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağıdır.
- Enerjisi hızının küpü ile orantılıdır.
- Yoğunluğu düşüktür.
- Enerjisinin depolanması, başka bir enerjiye çevrilmesi mümkündür.
- Çevre kirliliği yaratmaz.

RED (Rüzgar Enerjisi Dönüşüm) sistemleri dönüştürme tekniğinin basit, işletim ve bakımının kolay olması nedeniyle, diğer enerji kaynakları arasında ayrı bir avantaja sahiptir.

2.1.1 Rüzgar Enerjisinin Oluşumu

Değişik oranlardaki çeşitli gazların karışımından meydana gelen atmosferdeki mevcut hava katmanları birbirlerinden farklı şekilde ısınır. Bir hava kütlesi mevcut durumundan daha fazla ısınırsa, atmosferin yukarısına doğru yükselir ve bu hava kütlelerinin yükselmesiyle boşalan yere, aynı hacimdeki soğuk hava kütlesi yerleşir. Bu hava kütlelerinin yer değiştirmelerine rüzgar adı verilmektedir. Diğer bir deyişle, birbirine komşu bulunan iki basınç bölgesi arasındaki basınç farklarından dolayı meydana gelen ve yüksek basınç merkezinden alçak basınç merkezine doğru hareket eden hava akımına denir.

Rüzgar enerjisi atmosferde bol ve serbest olarak bulunabilen ve yoğunluğu az bir enerjidir. Rüzgar kinetik enerjisi nedeniyle doğal bir potansiyele sahiptir. Bunun enerjiye çevrilebilen kısmı rüzgar enerjisi teknik potansiyeli olarak ifade edilir. Dünya'nın rüzgar enerjisi potansiyelinin tahmini zor olmasına karşın mevcut rüzgar potansiyelinin sadece 1/10'nun kullanılması halinde bile dünya elektrik enerjisinin tamamının karşılanabileceği belirtilmektedir. Özellikle ülkemizde % 2,5 nüfus artışına paralel olarak % 14,5'lik enerji üretimi artışı vardır. 1989 verilerine göre 776 kWh/kişi'lik bir elektrik tüketimi söz konusudur.

Rüzgar hız ve yön olmak üzere iki parametre ile ifade edilir. Rüzgar hızı km/h veya m/s birimleriyle hesaplanır. Rüzgar hızı yüksekliğe bağlı olarak değişir. Hızının küpü enerjisi ile doğru orantılı olan rüzgarın ölçümleri basit olarak anemometre ile yapılmaktadır. Karşılıklı yarım küre şeklindeki kapakçıkların rüzgar ile dönmesi ve cihaz milinin devri ölçülerek rüzgar

hızının hesaplanması mümkündür. Rüzgar ölçümleri rasat saatlerinde ve belirli koşullar altında yapılmaktadır (Türkmen, 1985; Yavuzcan, 1994).

Hızla gelişen teknoloji, artan oranlarda enerji tüketimini de beraberinde getirmektedir. Enerji tüketimindeki bu artışı karşılamak için büyük oranlarda fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Asit yağmuru, sera etkisi gibi global çevresel problemler üzerindeki ciddi endişeler, yenilenebilir kaynakların yararlarını arttırmaktadır. Günümüzde, temiz, çevreyle uyumlu ve elektrik üretiminde ekonomik olarak uygulanabilen yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar enerjisinin kullanımı giderek yaygınlaşmakta ve bu konuda teknolojik olgunluğa erişildiği ve konvansiyonel enerji kaynakları ile rekabet edebildiği kabul edilmektedir.

1997 sonu dünya kurulu rüzgar gücü 7669 MW ve bu gücün çoğu ABD ve Avrupa'dadır. Bu değerler Tablo 2.1 'de verilmiştir. Rüzgardan üretilen elektriğin birim maliyeti de ülkelere göre değişmektedir. ABD'de bu maliyet genelde 5 cent/kWh'ın altına düşürülmüşken, Avrupa'da 0,05-0.065 EURO/kWh (6.4-8.3 cent/kWh) düzeylerindedir. Almanya'da 5.6 Cent/kWh (7.5 pf/kWh), İngiltere'de 6.2 cent/kWh değerleri verilmektedir.

Tablo 2.1 Ülkelerin rüzgar güçleri (MW)

Almanya	2079
Amerika	1680
Danimarka	1123
Hindistan	933
İspanya	454
Hollanda	325
İngiltere	324
Çin	169
Diğerleri	582

2.1.2 Rüzgarın Karakteristik Özellikleri

Rüzgar yatay yönde yer değiştiren bir hava kütesinin hareketidir. Hava kütesinin bu hareketi ancak çevresine yaptığı etkilerle gözlenebilir veya cildimizde bir serinlik halinde hissedilir. Rüzgar etkileri bakımından üç belirgin özelliği olan bir iklim unsurudur. Bu özellikler; rüzgarın hızı (şiddeti), yönü ve esme sıklığı (frekansı) dır (Erol, 1993).

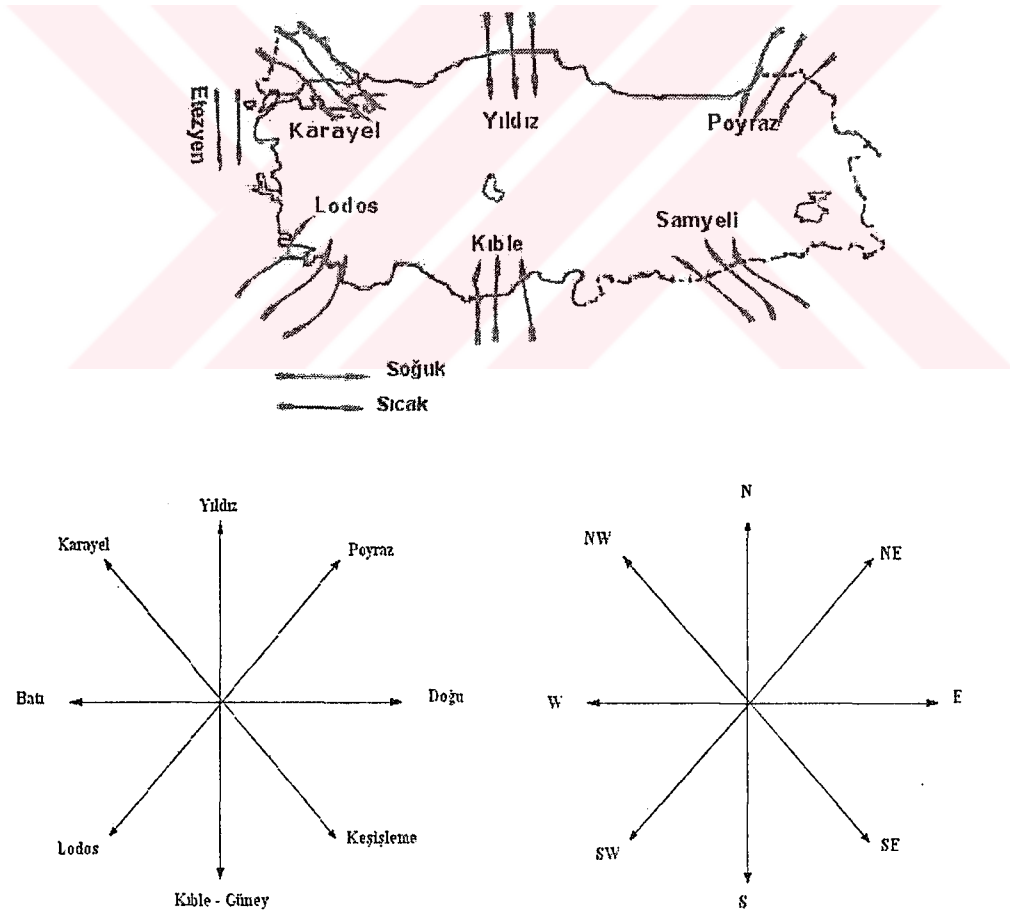
Rüzgar bulunduğu yöne doğru geldiği yöne rüzgar yönü denir. Bu yön coğrafi yönlerle ifade edilir. Ancak ayrıntılı çalışmalarda bu yönlere ek olarak ara yönlerde kullanılmaktadır. Rüzgar yönlerini göstermek için kesişmek üzere çizilen çizgiler ile güle

benzediği için rüzgar gülü denir. Daha ayrıntılı çalışmalar için rüzgar yönleri pusuladaki derecelere göre belirtilir (Toklu, 2002).

Rüzgar yönünün iklimler ve özellikle günlük hava şartları bakımından önemi vardır. Çünkü rüzgarlar kendilerini oluşturan hava kütlelerinin özelliklerine göre sıcaklık, soğukluk veya nem getirir ya da çevreyi kuruturlar. Kıyılarda rüzgar yönünün denizin dalgalanması bakımından da etkisi vardır. Karadan denize doğru esen rüzgarlar fazla dalga yapmazken, açık denizden karaya doğru esen rüzgarlar büyük fırtınalara neden olur.

Klimatoloji çalışmalarında rüzgar yönleri üzerinde önemle durulur ve özellikle egemen rüzgar yönlerinin saptanmasına çalışılır. Egemen rüzgar bir bölgede belirli süre içerisinde en çok esen rüzgara denilmektedir (Erol, 1993).

Rüzgar vektörel bir kuvvet olup, iki özelliği ölçülebilmektedir. Bunlar hızı ve yönüdür. Rüzgar yönü rüzgar oklarıyla belirlenir. Bu gereç genellikle metalden yapılan ve bir eksen üzerinde dönebilen, arka kısmında kanatçıkları bulunan bir yapıya sahiptir. Günümüz meteoroloji çalışmalarında yüksek rüzgarların yönü ve hızı gözlem balonlarıyla tayin edilir..



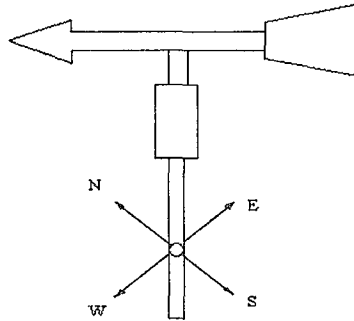
Rüzgarın hızı, kütleinin hareket hızıdır. Bu hız m/sn, km/h veya knot olarak ifade edilir. Bu hız birimleri arasında şu bağıntılar vardır: $1 \text{ m/sn} = 3.6 \text{ km/h} = 1.94 \text{ knots}$, $1 \text{ km/h} = 0.28 \text{ m/sn} = 0.54 \text{ knots}$, $1 \text{ knots} = 0.51 \text{ m/sn} = 1.85 \text{ km/h}$. Rüzgar hızı anemometre ile ölçülür. Bunlar rüzgarın etkisiyle dönenen kepçe biçimli gereçlerdir. Bunların dışında rüzgar hızını ve yönünü yazan anemograf adı verilen aletler de vardır. Ayrıca kaydedilmiş sonuçların değerlendirilmesiyle rüzgarın esme sıklığı (frekans) tayin edilebilir. Rüzgar hızı ölçümleri genelde 2 ve 10 m standart yükseklikte yapılır. Meteorolojik amaçlı olarak her iki yükseklikte ölçüm yapılmaktadır. Ticari amaçlı ölçümler ise 10 m yükseklikte yapılmaktadır. Aletler açık bir arazide kurulmalı, etrafında rüzgarı önleyen engeller bulunmamalıdır. Engeller rüzgarın hızını azaltmakta ve yönünü değiştirmektedir.

Rüzgar hızının ve yönünün tahminle ölçülmesi görünüşe dayandığı için hata payı yüksek olmaktadır. Bu nedenle hızın ve yönün kesin tespiti için alet kullanma ihtiyacı ortaya çıkmış ve ilk defa 1667 yılında rüzgar hızı aletle ölçülmüştür. Günümüzde bu aletler gelişme göstermiş, elektronik sistemlerin devreye girmesiyle çok hassas aletler yapılmıştır.

Rüzgar ölçen aletler şu şekilde sınıflandırılabilir:

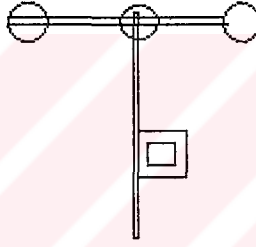
- **Anemometreler:** Sallanabilen tablalı anemometre (Jüriet), kepçeli anemometre, pervaneli anemometre ve geliştirilmiş tip anemometreler.
- **Anemograflar:** Mekanik anemograflar, elektrikli anemograflar ve elektronik anemograflar.

Jüriet (sallanabilen tablalı anemometre) ilk defa 1667 yılında Robert Hoeke tarafından imal edilmiş en basit rüzgar aletidir. Rüzgarın yönü ve hızı bofor kuvveti şeklinde tespit edilir. Jüriet anemometresi 3 ana kısımdan oluşur. Bunlar; kuvvet levhası, yön göstergesi ve yön işaretleridir. Ayrıca aletin toprağa sabitlenmesini sağlayan mesnet borusu vardır (Meteoroloji, 1985).



Şekil 2.2 Jüriet Anemometresi

Kepçeli sabit anemometreler Jürjet 'e göre daha hassas ölçüm yapabilen gelişmiş bir alettir. Rüzgarın hızını ve yönünü direkt olarak ölçmeye yarar. İki ana bölümü vardır. Bunlar anemometre ve jürjet kısımlarıdır. $\pm 0,5$ m/sn hassasiyetle ölçüm yapılabilir. Sabit tesislerde 2 m yüksekliğinde olacak şekilde monte edilir. Anemometre kısmının üç kollu, yarım konik kepçeleri vardır. Kepçeler rüzgar etkisiyle dönerler. Kepçelere bağlı sonsuz vida mili, dişliler ve numaratörden oluşur. Jürjet kısmı rüzgar yönünü belirlemede kullanılır. Bir mil etrafında dönen tek plakalı bir kuyruk ve ek kısmı ile rulmanlardan meydana gelmiştir. Aletin kepçeleri rüzgarın etkisiyle eksen etrafında dönebilecek şekilde yapılmıştır. Kepçeler rüzgarın şiddetine uygun olarak dönerler. Bu dönme hareketiyle kepçelerin bağlı bulunduğu sonsuz dişli vida milini döndürür. Bu vida da karşısındaki dişliyi ve buna bağlı numaratörü döndürür. Bu tip anemometrelerle ölçme işlemi yapılırken herhangi bir başlangıç anında numaratör değeri okunur ve kaydedilir. 10 dakika sonra yeni değerler okunur. Aradaki fark 60 'a bölünerek m/sn cinsinden hız bulunur (Meteoroloji, 1985)



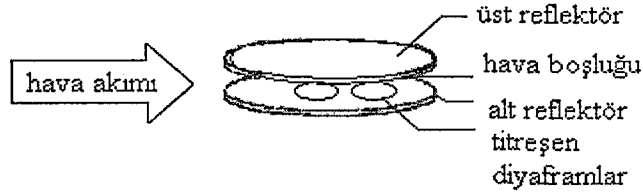
Şekil 2.3 Kepçeli anemometre

Kepçeli el anemometresi yapı olarak sabit anemometre'ye benzer fakat daha küçük ebatlıdır. Seyyar olarak ölçme amaçlı kullanılır. El anemometre'sinde hız m/sn veya knot cinsinden doğrudan doğruya okunabilir. Yere dik konumda tutularak ölçüm yapılmalıdır (Meteoroloji, 1985).

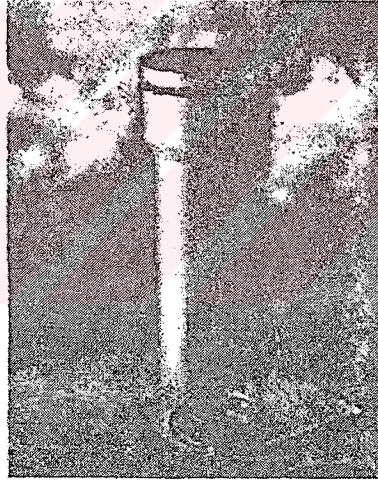
Geliştirilmiş tip anemometreler rüzgarın enerji hammaddesi olarak kullanılmaya başlanmasından sonra, ticari amaçla yapılacak rüzgar ölçümleri önem kazanmıştır. Rüzgarlı tepelerde sürekli ölçüm yapmak ve kaydetmek amacıyla sürekli personel gerektirmeyen veya sonuçları uzaktan algılanabilen Anemometreler geliştirilmiştir. Bu cihazlar küçük bir DA kaynağıyla beslenmekte, kayıtları belli aralıklarla alınmaktadır.

Bu anemometrelerin en gelişmiş örneklerinden biri ultrasonik anemometredir. Ölçüm sonuçları gsm teknolojisi ile kontrol noktasına ulaştırılmakta burada kaydedilmektedir. Beslenmesi için küçük bir güneş paneli yeterli olmaktadır. Ölçme sistemde birbirine paralel iki tabaka bulunmaktadır. Bu tabakaların üstü yansıtıcılar ile kaplıdır. Yatay düzlemde hava hiçbir engel ile karşılaşmadan iki tabakanın arasına girmektedir. Dikey olarak hava girişi yansıtıcılar

tarafından engellenmekte, düşey rüzgar hızları ölçülmemektedir. Plakalar arasından geçen rüzgar akustik dalgalar meydana getirmektedir. Bu dalgalar plakaların üzerinde bulunan piezoelektrik elamanlardan oluşan diyafram sistemi tarafından algılanmaktadır. Diyaframlar üçgen biçimde yerleştirilmiştir. Ultra ses bu diyaframın yüzeyinden geçerek üst yansıtıcıya çarpmakta ve burada hemen hemen kayıpsız bir yansıma gerçekleşmektedir. Bu şekilde, enerji kayıplarıyla dalgalanma tamamen sönene kadar birbirini takip eden iki yüz kadar yansıma gerçekleşmektedir. Dar bir frekans bandı üzerinde yaşanan birim yansımalar faz olarak bütünlük oluşturarak sinyal gücünde çok büyük bir artışa sebep olur. Rezonans etkisi sürdüğü sürece rüzgar hızı ile ölçülen faz arasındaki bağıntı lineer olarak devam eder (www.aresenerji.com 2002).



Şekil 2.4 Ultrasonik anemometrenin ölçme sistemi



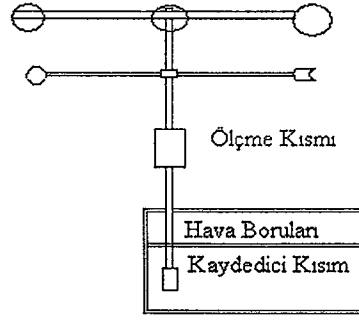
Şekil 2.5 Ultrasonik anemometre

Mekanik anemograf, rüzgarın yönünü, saatte ortalama hızını ve rüzgar hızındaki dalgalanmaları yani hamleyi yazarak ölçen bir alettir. Mekanik anemograflar 1,5 m/sn'den daha büyük hızları $\pm 0,5$ m/sn'lik hassasiyetle ölçebilirler.

Mekanik anemograf iki ana bölümden oluşur.

- Ölçme kısmı

Kaydedici kısım, bunların dışında hareket çubukları, hava boruları ve taşıyıcı mesnet borusu vardır (Meteoroloji, 1985).



Şekil 2.6 Bina üzerine kurulu sabit mekanik anemograf

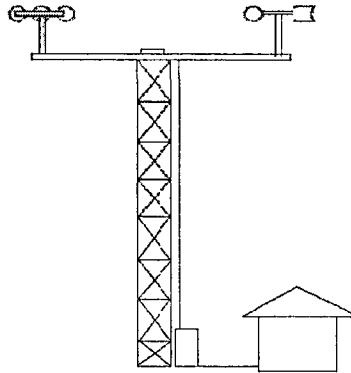
Elektrikli anemograflar yapı olarak mekanik anemografa benzer. Mekanik anemografla bilgiler sadece bir yere verilebilirken, hava limanlarında bilginin uçuş kulesi, meteoroloji istasyonu gibi birden çok yere iletilmesi gereklidir.

Bu alette ölçme kısmına küçük bir hız ölçer jeneratör (tako jeneratör) ve dağıtım motoru ilave edilmiştir. Kepçelerin dönmesiyle tako jeneratör de dönerek hızla orantılı bir gerilim üretir. Üretilen AA doğrultucu tarafından DA'ya çevrilerek, dağıtım kutusuna aktarılır. Buradan, bilgi istenen noktalara iletilir.

Dağıtım motoru 36 dilimli kollektöre sahiptir. Her dilime ayrı bir direnç bağlıdır. Jüriet'in dönmesiyle dağıtım motoru aynı yönde döner. Fırçaların temas ettiği dilimlere göre dirençler devreye girer. Direnç değerine göre de gerilim ayarlanır. Gerilim bilgisi dağıtım tablosundan gerekli yerlere ulaştırılır (Meteoroloji, 1985).

Elektronik anemograflar rüzgar hızı ve yönündeki ani değerleri, 2 ve 10 dakikalık ortalama değerleri, mekanik göstergelerde doğrudan gösteren ve yazılı olarak kaydedebilen bir yapıdadır. Aletin aşağıda gösterildiği gibi iki ana bölümden oluşur.

- Ölçme kısmı,
- Göstergeler ve kaydedici kısım.



Şekil 2.7 Elektronik anemografin kule üzerine yerleştirilmesi

Rüzgar hızının ölçülmesi için gerekli aletler mevcut değilse rüzgarın tabiattaki etkilerine bakarak hızını yaklaşık olarak tahmin etmek mümkündür.

Tablo 2.2’de bofor değerleri yer almaktadır. Bu değerlere göre rüzgar hızı şu formüllerle hesaplanır.

$$V = 1,624\sqrt{B^3} \quad (\text{knots cinsinden}) \quad (2.1)$$

$$V = 0,836\sqrt{B^3} \quad (\text{m/sn cinsinden}) \quad (2.2)$$

Bir yerde rüzgarın hızlı esmesi, hava olaylarının güçlü geliştiğini gösterir. Esen rüzgarlar çarptıkları yüzeylere basınç yaparlar. Rüzgarın yıkıcı etkisi bu basınçtan ileri gelir. Örneğin 1 m/sn hızdaki rüzgarın 1 m²’lik alana yaptığı basınç 0,076 kg iken, 2 m/sn hızdaki rüzgarın basıncı 0,3 kg kadardır. Rüzgar basıncı hızının karesiyle orantılıdır.

Rüzgarı oluşturan hava akımı yol ve hız bakımından hiçbir zaman düzgün değildir. Yönü sık, sık değişen rüzgarın hızı da sürekli olarak azalır veya çoğalır. Yani rüzgar dalgalar halinde eser. Bu tür rüzgarlar karalar üzerinde ve yere yakın katlarda çok görülür. Bu sebeple rüzgar türbinleri, sadece tek bir yönden gelen rüzgarlara göre değil, değişen yöndeki rüzgarları da alabilecek şekilde tasarlanır.

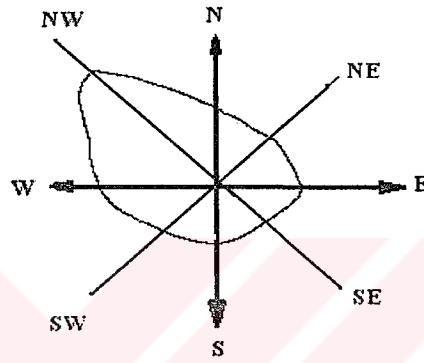
Rüzgar hızını tahmin etmek için Beaufort (Bofor) ölçeği kullanılır. Bir çizelge olan bu ölçek rüzgarın yeryüzündeki cisimler üzerine yaptığı etkilere göre rüzgar hızının tahminine yarar.

Tablo 2.2 Bofor ölçeği değerleri (Waat,1992)

Bofor No	Rüzgar Adı	Rüzgar Hızı km/h)	Doğadaki Etkisi
0	Sakin	0	Duman dikey olarak yükselir.
1	Esinti	1-5	Dumanın yönü rüzgarın yönünü gösterir.
2	Hafif meltem	6-11	Rüzgar yüzde hissedilir, yapraklar hışırdar.
3	Tatlı meltem	12-19	Yapraklar ve ince dallar sürekli hareket eder,bayraklar dalgalanmaya başlar.
4	Orta meltem	20-29	Toz ve kağıt parçaları havalanır, küçük ağaç dalları hareket eder.
5	Serin meltem	30-39	Küçük ağaçlar sallanır, göllerde küçük dalgalar oluşur.
6	Kuvvetli meltem	40-50	Ağaçların büyük dalları hareket eder, şemsiye kullanmak zorlaşır.
7	Fırtınamsı rüzgar	51-61	Bütün ağaçlar sallanır,rüzgara karşı yürümek zorlaşır.
8	Fırtına	62-74	Ağaç daları kırılır, rüzgara karşı yürümek çok zordur.
9	Kuvvetli fırtına	75-87	Evlerin bacaları, çatı kiremitleri uçar.
10	Tam fırtına	88-101	Ağaçlar köklerinden sökülür, binalar zarar görür.
11	Çok şiddetli fırtına	102-117	Çok seyrek görülür, büyük hasarlara neden olur.
12	Kasırga	118>	Toplu yıkım, afet.

Açık denizlerde ve yükseklerde rüzgarlar daha düzgün ve sürekli eser. Rüzgarın bu özelliğinden faydalanmak için deniz üstü rüzgar santralleri kurulmaktadır. Karada yapılan santrallerde kule boyu mümkün olduğu kadar yüksek tutularak daha fazla rüzgar alması sağlanır. Bu konuların ayrıntıları daha sonraki bölümlerde ele alınacaktır.

Rüzgar yönleri zaman zaman değişir ve bu değişimler hava şartları üzerinde önemli etkiler yapar. Bu nedenle rüzgarın hangi yönden ne kadar süreyle ve ne kadar sık estiğinin bilinmesi gerekir. Belirli bir rüzgarın esme sıklığına o rüzgarın frekansı denir. Frekans, söz konusu rüzgarın esme süresi veya sayısının belirli bir zaman ölçeğine göre (gün, ay, yıl) yüzde oranı belirtilerek ifade edilir (Toklu, 2002).



Şekil 2.8 Elazığ için rüzgar gülü (Güneş, 1998)

Rüzgarın esme sıklığı, rüzgar gülü diyagramı ile gösterilir. Bu diyagramlar rüzgar gülü üzerine, rüzgar frekanslarının bir oran içerisinde çizilmesiyle elde edilir.

Şekil 2.2 incelendiğinde Elazığ'da hakim rüzgar yönünün NW (Kuzeybatı) olduğu görülür.

Rüzgar frekansı karışık gibi görünmekle beraber basıncın günlük, aylık ve mevsimlik değişmelerine ayak uydurarak az çok düzenli bir gidiş gösterir. Rüzgarın böyle özelliklerini göstermek için rüzgar sürekliliği kavramı kullanılır (Toklu, 2002)

2.1.3 Rüzgarı Etkileyen Faktörler

Atmosferde her noktada basınç aynı değildir. Bu basınç farklılıkları rüzgar adı verilen hava hareketleri ile ortadan kaldırılmaya çalışılır. Basınç merkezleri arasındaki farka barometrik gradyan (basınç gradyanı) denir. O halde rüzgarın yönü ve hızı gradyana bağlı olmalıdır. Gerçekte ise yön ve hız sadece gradyana bağlı değildir (Erinç, 1996).

Rüzgarın yönü, hızı ve frekansı çok çeşitli faktörlerin kontrolü altındadır. Bu faktörlerin birbirine karışan etkileri altında beliren bir dengeye göre rüzgarlar adı geçen özelliklerini kazanırlar. Genel olarak bu dengeye strofik denge denir. Bu faktörlerin ayrı ayrı incelenmesi

gerçeklere tam uymasa da, olayları daha basit bir şekilde açıklayabilmek amacıyla bu faktörler kısaca ele alınacaktır (Erol, 1993).

- **Barometrik Gradyan**

Rüzgarlar yüksek basınçlardan, alçak basınçlara doğru estiklerine göre onları harekete geçiren gücün yönü izobar eğrilerine diktir. Sadece bu barometrik gradyan etkisi altında hareket eden rüzgarlara da sapmamış barostrofik rüzgar denir. Ancak diğer faktörler çoğu rüzgarların gradyana uygun yönde esmelerine engel olur. Genellikle gradyan ile rüzgar yönü arasında az veya çok bir fark belirir. Yeryüzünde sadece ekvator boyunca 4° kuzey ve güney enlemleri arasındaki bölgenin rüzgarları gradyana uyar (Erol, 1993).

- **Dünyanın Dönmesi**

Dünya dönen bir küre olduğu için onun üzerinde hareket eden her cisim, bu arada rüzgarlar da, kuzey yarım kürede sağa, güney yarım kürede sola saparlar. Rüzgarları saptıran bu güce Coriolis etkisi denir. Bu etki ile rüzgarın sapması enleme ve rüzgarın hızına bağlı olarak değişir. Ekvatorda sapma sıfırdır. Rüzgar hızının artması sapmayı da artırır. Yeryüzüne yakın katmanlarda yere sürtünme etkisi ne kadar az olursa rüzgar hızı o derece fazla olur. 500, 600 m yükseklikte sürtünme etkisi hiç kalmaz. Burada esen rüzgar sadece gradyan ve Coriolis gücünün etkisi altındadır. Rüzgar yere yaklaştıkça sürtünme etkisi altına girerek hızı azalır. Buna bağlı olarak Coriolis etkisi zayıflar (Erol, 1993).

- **Sürtünme Etkisi**

Rüzgarın yeryüzüne sürtünmesi rüzgarın hızını azaltan bir faktördür. Hızı azalan rüzgarda sapmada azalacağından, sürtünme sebebiyle rüzgar yönü de etkilenmiş olur. Genellikle havanın yeryüzüne temas eden 1-2 mm'lik kısmı hareketsizdir. Yerden yükseldikçe bu hız artar. Rüzgarlar bu yükseklikte çok hızlı esebilirler. Bu yükseklikteki rüzgarın çok hızlı olmasının bir sebebi de, hava yoğunluğu azaldığı için hava hareketlerinin daha kolaylaşmasıdır.

Sürtünmenin az veya çok olması yeryüzü şekillerine bağlıdır. Yüzeyi düz olan denizlerde rüzgar hızı engebeli olan karalara göre daha fazladır. Düz ve çıplak alanlarda hız dağlık ve ormanlık alanlardan daha fazla olur. Dağlık yerlerde tepelerin arkası girdap ve geri akımlar sebebiyle daha sakindir. Ancak rüzgarlar vadilere dolarak o vadinin yönünü almaya zorlanınca yönleri değişir, hızları artar (Toklu, 2002).

Yerden itibaren 100m yüksekliğe kadar olan rüzgarlar yer yüzeyinden oldukça etkilenirler. Çünkü rüzgar hızı yerküre pürüzlülüğü ve engeller tarafından yavaşlatılır. Dünyanın

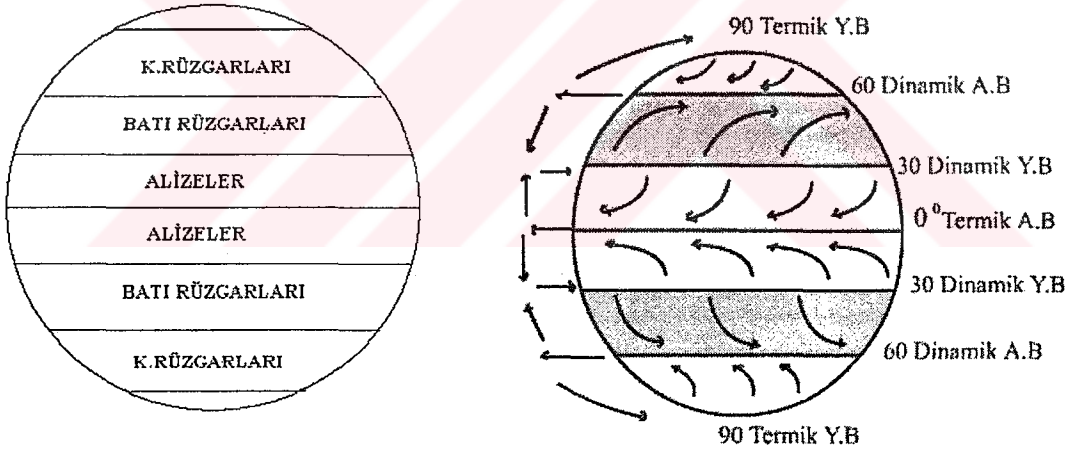
dönmesi sebebiyle (Koriolis kuvveti) yer yüzeyine yakın rüzgarların yönleri sıcaklık farkları ve dolayısıyla da basınç farkları sebebiyle oluşan rüzgarlardan biraz farklıdır.

- **Merkezkaç Kuvvet**

Özellikle girdap hareketi gösteren hava bölümlerinde rüzgarın yönü ve hızı üzerinde merkezkaç kuvvetin etkisi olur. Bir basınç alanında basınç eğrileri (izobarlar) ne kadar yuvarlak ise, havanın girdap içindeki dönüş hareketi o kadar hızlı, merkezkaç etkisi de o oranda çok olur. Bu etki izobar eğrileri düzleştikçe azalır (Toklu 2002).

2.2 Yeryüzündeki Rüzgar Sistemleri

Hava kütleleri ve onların hareketleri olan rüzgarların yeryüzü iklim bölgelerinin oluşması üzerindeki etkileri açıktır. Rüzgar sistemleri, sürtünme ve yer şekillerinin etkileri daha az olduğu için genelde okyanuslar üzerinde gelişmiştir. Bu sistemler, karaların termik- dinamik etkileri altında, özellikle troposferde yer yer ve zaman zaman zayıflar veya tümüyle kaybolur. Aynı nedenden dolayı rüzgar sistemlerinin kuzey yarım kürede bölgeler, güney yarım kürede kuşaklar halinde bir coğrafi dağılış gösterdiği görülür.



Şekil 2.9 Dünyadaki rüzgar kuşakları

2.2.1 Batı Rüzgarları

30 enlemlerindeki dinamik yüksek basınç 60 enlemlerindeki dinamik alçak basınç alanlarına doğru esen rüzgarlardır. Batı yönlü olduklarından ılıman kuşak karalarının batısına sürekli bol yağış bırakırlar.

Yeryüzündeki batı rüzgarları, subtropikal yüksek basınçlardan orta enlem alçak basınçlarına esen rüzgarlardır. Yön ve süreklilik bakımından oldukça değişken bir özellik

gösterirler. Orta enlem okyanuslarının özellikle doğu bölümlerinde ve kışın güçlü batı yönlü rüzgarlar halinde belirirler. Yönleri ve hızları oldukça sık değişir. Bu değişimde, batı rüzgarları bölgesinde batıdan doğuya doğru hareket halinde bulunan akım dalgalarının ve özellikle gezici siklon ve antisiklonların önemli bir etkisi vardır. Bu yüzden bazen doğudan batıya doğru estiği görülür. Zaman zaman da fırtına karakteri kazanır. Yeryüzündeki batı rüzgarları çoklukla 3–7 bofor şiddetindedir. Batı Avrupa’da yazın % 60, kışın ise sadece % 30 oranında batı rüzgarları eser. Durgun hava çok seyrek (Erol, 1993).

Batı rüzgarlarını doğuran hava kütleleri nemli olduğundan, bu bölgelerde hava genellikle fırtınalı, kapalı nemli ve yağışlıdır. Sık sık kutupsal hava baskınları olduğundan bu ılımlı hava şartları kuru, soğuk ve ayaz hava dönemleriyle aralanır.

Batı rüzgarları kuzey Atlas Okyanusunda kışın güçlüdür. Bu rüzgarlar, batı ve kuzey Avrupa’ya ve Akdeniz’e de etki yaparak önemli bir rol oynar. Yazın daha zayıf olan batı rüzgarları nemli, ılık hava kütleleri halinde Avrupa’ya gelir. Bu hava kütleleri İran ve Basra alçak basıncının da etkisiyle Akdeniz’e yönelerek, Anadolu’da yaz poyrazı ve Ege Denizi’nde Etesien (Yıldız) rüzgarlarını oluşturur. Büyük Okyanusta 30–50° kuzey enlemleri arasında esen batı rüzgarları, Kuzey Amerika’nın batı kıyılarına Batı Avrupa’da kine benzer etki yapar (Toklu, 2002).

2.2.2 Kutup Rüzgarları

Kutuplardaki Termik Y.B. alanlarından 60 enlemlerindeki Dinamik A.B. merkezlerine doğru esen rüzgarlardır.

Kutup bölgeleri aslında havanın soğuyarak alçaldığı ve yeryüzünde etrafa dağıldığı termik yüksek basınç alanlarıdır. Genellikle buralarda soğuk fakat durgun hava şartları egemen olur. Yeryüzündeki kutupsal antisiklonlar, Grönland ve Antartika gibi buzulla kaplı karalar üzerinde daha güçlüdürler. Bu antisiklon alanları çevresinde genellikle doğu yönlü rüzgarlar eser. Bu rüzgarlar yeryüzüne sürtünme ve sapma yüzünden kuzey yarım kürede kuzeydoğu, güney yarım kürede güneydoğu yönünü almışlardır.

Kuzey yarımkürede kışın Kanada ve Sibirya’da oluşmuş bulunan yüksek basınçlar kutup üzerindeki yüksek basınçlarla bağlantı halinde olup çevreye soğuk hava kütleleri yani rüzgarlar gönderen bir yüksek basınç sırtı oluşturur. Bu mevsimde özellikle İzlanda ve Aleuten kış alçak basınçlarının kuzey ve kuzeydoğusunda soğuk kutup rüzgarları çok güçlüdür.

Antartika daha geniş bir kutup kıtası olduğu ve burada çeşitli yer şekilleri bulunduğu için yeryüzündeki antisiklon her yerde ve her zaman hakim değildir. Ancak zaman zaman ve özellikle kıtanın çukur kenar ovalarında alçalan soğuk hava cereyanının (katabatik rüzgarlar) da yardımıyla gelişmiş, güçlü bir antisiklonun etkisi görülür. Antisiklon etkisi görülmediği yer ve

zamanlarda kıtanın iç kısımlarına sokulan gezici siklonlar güçlü kar fırtınaları oluştururlar (Erol, 1993).

2.2.3 Alize Rüzgarları

30 enlemlerindeki dinamik YB alanlarından ekvatorial AB alanlarına doğru olan hava hareketleridir.

Yeryüzünde Alizeler subtropikal yüksek basınçlar arası karşılaşma kuşağı arasında, bütün yıl boyunca esen sürekli rüzgarlardır. Özellikle tropikal okyanusların doğusunda bu rüzgarların yönleri dikkati çekecek derecede belirlidir. Süreklilikleri % 90'a kadar çıkar. Hızları 15–40 km/h arasında değişir.

Kuzey yarımkürede suprtropikal yüksek basınç çekirdekleri denizlerden daha güçlü olduğu için yeryüzünde esen kuzeydoğu alizeleri daha çok Büyük ve Atlas Okyanuslarında belirgin ve güçlüdürler. Güney yarımkürede ise daha sürekli olan suprtropikal yüksek basınçlara bağlı olarak alizeler daha düzenli kuşak oluştururlar. Bu nedenle yeryüzündeki güneydoğu alizeleri, kuzeydoğu alizelerinden daha güçlü ve yönleri daha belirgindir.

Alizelerin deniz yüzünde sahip oldukları bu sürelilik, belirli yön ve hızlar, yelkenli gemiler için çok uygun şartlar hazırlar. Alize rüzgarlarını meydana getiren hava kütleleri yukarı enlemlerde kurudur. Deniz üzerinde hareket ederek ekvatora yaklaştıkça bu hava kütleleri ısınır, nemleri artar. Alizeler kuşağı kuzey yarımküre okyanuslarında 2500 km, güney yarımküre okyanuslarında 3000 km kadar geniştir (Erol, 1993).

2.2.4 Mevsim Rüzgarları

Yeryüzünde genel hava dolaşımına bağlı olarak çoğunlukla bütün yıl veya yılın uzunca bir bölümünde aynı esen rüzgarlardan başka yılın bir yarısında belirli bir yönden, öbür yarısında ise tam aksi yönden esen dönemli rüzgarlar vardır. Böyle rüzgarlar; kışın karalardan denizlere soğuk ve kuru, yazın denizlerden karalara sıcak estiklerinden iklim bakımından daha çok dikkati çekerler.

Böyle rüzgarların özellikle yaz ve kış arasındaki yön değiştirmelerinin nedeninin, yakın zamana kadar, karalarla denizlerin yazla kış arasındaki ısınma farkından kaynaklandığı düşünüldü. Modern görüşe göre ise mevsim rüzgarları doğuş bakımından birbirinden ayrı, bağımsız sistemlerin yan yana gelmesinin sonucudur. Bu ayrı sistemler, yüksek batı rüzgarlarının kontrolü altında gelişmiş olup, yeryüzü musonları, coriolis kuvveti, yeryüzü şekilleri ve yerin ısınıp, soğuması etkisiyle şekillenmiştir. Başka bir deyişle musonlar yüksek rüzgar sistemlerinin yeryüzünün değiştirici, dinamik ve termik etkileri altında gelişmiş alt bölümleridir.

Tropikal musonlar, özellikle Hindistan ve Güneydoğu Asya adalarında dikkati çeker. Bu bölge musonları tropikler arası cephenin Temmuz'da 30° kuzey enlemine, Ocakta ise Hint Okyanusunda 10° güney enlemine kadar inmesi sonucu ortaya çıkan yazdan kışa 180° yön değiştiren ekvatorial rüzgarlardan başka bir şey değildir.

Subtropikal ve orta enlem musonları özellikle Asya ve doğusunda, Japonya ve Kuzey Çin'de iyi gelişmiştir. Bu rüzgarlar yazın denizden karaya doğru esen sıcak ve nemli, kışın karadan denize doğru esen soğuk ve kurak rüzgarlardır.

İspanya ve Anadolu yarın adalarında kara ve denizlerin farklı ısınmalarından doğan, termik doğuşlu fakat dar alanlı muson benzeri rüzgarlar eser (Erol, 1993).

2.2.5 Yerel Rüzgarlar (Mahalli Rüzgarlar)

Yeryüzündeki rüzgarlar ve bu rüzgarların özellikleri aslında atmosferdeki genel hava dolaşım şartlarına bağlıdır. Ancak, birçok yerel faktör etkisi altında bu genel sisteme bağlı rüzgarların özelliklerinde ve etkilerinde yer yer farklar belirir. Çoğu zaman aynı sisteme ait rüzgarlar, farklı bölgelerde farklı isimle anılırlar.

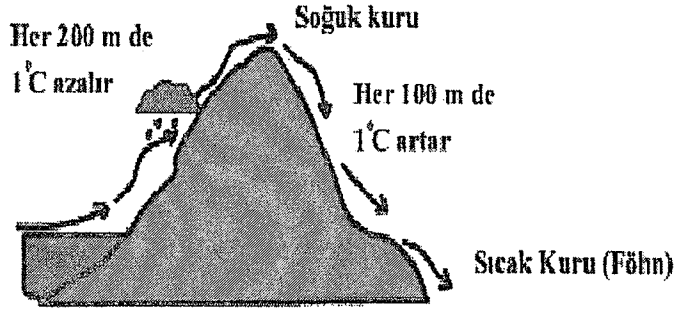
Genel hava dolaşımının sebep olduğu yerel rüzgarların yanı sıra, tümüyle yerel nedenlerden doğan dar alanlı fakat tipik yerel rüzgarlar da doğabilir (Toklu,2002).

2.2.6 Föhn Rüzgarları

Föhn rüzgarları dağ yamaçlarında veya başka nedenlerle alçaldıkları için adyabatik ısınmaya bağlı olarak doğmuş sıcak ve kuru havalardır. Bu rüzgarlar etkileriyle dikkati çekerler. Kış mevsiminde estikleri zaman çevre sıcaklığını bir iki saat içersinde 10–15 °C artırır, kısa zamanda karları eritir. Karların hızlı erimesi çığlara ve su baskınlarına sebep olur. Daha ılık mevsimlerde çevreyi kurutarak çayırılık ve orman yangınlarına, yazın ise mahsulün erken kuruyup sararmasına neden olur.

Klasik föhn rüzgarı, nemli hava kütlelerinin yüksek bir dağ sırasını aşması sonucunda ortaya çıkar. Dağın her iki yamacında basınç farkı mevcutsa föhn oluşur.

Bu tipin en klasik örneği Alplerin kuzey eteğinde olur. Dağın yamacında yükselen nemli hava her yüz metrede 0.44° sıcaklık kaybeder. 3000 metreye yükselince - 2,5 °C sıcaklığa iner. Nemin büyük bir bölümü yağış ve yoğunlaşma ile kaybedilmiştir. Bu hava kütlesi kuzey yamaçta alçalırken her yüz metrede 1 °C ısınır. Eteklere ininceye kadar 22 °C kadar ısınır (Erol, 1993).



Şekil 2.10 Föhn rüzgarlarının oluşması

Antisiklon föhnleri ise yüksek basınç sahalarında hava kütlelerinin, dağların dış yamaçları boyunca alçalması ve çevreye doğru uzaklaşması sonucunda meydana gelir. Antisiklon föhnü, gradyan föhnün aksine dağın her iki yamacında da görülür. Isınma üst kısımlardan başladığı için yüksek yamaçlarda da hissedilir (Erinç, 1996).

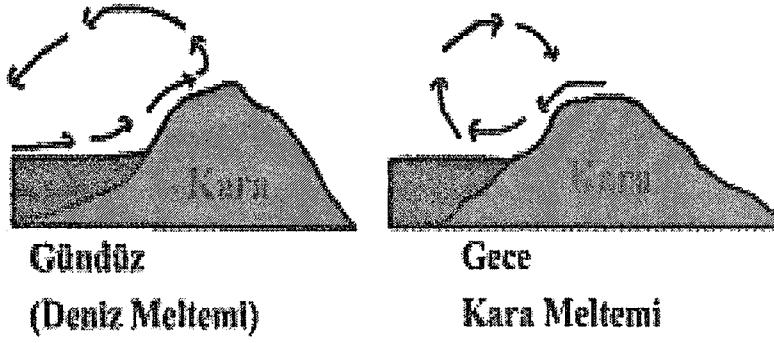
Türkiye’de Kuzey Anadolu Dağlarının kuzey yamaçlarında, Özellikle iç bölgelerde bir antisiklon egemen olduğu dönemlerde batıdan bir alçak basınç yaklaştığı zaman föhn rüzgarı eser. Bu rüzgarlar Sinop’tan Rize’nin doğusuna kadar çok belirgindir. Anadolu’nun güney kıyılarında da kuzey kadar belirgin olmasa da föhn rüzgarları eser. İç Anadolu’da Sultan Dağlarını aşan güney-güney batı rüzgarları, Akşehir ve Konya ovalarında sıcak ve kurutucu bir etki yapar.

2.2.7 Günlük Kara ve Deniz Rüzgarları

Karalar, denizlere nispeten daha çabuk ve hızlı ısınır, daha çabuk soğuyan yerler olduğundan havanın durgun bulunduğu ekvator kuşağında ve orta enlemlerde, yaz aylarında gündüz denizden karalara, gecede karalardan denizlere rüzgarlar eser.

Gündüzleri karalar, Özellikle öğlene doğru fazla ısınır. Buralarda denizlere göre alçak basınç oluşur. Isınan hava yükselirken yerini denizlerden gelen daha serin havaya bırakır. Bu hava hareketi denizden karaya doğrudur. Sebepleri yerel olduğu için meltemlerin kara içlerinde etkisi 20–40 km’den öteye gitmez. Asıl etkisi 3–5 km kadardır. Yerden 200–300 m yüksekliğe kadar hissedilirler.

Akşam saatlerinde karalar serinler. Bu kez deniz üzerinde alçak basınç oluşur. Rüzgar karadan denize doğru eser. Kara rüzgarı denilen rüzgarın denizdeki etki alanı azdır. Yükseklerde hissedilmez (Erol,1993).

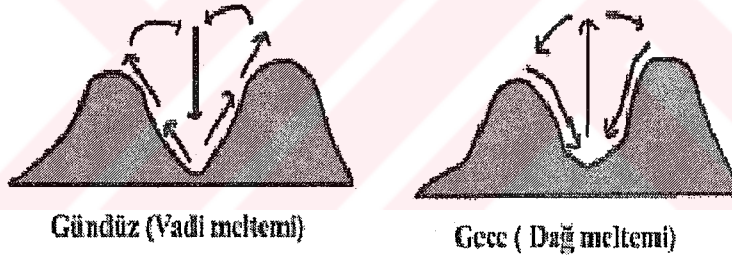


Şekil 2.11 Deniz ve kara rüzgarlarının oluşması

Deniz meltemleri serin olduğu için estikleri karalar üzerinde sıcaklığın fazla yükselmesini önler, hatta birkaç derecede düşürürler. Yazın İzmit Körfezi kıyılarında bu durum gerçekleşir. Deniz meltemleri imbat adıyla da bilinir.

Yurdumuzda Giresun, Sinop, Antalya ve Ege Bölgesinde bu rüzgarlar etkilidir. Rüzgar türbinin kule yüksekliğinin 20–70 m arasında olduğu dikkate alınırsa, bu rüzgarlar enerji üretimi açısından önemli sayılır.

2.2.8 Yeryüzü Şekillerine Bağlı Günlük Rüzgarlar



Şekil 2.12 Dağ ve Vadi Meltemi

Yer şekillerinin farklı ısınmaları günlük rüzgarlara neden olurlar. Bunlar dağ ve vadi rüzgarları ile ve onlara benzeyen yamaç ve drenaj rüzgarlarıdır. Yan yana bulunan dağlar ile çukur bölgeler günlük ısınıp soğuma bakımından bir birine oranla farklı özellikler gösterirler. Yamaçlar genellikle aynı seviyedeki serbest atmosfer katmanlarına göre gündüzleri fazla ısınır. Bu ısınma sebebiyle öğleden sonraları yamaç yukarı hafif bir rüzgar doğar. Gece ise çevreye oranla daha fazla serinleyen yamaçlardan aşağı doğru bir rüzgar doğar. Bu rüzgarlara yamaç rüzgarları denir.

Yamaç rüzgarları dağlar ve ovaların farklı ısınmalarından doğan gradyana bağlı nedenlerden de doğabilirler. Ovalar gündüzleri fazla ısınır. Isınan yamaçlarında yardımıyla hava yamaç yukarı hareket eder. Geceleri ise tam tersi olur. Bunlara denkleşme rüzgarları denir.

Günlük değişme gösteren bu rüzgarlar vadiler içerisine kanalize olduğu zaman daha belirgin özellik kazanırlar.

2.2.9 Ağırlaştırma Rüzgarları

Aşırı soğuk platolar veya iç buzulların üstünden, çevredeki çukur alanlara doğru soğuyup ağırlaşma sonucu olan tek yönlü rüzgarlardır. Bu rüzgarlar özellikle Antartika ve Grönland gibi küçük buzul bölgelerin kenarlarında görülür.

Platolardaki soğumalar gibi yazın çukur ovalarda dar alanlı bir yerde havanın fazla ısınması ve hızla yükselmesinden doğan küçük hava girdapları görülür. İç Anadolu'da sıkça görülen bu girdaplar 200- 300 m yer değiştirdikten sonra kaybolur.

2.3 Rüzgarın İş Yapabilme Yeteneği

Hareket halinde bulunan her cismin bir kinetik enerjisi vardır. V hızı ile hareket eden m hava kütesinin kinetik enerjisi;

$$E_k = \frac{1}{2} m V^2 \quad (2.3)$$

olarak yazılabilir. Hava kütesi m, hava yoğunluğu (ρ) ve hareket eden birim hava kütesinin hacmi (V_h) olduğundan;

$$E_k = \frac{1}{2} \rho V_h V^2 \quad (2.4)$$

yazılabilir.

Hareket etmekte olan hava kütesi, rüzgar gülünün A sürtünme alanlı çarkına dikey yönde çarptığı zaman, çarpan hava kütesinin içinde bulunan kinetik enerjinin bir kısmı frenlenir ve frenlenen enerji rüzgâr gülünün çalıştırılmasında kullanılır. Rüzgar çarkına çarpan havanın debisi (AV) A ile V nin çarpımından oluştuğundan, gücü, yani birim zaman da yapabileceği iş ise,

$$P_0 = \frac{1}{2} \rho (AV) V^2 \quad (2.5)$$

olur. Rüzgar çarkının önündeki rüzgar hızı V ile, rüzgar çarkındaki ortalama rüzgar hızı V_1 ile ve rüzgar çarkının arkasındaki rüzgar hızı da V_2 ile gösterilsin. Bunlara göre rüzgarın çarkta birim zamanda yapacağı basınç;

$$S = m(V - V_2) = \rho A V_1 (V - V_2) \quad (2.6)$$

ile; rüzgarın, rüzgar çarkında birim zamanda yapacağı iş ise,

$$P_0 = S V_1 = (1/2) m (V_2 - V_{22}) \quad (2.7)$$

ile hesaplanabilir. Denk(3.6) , denk(3.7)'de yerine yazılırsa,

$$m V_1 (V - V_2) = (1/2) m (V_2 - V_{22}) \quad (2.8)$$

$$m V_1 (V - V_2) = (1/2) m (V + V_2)(V - V_2) \quad (2.9)$$

Buradan;

$$V_1 = (1/2) (V + V_2) \quad (2.10)$$

bulunur. Buradan anlaşıldığı gibi rüzgar hızı, çarkın önündeki ve arkasındaki rüzgar hızlarının toplamının yansına eşit olmaktadır. Yukarıda rüzgar çarkına çarpan havanın birim zamanda yapabileceği iş için, yani rüzgar gücü için denk(3.5)'te bulunmuştu. Rüzgarın çarka düşen gücü, başka bir deyimle, rüzgar çarkının teorik gücü ise,

$$P = m V_1 (V - V_2) = (1/2) m (V + V_2) (V - V_2) = (1/4) \rho (V + V_2) (V_2 - V_{22}) \quad (2.11)$$

olarak bulunabilir.

P ve Po değerleri birbirine oranlanırsa, aşağıdaki eşitlik elde edilir;

$$\frac{P}{P_0} = \frac{1}{2} * \left[1 - \left(\frac{V_2}{V} \right)^2 \right] * \left[1 - \left(\frac{V_2}{V} \right) \right] \quad (2.12)$$

Bunun sonucunda maksimum rüzgar çark gücü ;

$$P_{\max} = \frac{16}{27} \frac{\rho}{2} V^3 A \quad (2.14)$$

olarak yazılabilir.

Bu ifadeye pratik olarak ulaşmak imkânsızdır. Çünkü oluşan kayıplar bizim bu sitemlerden maksimum verim almamızı engellemektedir. Çeşitli kanat profillerine göre değişen bu kısma;

$$P_{\max} = \frac{16}{27} \frac{\rho}{2} V^3 A \quad (2.15)$$

$$P_{\max} = CP \frac{\rho}{2} V^3 A \quad (2.16)$$

Burada;

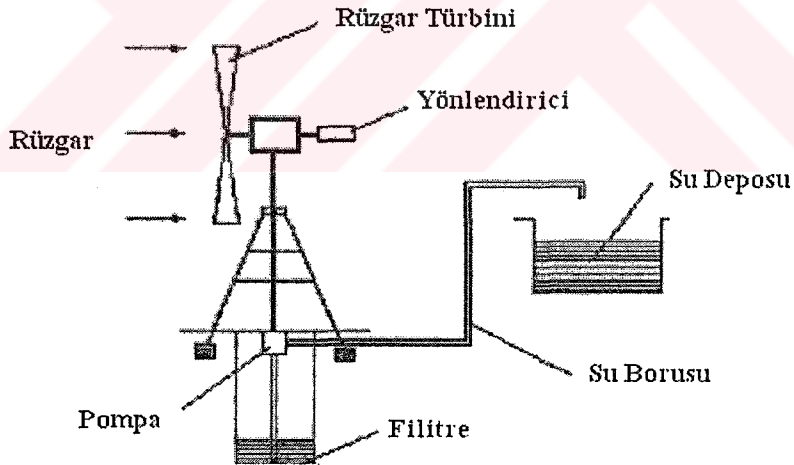
CP = Rüzgar türbinlerinin güç faktörü

$f = CP (\lambda)$

λ : Yüksek devirlilik sayısı

$\lambda = \text{Kanat Çevresel Hızı} / \text{Rüzgar Hızıdır.}$

Rüzgar enerjisinden mekanik ve elektrik enerjisi olmak üzere iki şekilde yararlanılır. Rüzgar enerjisi, doğrudan veya dolaylı şekilde tarih boyunca çeşitli alanlarda kullanılmıştır. Günümüzde sanayileşmeden dolayı artan talebi karşılayabilmek için, rüzgar enerjisinden daha fazla oranda yararlanılması gerekmektedir. Rüzgar enerjisi mekanik enerjiye çevrilerek, özellikle su pompajında yaygın olarak kullanılır. Su pompajında hem yatay hem de düşey eksenli sistemlerden yararlanılır. Bununla birlikte, yatay eksenli sistemler daha çok tercih edilmektedir. Şekilde bu türbinlere bir örnek verilmiştir.



Şekil 2.13 Çok kanatlı rüzgar türbini ile su pompalama sistemi

Rüzgar enerjisi mekanik olarak, evlerde, çiftliklerde, drenaj ve küçük ölçekli arazi sulama gibi alanlarda kullanılmaktadır. Yatay eksenli rüzgar türbinleri, yüksek hızlı ve düşük hızlı sistemler olarak ikiye ayrılır. Bu sınıflandırmada kanat sayısı ve kanadın aerodinamik yapısı önemlidir. Örneğin, düşük hızlı türbinlerde kanat sayısı 8-24 arasında değişirken, yüksek hızlı türbinlerde ise kanat sayısı bu sayıdan daha azdır.

Çok kanatlı rüzgar-su pompaj sistemlerinde, türbin şaftı piston miline doğrudan veya bir dişli kutusu yardımıyla bağlıdır. Dişli kutusu ile devri düşürülmüş sistemlerde daha derinden su çekilebilir. Düşük hızlı sistemlerde ilk hareket 2–2,5 m/s rüzgar hızında oluşur. Yüksek hızlı sistemlerde ise bu değer 3,5-4 m/s'ye ulaşmaktadır. Bu nedenle, ortalama rüzgar hızının düşük olduğu yerlerde, çok kanatlı sistemlerin kullanılması daha uygun olacaktır.

Günümüzde, rüzgar enerjisi hem kırsal alanda elektrik enerjisinin yerel üretim ve tüketiminde, hem de elektrik şebekesinin beslenmesinde kullanılır. Rüzgar enerjisinin elektriksel uygulamasını üç grupta toplamak mümkündür.

- Şebeke bağlantılı AA uygulamaları
- Şebeke bağlantısı olmayan AA/DA uygulamaları
- Uzak DA sistem uygulamaları

Şebeke bağlantılı AA uygulamalarında üretilen gücün tamamı veya artan kısmı şebekeye verilir. Rüzgar enerji sisteminin ürettiği elektriğin faz ve frekansı ile şebeke değerlerin uyum içinde olması gerekir.

Röle ve meteoroloji istasyonları, demir yolu sinyalizasyonu, deniz-hava ulaşım sistemleri ve uzak pompa istasyonları uzak DA uygulamalarına en iyi örnekleridir. Dizel veya gaz jeneratörü kullanan uzak DA çıkışlı sistemlerin yerine RED sistemi kullanılması, yakıt giderlerinde tasarruf sağlar. Ayrıca, sürekli bakım-onarım gerektirmeden işletimi mümkündür. Bu sistemler uzak yerleşim yerlerinde ısı veya ışık kaynağı olarak da kullanılabilir.

3. RÜZGAR SANTRALLERİ

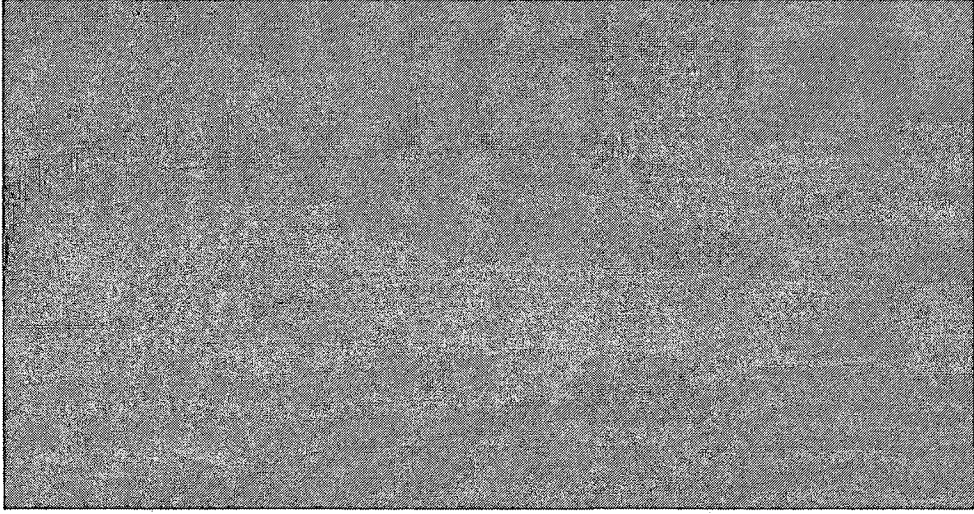
Günümüzün ve geleceğimizin bir gereği, enerjidir. Son yıllarda artan dünya nüfusu, modern hayatın getirdiği yenilikler, teknolojinin gelişimi ile birlikte üretilen enerjinin kullanılacağı yeni alanların ortaya çıkması, enerjiye olan bağımlılığımızı ve ihtiyacı artırırken, yeni, temiz enerji kaynaklarına yönelme bakımından da zorlayıcı bir etken olmuştur.

Güneşten gelen enerjinin yaklaşık % 1-2'si rüzgar enerjisine dönüşmektedir. Yani rüzgar enerjisi, hıza (kinetik enerjiye) dönüşmüş güneş enerjisi olarak tanımlanabilir. Rüzgar, yerkürede ortaya çıkan sıcaklık ve buna bağlı basınç farklılıklarından ortaya çıkmaktadır.

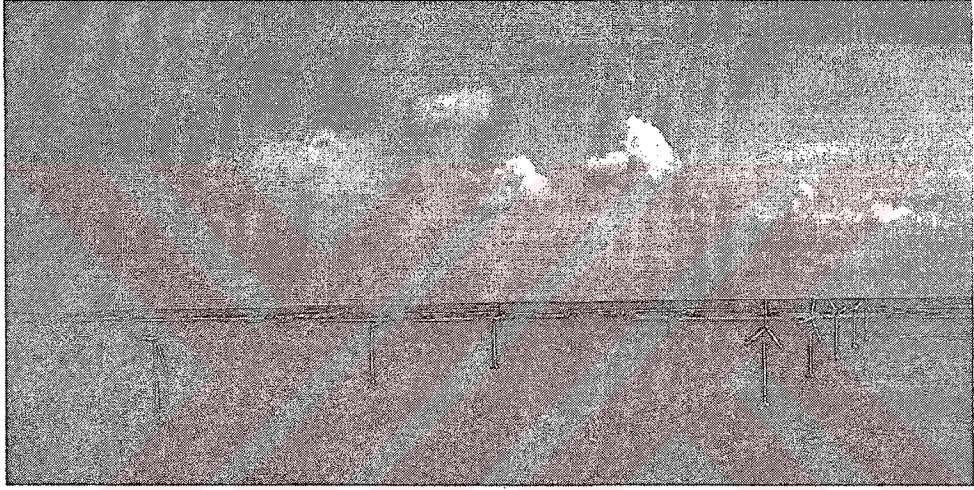
Büyük rüzgar santrallerinde türbin rotor çapları 18-70 m, rotor süpürme alanları 255-3850 m², rotor dönüş hızları 28-60 d/dk arasındadır. Kule yükseklikleri 75 m'ye kadar uzanabilmektedir. Kulelerin temellerinde 130 m³ civarında beton (10 ton kadar demir) kullanılır ve kalınlıkları 27 mm St37 galvanizli demirden olup, üç parçadan oluşturulurlar. Türbinin çalışmaya başlaması için hub (rotor göbeği) yüksekliğindeki gerekli rüzgar hızının 3-4 m/s, nominal güç üretim koşulu için de 11-14 m/s olması gerekmektedir. Bu türbinlerde; mikroişlemcili logic kontrol-kumanda sistemi, güç ayarlı, senkron veya asenkron generatörlü ve disk frenli sistemler kullanılmaktadır. Rotor kütleleri 3-26 ton, tüm donanımı ile gövde kütleleri 10-56 ton, kule kütleleri 12-88 ton arasında değişmektedir. Bugün rüzgar santralleri tek türbinli olarak değil, genellikle birden çok türbin içeren ve şebeke bağlantılı rüzgar çiftlikleri biçiminde kurulmaktadır.



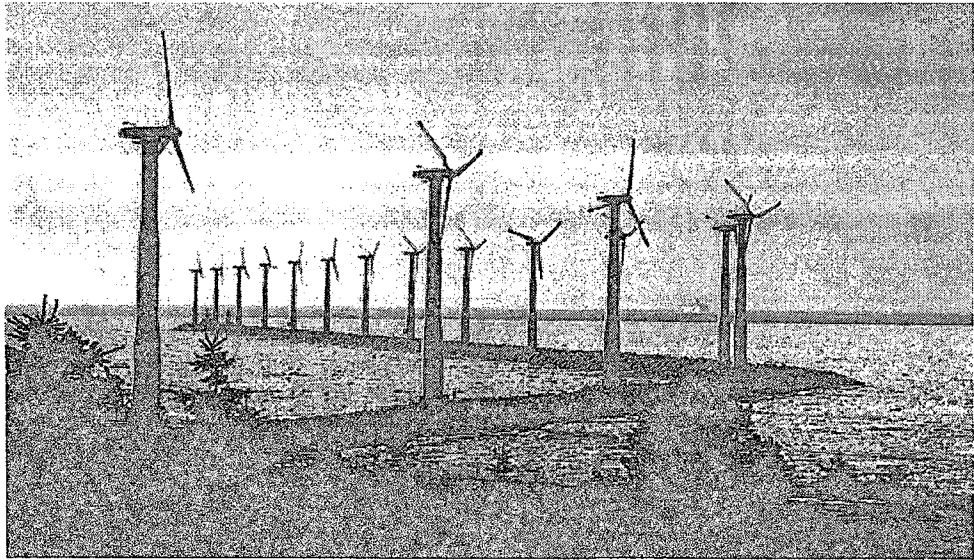
(a)



(b)



(c)



(d)

Resim 3.1 Çeşitli rüzgar santralli görüntüleri

Ortalama bir sahada modern bir rüzgar türbini üç dört ay içerisinde imalatında kullanılan miktarda enerjiyi üretebilmektedir. Rüzgar çiftlikleri kolayca sökülebilmekte ve arazi kolayca eski haline getirilebilmektedir. Rüzgar türbinlerinin geri kazanılabilirlik oranı artmakta ve böylece hurda makinelerden daha çok enerji kurtarılabilmektedir. 20 türbinden oluşan tipik bir rüzgar çiftliği yaklaşık 1 km² alan kaplar ancak bu alanın sadece %1'ini kullanır. Geri kalan alanlar çiftlik için yada doğal alan olarak kullanılabilmektedir. Böyle büyük bir proje 6500 ile 10000 arasında evin elektrik karşılayabilmektedir.

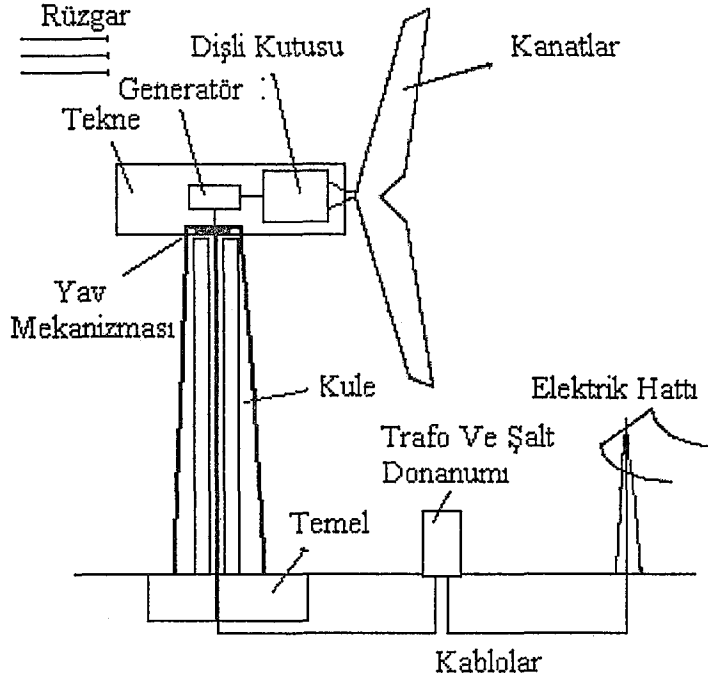
Karayolu trafiği, trenler, uçaklar yada inşaat faaliyetleriyle karşılaştırıldığında, rüzgar türbinleri çok düşük seviyede gürültü üretirler. Rüzgar çiftliğinin hemen yakınındaki bir ev, bir şelaleye 50 -100 m uzaklıktaki bir evden daha az gürültü duyar. Türbinlerden 100 m uzaklıkta duyulan ses 60 dB düzeyinde olup, oto içinde duyulan sestən azdır. 400 m uzaklıkta ses 37 dB ile gece sessizliğine ulaşmaktadır. Rüzgar çiftliklerine en yakın evlerin dışında gürültü; bir oturma odasının gürültüsünün hemen yandaki kütüphane ya da dinlenme salonu gibi sakin bir yerden duyulması gibi bir sestir (Toklu, 2002).

Rüzgardan sağlanacak güç, rüzgar hızının küpü ve kullanılacak rüzgar türbininin rotor süpürme alanı ile doğru orantılıdır. Önemli faktör olan rüzgarın hızı, yerden yükseldikçe logaritmik artış göstermektedir. Bir yörede kurulacak olan rüzgar santralinden elde edilebilecek güç, yalnızca kullanılan makine sayısı ve makine büyüklüğü ile sınırlanmakta, doğal karakteri ile sınırsız bulunmaktadır. İstenildiği takdirde aynı yerde 1 MW'lık, 100 MW'lık veya daha büyük rüzgar santralleri kurulabilir.

Günümüzde rüzgardan elektrik üretimi için büyük güçlü türbinlerle kurulan rüzgar santrallerinin (Rüzgar çiftlikleri) yanında küçük güçlü türbinler olan rüzgar generatörleri de kullanılmaktadır. Bunlar şebeke bağlantılı ve şebeke bağlantısız olarak çalışırlar. Rüzgar potansiyeli bakımından deniz alanları karalara göre daha büyük zenginlik gösterdiği için denizlerde de deniz üstü rüzgar santralleri kullanılmaya başlanmıştır.

Rüzgar enerjisindeki hızlı gelişimin önemli nedeni, bu kaynağın çevre dostu temiz kaynak olmasıdır. Şekil 3.1'deki sistem, rüzgar kuvvetinden elektrik enerjisi üretilmesinin genel bir yapısını göstermektedir.

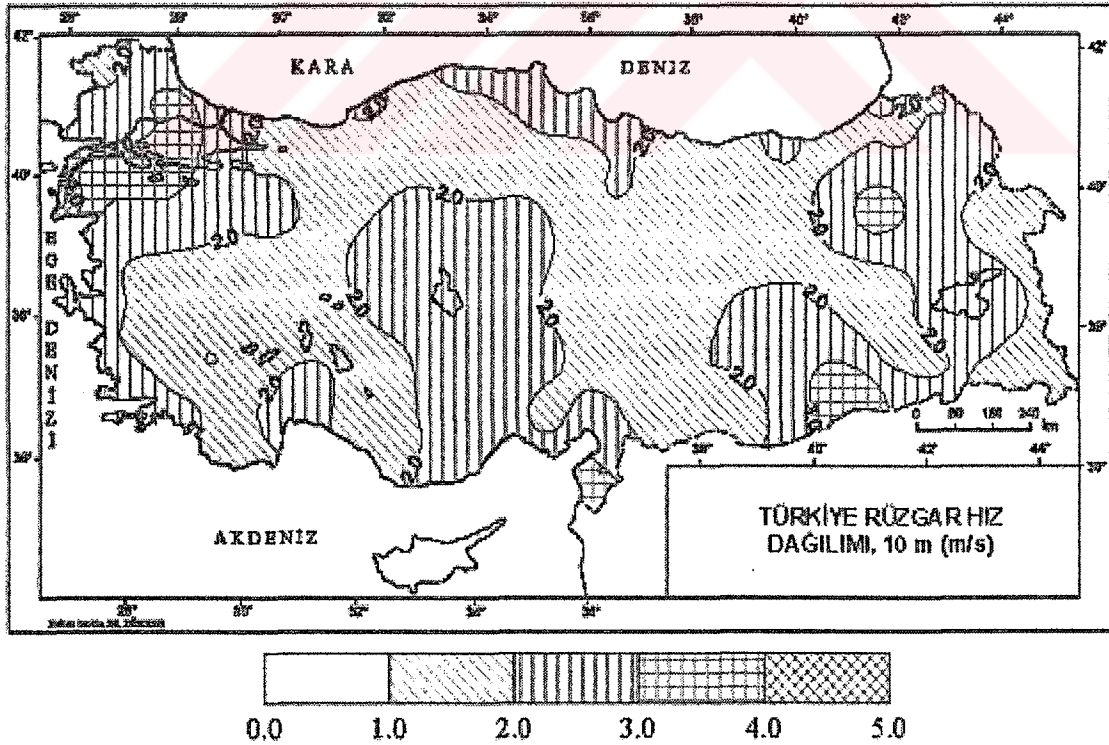
Rüzgar türbinlerinin teknolojisi geliştirildiğinden, gerek kurulmalarında, gerekse işletilmelerinde kaza olasılığı yok denecek kadar azdır. Kompozit malzemeden yapılmış olan kanatlarında kırılma olmamaktadır ve kanatlar olabildiğince esnek bir yapıya sahiptir. Rüzgar santralleri sanıldığı gibi kuş ölümlerine neden olmamakta. Bir kuşun türbin kanatlarına çarpma ihtimali milyonda birden daha azdır.



Şekil 3.2 Rüzgardan elektrik enerjisi üretimi

3.1. Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi

Türkiye’de genel amaçlı rüzgar ölçümleri diğer ölçümlerle birlikte DMİ Genel Müdürlüğü tarafından uzun yıllardır yapılmaktadır.



Şekil 3.3 Türkiye rüzgar hız dağılımı

Ülke genelinde yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı plan ve programların yapılabilmesi, bu kaynakların her birinin potansiyellerinin belirlenmesiyle mümkündür. Bu amaçla, ilk adım olarak, DMİ Genel Müdürlüğüne ait istasyonların 1970-1980 yılları arasındaki kayıtları değerlendirilerek ülke genelinde doğal rüzgar enerji dağılımını, aylık rüzgar ölçümlerini baz alarak tespit edilmiştir. Sonuçlar "Türkiye Rüzgar Enerjisi Doğal Potansiyeli" çalışması olarak yayınlanmıştır.

Bu çalışma sonucunda;

- Marmara Denizi kıyıları ve iç kısımları
- Ege denizi ve güneybatı Akdeniz kıyıları
- Doğu Akdeniz kıyıları
- Orta Anadolu da tuz gölü güneyi
- Güneydoğu Anadolu olmak üzere rüzgar bakımından zengin altı bölge belirlenmiştir.

Çalışmanın ikinci aşaması ise birinci aşamada belirlenmiş olan ve rüzgar enerjisi yönünden ümit görülen yerlerde enerji amaçlı rüzgar ölçümlerine dayanmaktadır. Bu sayede bu bölgelerin enerji amaçlı rüzgar potansiyelleri dolayısıyla da rüzgar enerjisi dönüşüm sistemleri kurmaya aday yerler belirlenecektir. Böylece rüzgar enerjisinden enerji kaynağı olarak yararlanma sağlanacak ve artan enerji sorunu çözümüne katkı yapılabilir.

Bu amaçla 1990 yılından başlamak üzere ülkenin değişik yerlerine rüzgar enerjisi gözlem istasyonları kurulup veri toplanmaya başlanmıştır. Bu istasyonlarda düşük güçlü mikroişlemci kontrollü veri toplama sistemleri kullanılmaktadır. Ölçümler çoğunlukla 10 metre yükseklikte alınmakla birlikte 30 m yükseklikte alınan ölçümlerde mevcuttur. Veriler birer saatlik ve 10 dakikalık periyotlarla toplanmakta yazılım programı kullanılarak işlenmekte ve arşivlenmektedir. EİE rüzgar enerjisi gözlem istasyonlarına ait aylık ortalama rüzgar hızları ve rüzgar yönleri güncellenmekte ve ücretsiz olarak yayımlanmaktadır. Buna karşılık, elde edilen rüzgar hız istatistikleri ve rüzgar yön verisi kurum ve kuruluşlara ücreti karşılığında verilmektedir. Data satın almak isteyen özel sektör ve/veya tüzel kişiler, data satın alma talep formunu doldurup, ücretini yatırdıktan sonra datayı kurumun belirleyeceği bir tarihte alabilmektedirler. Bazı istasyonlarımızın aylık ortalama rüzgar hızları Tablo 3.1’de verilmiştir. Bu istasyonlardan Bandırma, Nurdağı, Şenköy ölçüm sürelerinin tamamlanması, Karaburun, Göktepe işletme koşullarının elverişsizliği, Zengen ise rüzgar hızlarının oldukça düşük olması nedeniyle kapatılmış ve daha elverişli (Sinop, Foça, Akhisar, Bababurnu, Gelibolu, Bodrum) yerlere kurularak veri toplanmaya başlamıştır.

Tablo 3.1 EİE tarafından yapılan rüzgar ölçümleri (EİE, 2003)

İstasyon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sinop	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3,6	3,6	4,2	4,1	4,3
Belen	8,0	8,3	8,8	6,4	6,4	5,7	8,9	N/A	N/A	N/A	4,6	6,5
Akhisar	6,5	9,0	7,6	5,8	5,4	7,6	8,2	8,6	7,1	6,0	4,2	-
Didim	4,2	5,8	4,8	4,2	2,5	4,3	5,3	4,2	-	-	-	-
Foça	6,0	6,6	5,8	4,5	4,3	5,4	5,6	5,9	5,3	5,5	4,3	5,9
Datça	5,7	6,4	6,0	4,6	4,8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	5,0	4,8
Bababurnu	6,2	7,3	6,0	5,1	3,9	5,4	5,9	6,5	5,3	5,6	5,1	5,7
Bandırma	7,7	9,3	8,2	6,0	6,7	6,9	6,0	8,2	7,6	7,0	5,7	-
Gelibolu	7,8	9,2	7,2	5,9	6,0	5,9	5,4	6,7	6,1	6,8	6,1	7,0
Yumurtalık	3,7	5,0	3,9	3,7	3,7	3,9	4,4	3,6	4,7	3,6	3,5	4,0
Gelendost	6,5	6,6	5,0	5,6	3,9	4,5	5,4	4,5	4,7	5,2	3,4	4,2
Bodrum	6,5	7,2	6	5,9	3,8	5	6,4	5,1	6,0	6,8	4,5	6,4

EİE'nin rüzgar ölçümleri yaptığı yerlerde 3096 sayılı kanunun 4. maddesine göre yapı-ışlet-devret modeli kapsamında rüzgar tarlaları kurmak için yapılan başvurular bu konudaki ümit verici gelişmelerdir. EİE AREB-TŞ ile Türkiye'de rüzgar enerjisi kullanımını özendirmek ve sistem tasarımı için metodoloji oluşturmak amacıyla Türkiye'nin batı bölgesinde belirlenecek bir yerde Rüzgar Enerjisi Fizibilite Projesine başlamıştır. Bu amaçla Areb-TŞ ile bir ortak girişim antlaşması yapılmıştır. Toplam 300.000 Euro'luk olan söz konusu projenin 170.000 Euro'luk bölümü Avrupa Yatırım Bankası METAP Programından desteklenmek üzere başvuru yapılmıştır. Projenin altı ana başlıkta yürütülmektedir. Bunlar:

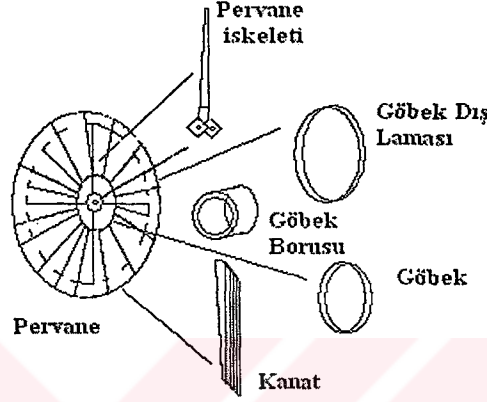
- Proje hazırlık çalışmaları
- Rüzgar kaynak değerlendirmesi
- Rüzgar tarla tasarımı
- Ekonomik analiz
- Çevre etki değerlendirme çalışmaları
- Sonuçların değerlendirilmesi

3.2 Rüzgar Güllünün Yapısı ve İmalatı

Elektrik üretiminde kullanılacak rüzgar güllü sistemi üç ana kısımdan oluşmaktadır.

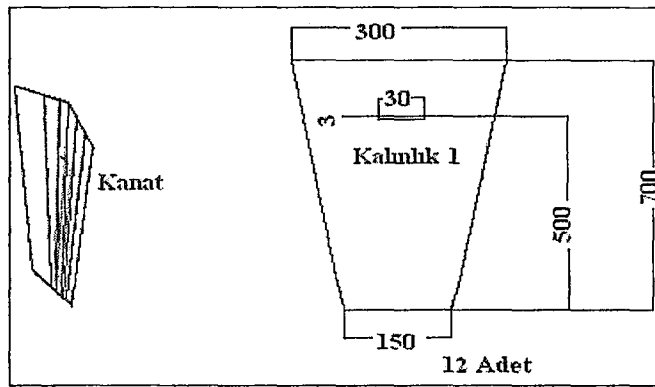
Pervane: Pervane sistemin en önemli elemanıdır. Pervane seçimini yaparken çok dikkat etmek gerekir. Bulunduğumuz yörenin iklim şartları, kurulacak sistemden beklenen enerji ve ekonomikliği, pervane seçimini etkileyen faktörlerdir. Örneğin, bulunulan yöre oldukça rüzgar

alan bir bölge ve rüzgarın şiddeti yüksekse daha dayanıklı bir malzeme kullanmak gerekir. Bu malzeme seçimi sistemden beklenen enerji miktarına göre de değişmektedir. Fazla enerjiye ihtiyacı varsa kanat büyüklüğü artacak, tabi ki bu da maliyete yansacaktır. Pervane dediğimiz kısmı kanatlar, kanatların oturma yerlerini oluşturan göbek iç ve dış çember lamaları, bu çember lamalarını tutan ayrıca pervane kısmının iskeletini oluşturan göbek lamaları, pervanenin döndürdüğü mil üzerinde oturmasını sağlayan göbek borusu ve göbek lamalarını göbek borusuna sabitleyen göbek saclarından oluşmaktadır. Aşağıda pervane ve kısımları görülmektedir.



Şekil 3.4 Pervane ve kısımları

Pervane yapımında 12 kanatlı olanlar daha çok tercih edilmekle birlikte 16 kanatlı olarak da yapılmaktadır. Yalnız burada şuna dikkat edilmesi gereklidir ki o da kanat adedi arttıkça güç artmakta, devir düşmektedir. İlk önce pervane kısmını oluşturan parçalar tek tek hazırlanmakta, belirlenmiş ölçülerinde kesilmekte, kıvrılmakta ve birleştirmeye hazır hale getirilmektedir. Kanatlar aşağıdaki ölçülerde kesilir.



Şekil 3.5 Kanat ve ölçüleri

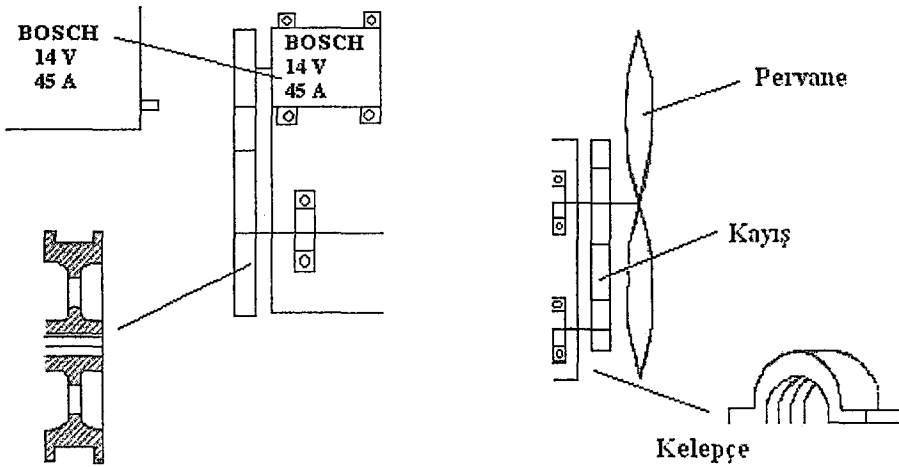
Alternatör: Alternatör gerilim üretir. Alışıldığı üzere alternatör denilen bu gerilim üreteçleri, akü tarafından uyartılan küçük güçlü senkron jeneratörlerdir. Alternatör çıkışında 100-220V

arasında bir alternatif gerilim elde edilir. Bu gerilim bir trafo üzerinden 12V'luk gerilime düşürülür. Sonra 6 diyotlu bir doğrultucu yardımıyla doğru akım haline çevrilir. Gerilimi kararlı tutmak üzere çeşitli türde ve yapıda gerilim regülatörleri genellikle elektronik devreli olmaktadır. Günümüzde alternatörler dinamolara göre daha çok tercih edilmektedir. Üretim kapasitesi dinamolara oranla daha yüksektir. Özellikle düşük devirlerdeki yüksek veriminden dolayı tercih edilen bir üreteçtir.

Akümülatör: Akümülatör (akü) bilindiği gibi bir sulu pildir. Bittiğinde doldurulabilmesi büyük bir avantajdır. Akü sayesinde alternatör veya dinamodan elde edilen elektrik enerjisini depolaması ve daha sonra buradan düzenli bir şekilde kullanmak mümkün olmaktadır.

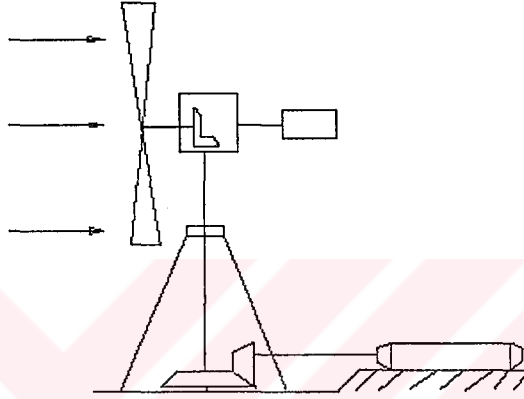
Bir akümülatörün plakaları tamamen asit çözeltisi içinde olmalıdır. Akümülatörde çözelti düzeyi düştükçe saf su ilave edilmelidir. Doldurulma sırasında yoğunluğu artan çözeltinin boşalma sırasında su oluşması nedeniyle yoğunluğu 1.15g/cm^3 'ye kadar düşmektedir. Yoğunluğu bu değerin altına düşürmemek gerekir. Yanlış kullanılırsa kurşun plakalar eğilir ve bozulur. Akümülatör tam şarj edilirken içine konulacak asit saf olmalı, tortu bırakmamalıdır. Akümülatör daima kuru ve temiz tutulmalıdır ara sıra kapak ve kutup başları temizlenmelidir. Akümülatör ilk maliyeti haricinde çok fazla bir yük getirmeden uzun süre kullanılacak bir enerji kaynağıdır.

Ara Sistemin Hazırlanışı: $\Phi 25$ 'lik demirden 550 ve 750mm'lik iki adet mil kesilir. 600x500'lük, kalınlığı 10mm olan ince bir levha ara sistemin tabanını oluşturacaktır. Sistem şekilde olduğu gibi gösterebilir.



Şekil 3.6 Ara sistem şeması

Şemadan da görüldüğü gibi sistem 4 kasnak, 4 yatak ve iki tane kayış kullanılmaktadır. 1. mil (55cm uzunluğunda) şekildeki gibi iki noktadan yataklanmış ve 1. kasnak (350mm çapında) mile geçirilmiştir. Milin uç kısmına pervane yerleştirilmiş ve bu pervanenin çıkmaması için milin ucuna diş açılarak somun bağlanmıştır. 2.milin iki ucuna kasnaklar bağlıdır ve bu ikisinin arası iki adet rulmanla yataklanmıştır. 1. mildeki 350 mm' lik kasnaktan V kayışla 2.mil, 60 mm çapındaki kasnakla tahrik edilir. 2.milin diğer ucundaki kasnak 300 mm çapındadır ve bu kasnak alternatörün miline bağlı olan 60 mm çapındaki kasnağı tahrik eder. Böylece alternatör tahrik edilmiş olur. Alternatör yaklaşık 1000 devir/dakika dönmesi halinde enerji üretmeye başlamaktadır.



Şekil 3.7 Rüzgar gülünden elektrik elde edilmesi

3.3 Rüzgar Türbinleri

Rüzgar türbinlerinin ilk uygulamaları olan rüzgar milleri çok eski zamanlardan beri kullanılmasına rağmen elektrik üretimi amacıyla kullanılmaları ancak 100 yıllık bir geçmişe sahiptir. Elektrik enerjisi üretimi amacıyla kullanılan türbinlerdeki önemli gelişmeler son 20 – 25 yılda meydana gelmiştir. Rüzgar türbinleri hareket halindeki havanın enerjisini mekanik enerjiye çevirerek dönüştüren makinelerdir. Bu nedenle rüzgardan elektrik üretimi rüzgar enerjisi uygulamalarının temel yöntemlerinden biridir.

Rüzgar enerjisinden mekanik ve elektrik dönüşüm olmak üzere iki şekilde yararlanılmaktadır. Rüzgar enerjisi mekanik enerjiye çevrilerek su pompalanmasında yatay ve dikey eksenli sistemlerle kullanılmıştır. Özellikle kırsal kesimlerde elektrik üretiminde şebeke bağlantılı AA uygulamaları, şebeke bağlantısı olmayan AA/DA uygulamaları, uzak DA sistem uygulamaları yapılmaktadır. Rüzgar elektrik sistemlerinde dönüşüm düzenleri doğru akım, alternatif akım (değişken frekans, değişken veya sabit gerilim-sabit frekans, değişken veya sabit gerilim) şeklindedir.

Rüzgar-elektrik sistemlerinin temel bileşenleri; rüzgar türbini, dişli kutusu, kavrama, elektrik jeneratörü (sabit-mıknatıslı, senkron, indüksiyon jeneratörler) ve kontrol mekanizmasıdır. Hareketli havadan mekanik enerji şeklinde elde edilen enerji, uygun bir kavrama düzeni ve dişli kutusu içeren mekanik aktarıcı ile elektrik jeneratörüne iletilir. Jeneratörden elektrik çıkışı, uygulamaya göre bir yüke ya da güç şebekesine bağlanır.

Rüzgar elektrik sistemlerinde rüzgardan alınabilen güçten elektriksel güç çıkışına kadar olan tüm dönüşümün verimi % 25–35 aralığındadır. Örneğin 3 m'lik bir pervane çapına sahip türbinle, yaklaşık 30-35 km/h'lık rüzgar hızında 1 kW elektrik gücü elde etmek için 7-8 m²'lik süpürme alanı gerekmektedir.

Elektrik enerjisinin çıkışından yararlanma şekilleri ise; akü grubunda depolama, diğer yöntemlerle depolama ve konvansiyonel şebeke sistemine bağlantı olmak üzere adlandırılırlar. Enerji depolamak için yaygın olarak kullanılan akümülatörler genellikle kurşun plakalı, asitli olan akülerdir. Elektriksel çıkışın verimi % 80-90, enerjide % 70-80 civarındadır. Aşın şarj, deşarj veya uzun süre boş kalma olayı akümülatörlerin ömrünü kısaltabilir. Bunun yanında DA'yı AA'ya çeviren dönüştürücüler sayesinde 1 KW'a kadar çıkış gücü sağlanarak bazı cihazların çalıştırılması mümkün olabilir.

Ayrıca rüzgar enerjisi teknolojisi çok yeni bir teknolojidir. Türbin yapımında kullanılan tüm parçaların geliştirilmesi ile iletim kayıpları da azaltılabilir. Özellikle daha iyi malzeme, esnek parçalar, doğal koruma, daha basit kontrol mekanizmaları rüzgar türbin ağırlığını ve maliyetini azaltarak, daha yeni teknoloji ile hizmet verebilecektir.

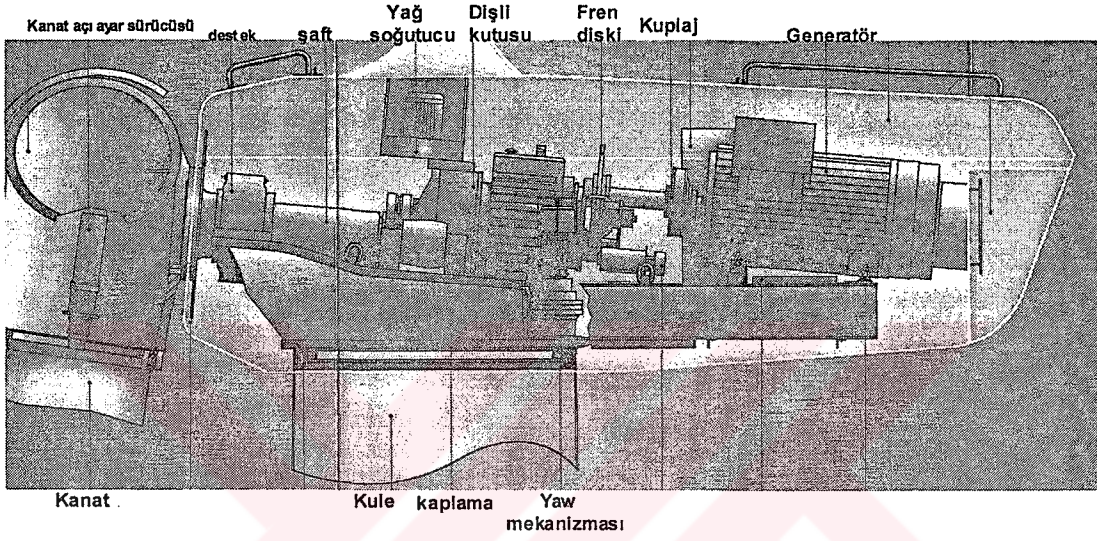
3.3.1 Türbinlerin Yapıları

Rüzgar santralinin ana yapı elemanı türbindir. Günümüz rüzgar türbinleri geliştirilmiş rüzgar enerjisi çevrim sistemleri (WECS) olarak tanımlanır. Rüzgar santrallerinde kullanılan türbinlerin hemen tümü yatay eksenli propeller türbinlerdir. Rotor kanat sayıları bir ile üç arasında değişmektedir ve her bir kanat ağırlığı 2 ton'dur. Genellikle up-wind (üst-rüzgarlı) tip türbinler kullanılır.

Türbinler, rotor konumuna göre yatay, düşey ve eğik eksenli olurlar. Yatay eksenlilerin dönme eksenleri rüzgar yönüne paralel ve kanatları rüzgar yönüne diktir. Bu türbinler hızlı olup az kanatlıdır. Propeller türbinler, difüzlü türbinler ve tornado türbinler olarak üçe ayrılır. Elektrik üretiminde kullanılan düşey eksenli türbinlerin dönme eksenleri düşey ve rüzgara diktir. Kanat kirişleri dönme eksenine dik olacak şekilde yerleştirilmiştir. En çok kullanılan propeller türbinlerde rotor, göbekte mile bağlanmış aerodinamik profilli kanatlardan oluşur.

Kanat çelik bileşenler içeren bir materyalden ve özellikle reçine ya da polyesterle güçlendirilmiş fiberglass bir malzemeden yapılır.

Dikey eksenli millerin en başarılı örneklerinden biri Finlandiya'nın Savonius'u adlandırılmıştır. Savonius mili tekli veya çoklu S şeklinde yelkenden ve bir dikey eksenenden oluşur. Dikey eksenli diğer miller Madaras ve Darrieus milleridir. Dikey eksenli makinelerin bir üstünlüğü de rüzgarın yönüne göre yalpalama ayarına gerek kalmadan ayarlana bilir olmasıdır.



Resim 3.1 Türbin yapısı

Dünya piyasasındaki sabit hızlı türbin rotorlarının dakikadaki devir sayısı 30, 34, 35, 43 d/dk düzeyindedir. Değişken hızlı rotorlar için bu değer 15–44 d/dk, 18–39 d/dk, 36–45 d/dk, 40–60 d/dk ve 58–72 d/dk arasındadır. Rotor ile generatör arasında, hızı yükseltecek dişli kutusu yer alır.

Üst-rüzgarlı (Up-wind) Makinalar: Bu makinelerde rüzgar, rotora direk ön cepheden çarpar. Bu tip yapılarda kule fazla rüzgara maruz kalmaz. Rüzgar santrallerinin çoğu bu yapıdadır. Bu yapının bir dezavantajı, pervanelerinin bükülmez bir yapıda olması ve kuleden yeterince uzağa konulması gerekliliğidir. Ayrıca bu yapılarda ilave olarak rotor kanatlarına rüzgarın ön cepheden çarpması için yaw mekanizmasının kullanılması gereklidir. Yaw mekanizması, rotor kanatlarını daima rüzgara dik tutmaya çalışan bir sistemdir.

Alt-rüzgarlı (Down-wind) Makinalar: Bu makineler konum olarak, kulenin alt rüzgar alanı denilen yerdedir. Yani bu yapıda rüzgar, önce kuleye dokunup sonra da rotor kanatlarına gelir. Bunun bir avantajı, yaw mekanizması olmadan da çalışabilmesidir.

Yaw Mekanizması: Rüzgar türbinlerinde rüzgar türbin kanatlarının (pervane) iyi bir şekilde dönmesi için kullanılır. Eğer rüzgar pervaneye dik olarak gelmezse, rüzgardan maksimum şekilde yararlanılamaz ve rüzgarın bir kısmı boşa gider. Bu yüzden yaw mekanizması rotor kanatlarını her zaman rüzgara dik tutmaya çalışır.

Rüzgar türbinlerinde gücü sınırlamak ve rüzgar hızının yüksek olduğu anlarda kanatlara etkiyen kuvveti azaltmak amacıyla iki türlü hız regüle sistemi kullanılmaktadır;

- Sabit kanatlı rüzgar türbinlerinde regüle sistemleri
- Kanadı değişken açılı rüzgar sistemlerinde kullanılan hız düzenleyicileri

Düşey eksenli rüzgar türbinlerinden savonius tipi türbinler, düşük rüzgar hızlarında (0.5 m/s) ilk hareketi kolay alabilen, küçük güçler üretebilen türbinlerdir. Rüzgar hızlarının 2-20 m/s olduğu bölgelerde rotor verimi yüksektir. Rüzgar hızına bağlı olarak rotor açısı 30-170 d/d arasında değişmektedir. Rüzgar hızı sabit olarak 6 m/s olduğunda en iyi verim alınabilmektedir.

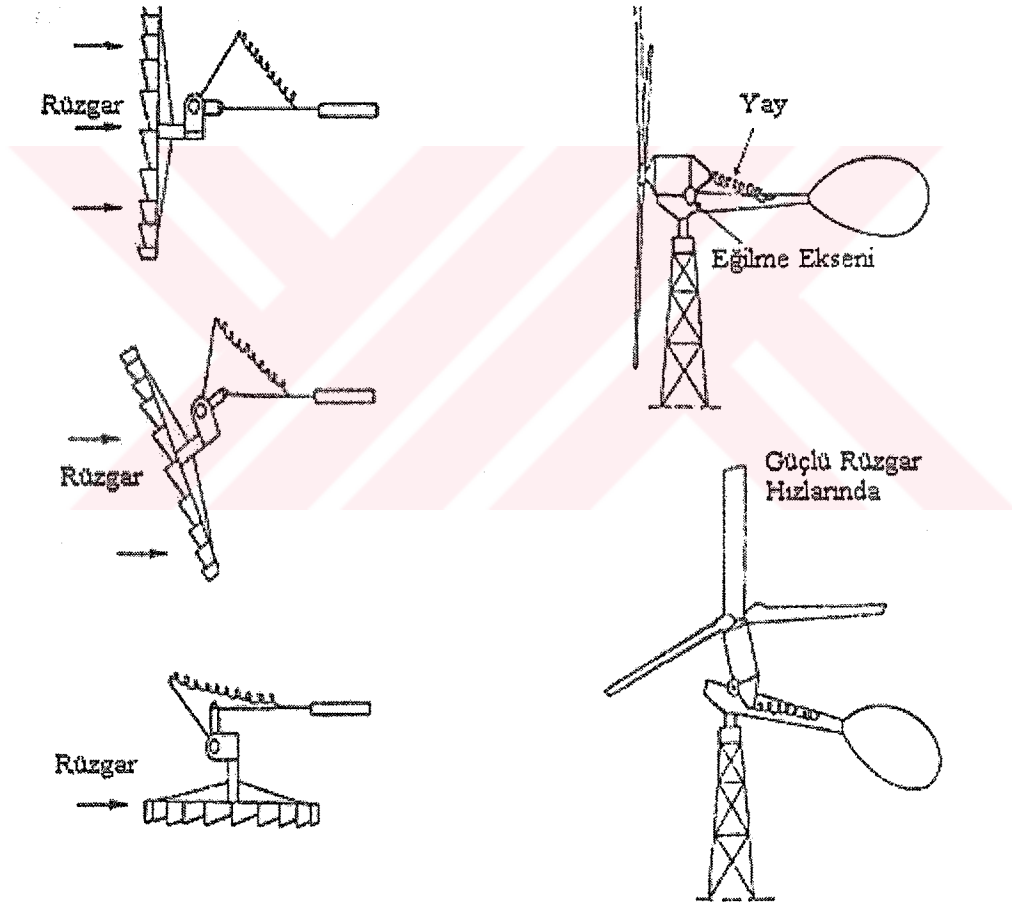
Klasik savonius uygulamalarında oluşan girdaplar kayıplara yol açmaktadır. Girdap oluşumunu engellemek için silindirik kanatların merkezleri birbirinden uzaklaştırılmakta veya yaklaştırılmaktadır. Merkezler birbirinden uzaklaştırıldığında girdaplar kısmen giderilmekte ancak silindirik yüzeylerden birini terk eden akımla diğer yüzeylerdeki akım merkez nokta etrafında karışarak sorun oluşturmaktadır. Merkezler birbirine yaklaştırıldığında ise bir silindir yüzeyini terk eden akım düşük basınç bölgesi olan diğer silindir yüzeyine yönelir ve bu yüzeyin direnç etkisini azaltır.

Türbin kanatları sabit veya değişken açılı olurlar. Bazı tasarımlarda rotor frenlendiğinde açıyı artıran özel bir regülatör kullanılarak başlatma kolaylaştırılır. Sabit kanat açılı yüksek hızlı rüzgar makinelerinde, generatör başlama esnasında motor gibi davranır ve dönme hızı nominal hıza ulaştığında generatöre dönüşür. Genellikle, rüzgar rotoru bir dişli kutusu üzerinden elektrik generatörünü sürer. Dişli yapımında ortaya çıkan gelişmeler ve düşük hızlı elektrik generatörlerinin maliyetinin yüksek olması, küçük sistemler dışında rotorun generatör tarafından doğrudan sürülmesi eğilimine yol açmaktadır. Küçük güçlü rüzgar santralleri elektrik ağından bağımsız kurulduklarında, gerektiğinde bir başka enerji kaynağı kullanan santralle desteklenerek çalıştırılırlar.

Elektrik ağı bağlantılı bir türbin tek tüketiciyi beslemek için kullanıldığında, türbinle şebeke ve şebekeyle tek tüketici arasında enerji alışverişi yapılır. Elektrik ağı bağlantılı rüzgar

santralleri tek türbinli olabilecekleri gibi rüzgar çiftliği ya da rüzgar tarlası adı verilen çok sayıda türbinlerden de oluşabilirler. Çiftliklerdeki türbinler birbirlerine özdeş olmayabilirler. Türbinlerin yüksek hızda çalıştırılma nedenleri şöyle sıralanabilir:

- Eşit çaptaki yüksek hızlı bir rüzgar türbini, düşük hızlı bir türbinden daha hafif ve daha ucuzdur.
- Dönme hızları yüksek olduğu için gerekli çevrim oranı daha düşüktür. Bu nedenle dişli kutusu daha hafiftir.
- Elektrik generatörlerinin çalışmaya geçmesi için gerekli başlangıç torku küçüktür. Bu nedenle hızlı bir rüzgar rotoru, başlangıç torkunun küçük olmasına rağmen generatörü kolaylıkla harekete geçirebilir.



Şekil 3.8 Türbin regüle hız sistemleri

Çoğu elektronik rüzgar türbin denetleyicileri, alçak rüzgar hızlarında türbini şebeke bağlantısı olmadan boşta çalıştırmak için programlanmışlardır. Rüzgar tekrar hızlandığında ise elektronik denetleyiciler, tekrar generatörü şebekeye bağlarlar. Bu sayede gerilim dalgalanmaları önlenmiş olur. Şebeke bağlantılı büyük türbin generatörleri anahtar yardımıyla

devreden çıkarılıp, devreye alındığında, gerilimde kısa süreli bir dalgalanma olur. Bu dalgalanma ölçü aletleri yardımıyla görülebileceği gibi ortamdaki lambaların kararıp aydınlanmasından da hissedilebilir. Anahtarlama sisteminde, kontrol edilebilen sürekli anahtarlar (tristör) kullanırsak, generatörler şebekeye kademeli olarak bağlanır ve ayrılır. Türbin generatörleri başlatıldıktan sonra onları harekete geçirecek mekanik anahtar sistemiyle donatılmışlardır. Bu yolla boşa harcanan enerji miktarı minimuma indirilmiş olur.

Generatörün küçük güçlü şebekelere bağlanması durumunda, yukarıda bahsedildiği gibi gerilim dalgalanmaları olacaktır. Dalgalanma sadece bu sebepten değil, Ani rüzgar değişimleri de bu olaya neden olur. Bu tür şebekelerin kullanılması, halinde bazı önlemlerin alınması zorunludur.

Uygulanan elektriksel yöntem ne olursa olsun, verilen gücün mekanik regülasyonunun yapılması gerekir. Bu regülasyon ya kanatların ayarlanması ya da aerodinamik frenle yapılır. Frekansı generatörün kendisi tarafından düzenlenen bir DA generatörünü veya bağımsız bir şebekeyi besleyen bir alternatörü süren rüzgar türbinleri, takometre kullanılarak regüle edilebilir.

Değişken açılı kanatları olan ve sabit frekansta bir şebekeyi besleyen rüzgar generatörleri için güç regülasyonu yapmak daha iyidir. Mekanik hız regülatörü için güç çıkışının sınırlamasına da yardımcı olacak ve generatör şebekeden ayrıldığı zaman hız sınırlamasını da sağlayacaktır. Sabit frekanslı bir şebekeyi besleyen sabit kanatlı makineler için hız regülasyonu gerekli değildir. Çünkü rüzgar rotorunun dönme hızını şebeke belirler. Bu durumda güç regülasyonu eşzamanlı olarak meydana gelir. Yani dönme hızı sabit olduğundan rüzgar hızı arttığı zaman uç hızı düşer. Böylece verim azalır ve uç hızı sabit bir değerde olduğundaki kadar fazla güç elde edilemez. Güç sınırlaması kanadın uç bölgelerinin kendi frenleme noktalarına yakın çalışmasından dolayı ortaya çıkar.

Bununla birlikte generatör şebekeden ayrılmışsa, hız artışından kaçınmak için sabit kanatlı bir makineye frenleme sistemi (mekanik bir fren ve kanatlara aerodinamik fren) kullanmak gereklidir.

Bağımsız sabit kanatlı makinelerde regülasyon; güç artışını dönme hızının küpü ile sağlayan hiperkompant generatör ile veya paralelinde elektronik kontrollü değişken elektrik dirençler bulunan bir yükü besleyen ve statik kapasitörlerle paralellenmiş olan asenkron generatörü ile sağlanabilir.

3.3.2 Rüzgar Türbinlerinin Büyüklüğü

Rüzgar santrallerinde işletme alanı düşey olarak kullanıldığı için az yer kaplamakta ve araziden tasarruf edilmektedir. Rotor kanatlarının (pervane) oluşturduğu diskin kapladığı

alandan yola çıkılarak generatörden alınabilecek gücün hesabı yapılabilir. 600 kW'lık bir generatörün rotor çapı 44 metredir. Eğer, rotor çapı iki katına çıkarılırsa, pervanelerin kapladığı dairenin alanı karesel olarak artacaktır ve buna bağlı olarak elde edilecek güç de o oranda artacaktır.

Pervane çapları, yukarıda verilen değerlerden biraz değişik olabilirler çünkü, çoğu imalatçılar, yerel rüzgar durumlarına göre makinelerini optimum şekilde kullanmaya çalışırlar. Buna bağlı olarak, 600 kW'lık bir generatörün rotor çapı 39 – 48m arasında değişir. Bu durumda, az rüzgarlı yerlerde daha küçük boyutlu generatörler kullanarak daha fazla güç elde edilebilir.

Bütün sistemlerde olduğu gibi rüzgar türbinlerinde de ekonomiklik önemli bir etkidir. Büyük makineler küçük makinelere nazaran elektriği daha düşük maliyetle üretirler. Türbin altyapısı (elektronik kontrol sistemi, güvenlik sistemleri v.s.), şebekeye bağlantı elemanları gibi artı bileşenlerin sayısı makinenin boyutundan bağımsızdır. Ayrıca altyapı maliyeti, makinenin boyutuna oranlı olarak yükselmez ve bakım maliyetleri ise çoğunlukla makinenin boyutundan bağımsızdır.

Şebekeden uzak yerlerde, şebeke harici çalışan santrallerde küçük boyutlu ve düşük güçlü generatörler kullanılır. Rüzgar dalgalanmalarının önüne geçilemeyeceği için bunun etkilerinin en hafife indirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, küçük makineler içeren rüzgar santrallerinin elektrik üretimi de daha az dalgalanmalı olur.

Büyük türbinlerde türbin bileşenlerini taşımak için santralin kurulacağı yere ayrıca sağlam ve dayanıklı bir yol yapılması gerekir. Bu da ek maliyete yol açar. Ayrıca büyük türbinleri santral direğinin tepesine çıkartmak için küçük türbinlere nazaran daha büyük vinçler kullanmak gerekir.

Rüzgar türbini parçalarının tasarlanmaları 20 yıl kadar sürmüştür. Fırtınalı havalarda ve olumsuz hava koşulları altında 120.000 işletim saatine dayanmalıdır. Bu yüzden rüzgar türbinleri, çalışmaları süresince görev yapan bir takım güvenlik cihazlarıyla donatılmışlardır. Rüzgar türbini sistemlerinde son derece iyi bir güvenlik sağlayan titreşim sensörü kullanılır. Bu sistemde bir bilye çalışmaktadır. Bilye, anahtara ve türbine bağlıdır. Türbinde bir titreşim veya sarsıntı olduğunda bu durum bilye vasıtasıyla anahtara iletilecek ve türbin durdurulacaktır. Bir diğer algılayıcı da elektronik termometrelerdir. Bu termometreler aracılığıyla şanzıman (dişli kutusu) yağı ve generatör sıcaklığı ölçülür.

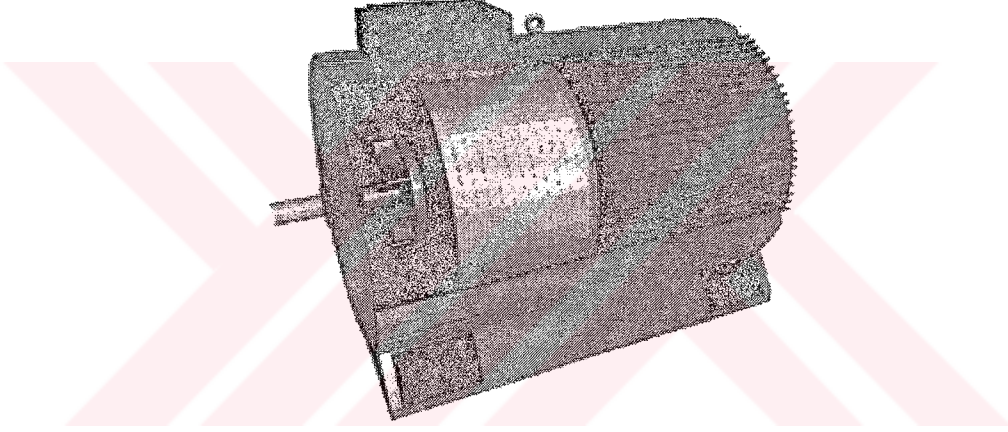
Aerodinamik fren sistemleri, aniden çalışmaya başlarlar ve düzenli çalışarak sistemi çeşitli olumsuz durumlara karşı korurlar. Yapılan çalışmalar ve uygulamalar sonucunda bu sistemlerin iyi derecede güvenilir olduğu ispatlanmıştır. Bütün rüzgar türbinlerinde herhangi bir nedenle durdurma için aerodinamik fren sistemi kullanılmaktadır. Mekanik fren, aerodinamik

fren sisteminin yanında yedek sistem olarak kullanılır ve türbinler nadiren de olsa bu şekilde durdurulur.

Günümüzde çok sayıda rüzgar santralleri kullanılmaktadır ve bunların sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Santrallerden en az maliyet ve güç kaybı karşılığında en fazla güç alınmalıdır. İdeal rüzgar türbini tasarımlarında, teknoloji ve ekonomi birlikte düşünülerek enerji, mümkün olduğunca ucuza mal edilmeye çalışılmaktadır.

3.4 Rüzgar Türbin Generatörleri

Rüzgar türbin generatörü, mekanik enerjiyi elektriksel enerjiye çevirir. Rüzgar türbin generatörleri diğer generatörlerle karşılaştırıldığında bazı farklılıklar görülmektedir. Bu farklılığı oluşturan en önemli sebep, generatör, hidroelektrik santrallerde çalışan generatörlerin aksine, rüzgar hızındaki ani değişimler sonucu değişik mekanik güçlerde çalışmaktadır.



Şekil 3.9 Rüzgar türbin generatörü

Büyük türbin generatörleri (100 kW'tan yukarı) fazlar arası değeri 690 V olan 3 fazlı gerilim üretirler. Üretilen bu gerilim transformatör aracılığıyla 10 kV ile 30 kV arasındaki bir değere yükseltilir. Yükseltile bu gerilim, dağıtım şebekesine veya enterkonnekte şebekeye verilir. Generatörler, çalışma süresince soğutulmaya ihtiyaç duyarlar, soğutma generatörün verimini artırır. Çoğu türbinler, havayla soğutma için oluklarla donatılmıştır. Bazı generatörlerin soğutulması için sulu sistemler kullanılır. Generatörlerin soğutulmalarında daha çok radyatörler kullanılır. Küçük güçlü generatörlerle güç elde etmek için küçük boyutlu pervaneler kullanılır. Eğer büyük pervane kullanılırsa kuvvetli esen rüzgarlarda sadece generatörün kapasitesi kadar güç üretilecektir ve rüzgarın çoğu boşa harcanacaktır. Diğer taraftan, büyük güçlü generatörler, kuvvetli rüzgar hızlarında çok verimli olacak, ama alçak rüzgar hızlarında dönmeleri zor olacak veya dönemeyeceklerdir. Bu durumda, imalatçılar,

pervane boyutunun ideal kombinasyonuna karar vermek için farklı rüzgar hızlarında, rüzgar hızlarının dağılımına ve rüzgarın enerji içeriğine bakarlar. Farklı rüzgar türbinine göre de generatör boyutu belirlenir

Generatörler her zaman çok bölmeli statorlara sahip olarak üretilirler. Statorla rotor arasındaki hava aralığının minimum olacak şekilde düzenlenmesi gerekir. Generatörlerin aşırı ısınmasını önlemek için, stator ve rotor, tek parça olarak değil de bir tarafı yalıtılmış ince sacların (0.5 mm^2) preslenerek birbirine yapıştırılmasıyla elde edilir. Bunun sonucunda fuko ve histerisiz akımları azaltılarak stator ve rotorun aşırı ısınması önlenmiş olur.

Bazı üreticiler, hem düşük ve hem de yüksek rüzgar hızlarında çalışan generatörler üretirler. Bunu için makinenin imalatı, farklı sayıda kutup olacak şekilde yapılır. Bir anahtar yardımıyla değişen kutup sayısı, generatörün hızını da değiştirir. Böyle generatörler değişik hızlarda çalışarak değişik güçler üretebilirler. Bu nedenle düşük rüzgar hızına sahip bölgelerde kullanılmak üzere fazla kutup sayısına sahip olan generatörler üretmeye gayret edilmiş ve bu sayede üretilen elektrik enerjisinin daha ucuza mal olduğu görülmüştür. Bu yapının üstünlüklerinden biri de alçak rüzgar hızlarında rotor hızının azaltılmasıdır. Bu sayede rüzgarın değişik hızlarından en iyi şekilde yararlanılır.

Bir generatör, üç fazlı şebekeye bağlanacaksa frekansının şebeke frekansı ile aynı olması gerekir. Eğer statordaki mıknatısların sayısı iki katına çıkarılırsa, manyetik alandan dolayı makinenin yarı hızda dönmesi sağlanmış olur. Kutup sayılarını değiştirerek hız da değiştirilebilir. Kutup sayılarına göre devrin değişimi aşağıdaki Tablo 3.2'den görülebilir (senkron generatör için).

Tablo 3.2 Kutup sayısına göre devir sayısı değerleri

Generatörün Kutup Sayısı	Devir Sayısı (d/dk)	
	50 Hz.	60 Hz.
2	3000	3600
4	1500	1800
6	1000	1200
8	750	900
10	600	720

Rüzgar türbinlerinde kullanılan generatörlerin çoğu 4 veya 6 kutupludur. Bu yüzden, yüksek hızlı generatörler diğerlerine nazaran daha küçüktür ve maliyet açısından da daha ucuzdur. Generatörü maksimum momentle çalıştırmak, rotorun büyüklüğüne bağlıdır. İhtiyaç

duyulan güç çıkışına göre generatörler arasında düşük hızlı, pahalı veya yüksek hızlı, ucuz olarak seçim yapılabilir.

Türbinin ürettiği mekanik enerjiyi minimum kayıpla elektrik enerjisine dönüştürmek için farklı hız ve çıkış kombinasyonları kullanılmaktadır. Bunların bazıları şunlardır.

- DA Generatör (Şönt tipi)
- Senkron Generatör
- Asenkron Generatör

Küçük güçlü sistemleri de eskiden çok kullanılan DA generatörleri, şimdi genellikle senkron veya asenkron generatörlerle değiştirilmektedir. Bu generatörler çok pahalı olmayan doğrultucular yardımıyla kolayca DA' ya dönüştürülebilen alternatif akım üretir. Senkron ve asenkron generatörler orta ve büyük güçlü sistemlerde yaygın olarak kullanılırlar.

3.4.1 Senkron Generatörler

Sabit hızlı bir hareket vericisinden yararlanarak sabit frekanslı AA elektrik üreten senkron makinelerin teknolojisi, yaygın ve gelişmiş özelliktedir. Senkron makinelerinin şebeke ile paralel çalışması için üretilen hız sabit olmalıdır ve %1-2 oranındaki çok küçük dalgalanmalar saniyenin bölümleri gibi çok kısa süreler için kabul edilebilir. Rüzgar sürücülü senkron makinelerde bu koşulun yerine getirilmesi, rüzgar hızındaki sürekli dalgalanmalar, generatör çıkışındaki elektriğin hız değişimlerinden etkilenmesi ve makinenin şebekeden güç çekebilmesi (motor çalışma) gibi sebeplerden dolayı zordur. Bu problemler generatör mili ile dişli kutusu arasında uygun bir kuplaj sağlanarak aşılabılır. Maksimum torka sınırlama getiren kuplajlar, en iyi performansı ortaya çıkarır. Rüzgar sürücülü generatörün şebeke hatları ile senkronlanması özellikle ani piklerde önemli bir problemdir.

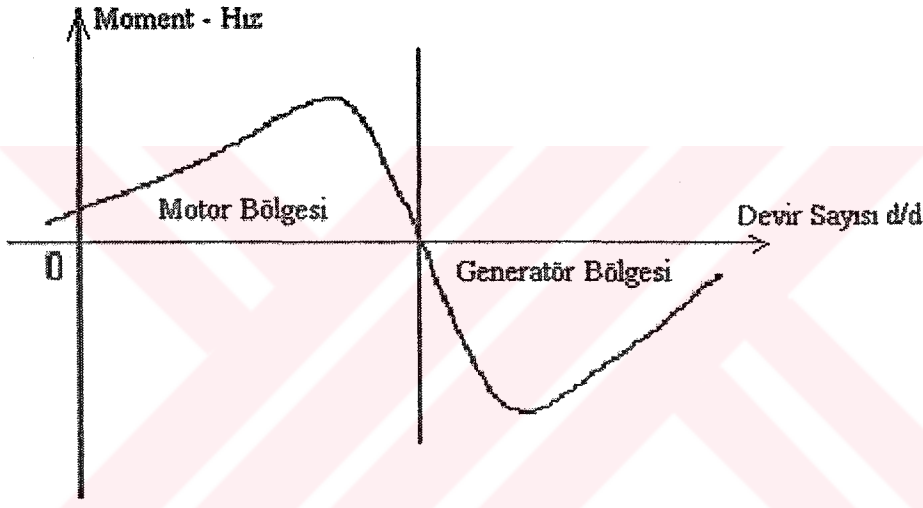
Ani rüzgarlar nedeniyle oluşan aşırı yükleri önlemek ve generatör çıkışını nominal değerlerde sınırlamak için kanat-açı kontrolünde çok yüksek performans gereklidir. Ayrıca şebeke ile paralel çalışma durumunda rüzgar sürücülü senkron generatörün şebeke ile paralel çalışmasında elektriksel kararlılığı arttırmak için uyarım kontrol mekanizması kullanılabilir.

Senkron generatörlerin DA generatörlerine göre avantajı, veriminin yüksek olması ve daha düşük dönme hızında enerji verebilmesidir. Asenkron generatörlere göre ise, kendi mıknatıslanma akımlarını sağlama avantajları vardır. Fakat daha pahalıdır ve kontrol sistem bağlantıları daha karmaşıktır.

3.4.2 Asenkron Generatörler

Endüstride en çok kullanılan elektrik makinelerinden, en az arıza yapan, en ucuz olan ve en çok kullanılan asenkron makineler basit bir yapıya sahiptirler. Çalışma ilkesi bakımından bu

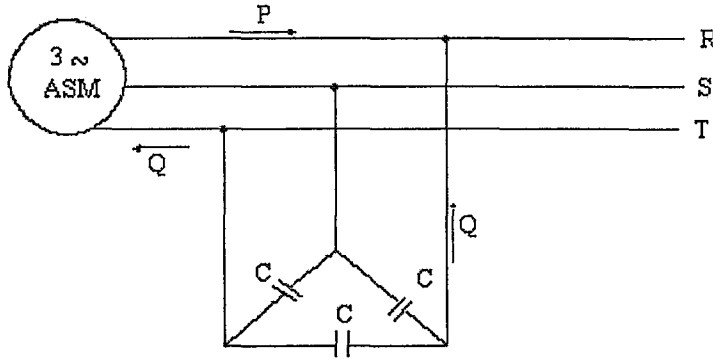
makinelere indüksiyon makinaları da denir. Bu makineler endüstride genellikle motor olarak çalıştırılırlar, fakat bazı şartların sağlanması halinde generatör olarak da kullanılabilirler. Asenkron makinelerin senkron makinelerden en büyük farklılıklarından biri, dönme hızının sabit olmayışıdır. Bir asenkron generatörün sabit hızla tahrik edilmesine gerek yoktur. Bu hız motor olarak çalışmada senkron hızdan küçüktür. Şekil 3.10'deki moment-hız eğrisinden de görüldüğü gibi gerilimi ve frekansı sabit olan bir şebekeye paralel bağlı bir asenkron makine, döner alan yönünde senkron hızın üstünde bir hızla tahrik edildiğinde, motor çalışma durumundan generatör çalışma durumuna geçer. Bu durumda rotorun dönme hızı (n) senkron hızdan (n_s) büyük olduğundan $S=(n_s-n)/n_s < 0$ olur. Generatörün miline uygulanan moment artırıldıkça asenkron generatörün ürettiği güç de artacaktır.



Şekil 3.10 Asenkron makinelerde devir sayısı-moment karakteristiği

Bir generatör olarak kullanılacak asenkron makinelerin göz önünde bulundurulması gereken bazı sınırlamaları vardır. Aynı bir alan devresi olmadığından asenkron generatör reaktif güç üretemez. Gerçekte bir asenkron generatör reaktif güç harcamaktadır ve stator manyetik alanını sürdürmek için harici bir reaktif güç kaynağı bağlanmalıdır. Aynı zamanda bu harici kaynak generatörün gerilimini de kontrol etmelidir. Çünkü alan akımı olmadan bir asenkron generatör kendi çıkış gerilimini kontrol edemez. Genellikle asenkron generatörün gerilimi bağlı bulunduğu güç sistemi ile sürdürülür.

Bir asenkron makine bir şebekeden bağımsız olarak generatör konumunda çalışabilir. Bu durumda gerekli olan reaktif güç stator sargılarına paralel bağlanan kondansatörlerden sağlanır. Şebekeden izole edilmiş bir asenkron generatör Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11 Asenkron motorun generatör çalışması

Bir asenkron motorun boşa çalışma karakteristiği, motor boşa çalışırken gerilim (V) ve akım (I_m) değerleri ölçülerek çıkartılabilir. Böyle bir boşa çalışma karakteristiği Şekil 3.12’ de verilmiştir.



Şekil 3.12 Asenkron motorun boşa çalışma karakteristiği

Asenkron generatörlerin kendi kendini uyarabilmesi için gerekli I_m akımı kondansatörler tarafından sağlanır.

Bir asenkron generatör milinden tahrik edildiğinde rotorundaki artık mıknatısiyet sayesinde küçük bir gerilim üretir. Üretilen bu gerilim, gerilimin değerini arttıracak bir kapasitif akım akmasını sağlar, gerilimin artması ile kapasitif akım artar. Bu artış, gerilimin nominal değere ulaşmasına kadar devam eder. DA motorlarda olduğu gibi, asenkron motorun rotorunda kalıcı mıknatısiyetlik yoksa asenkron generatör gerilim üretemeyecektir. Asenkron motorun en büyük problemi gerilimin yük ile özellikle de reaktif yük ile değişmesidir. Öyle ki; endüktif bir yükü beslerken gerilim aşırı derecede düşebilir.

Asenkron generatör, şebekeye senkron hızdan çok az farklı bir hız ile uyum gözetilmeksizin bağlanabilir. Bağlantı sonucunda oluşan aşırı yüklenme çok kısa sürelidir. Bağlantı kontrol sistemi, şebekeye bağlantıyı kontrol eden takometre kontağından ve rüzgar hızı düştüğü zaman bağlantının kesilmesini sağlayan bir ters akım rölesinden oluşur.

Asenkron generatörün dezavantajı, mıknatıslanma akımını şebekeden çekmesi, böylelikle reaktif güç tüketmesidir. Bu küçük sorun, uçlara kapasitör bağlanarak giderilebilir. Kapasitörlerin kullanılması, şebekeden çekilen reaktif gücün azalmasını sağlar. Bu nedenle de güç faktörü arttırılmış olur.

Eğer rüzgar hızı, türbinin çalışmaya başlama hızından daha yüksek ise, asenkron motor kendi nominal hızına ulaştığında generatör olarak davranır; düşük ise, otomatik ayırma cihazı türbini şebekeden ayırır. Bu sistem başlatma torku düşük olan yüksek hızlı sabit kanatlı makineler için faydalıdır.

Sonuçta en ucuz ve en güvenilir çözüm olarak asenkron generatör görülmektedir. Asenkron generatörler, tesisinin ucuz olması, şebeke bağlantısının kolay olması, şebekeye bağlandığı zaman salınımların oluşmaması gibi nedenlerden ötürü diğer generatörlere göre daha avantajlıdır.

3.4.3 Rüzgar Türbin Generatörlerinin Şebekeye Bağlantıları

Bölgesel veya ulusal şebekeden talep edilen güç elektrik güç talebinin yapısı tarafından belirlenir. Bu talep günün saatleri, haftanın günleri ve mevsimlerle değişen bir yapı izler. Bununla birlikte bu gücün daima sabit frekansta ve kararlı gerilimde olması gereklidir. Bu talebin en önemli kısmı genellikle sabit gerilim ve frekansta oldukça kararlı ve sabit güç veren büyük elektrik santralleri tarafından sağlanır. Güç talebindeki değişimler, santrallerin devreye alınmasıyla dengelenebilir.

Rüzgar santrallerindeki durum ise farklıdır. Rüzgardaki büyük düzensiz değişimler nedeniyle rüzgar santrali, hidroelektrik santraller gibi tek başına sabit gerilim üreten bir kaynak görülmemelidir. Dolayısıyla bir rüzgar türbini elektrik şebekesine bağlandığı zaman ortaya sorunlar çıkabilir. Çoğu rüzgar türbinleri, doğrudan şebeke bağlantılı durumlarda hemen hemen sabit bir hızda çalıştırılırlar. Şebeke harici bağlantılı çalışmada ise, rüzgar türbin generatörü, değişik hızlarda çalışır. Şebeke harici bağlantılı çalışan generatörlerden alınan gerilim, inverter vasıtasıyla düzenlenir.

Rüzgar enerjisi diğer enerji kaynaklarının bulunmadığı, iletim olanağının olmadığı ya da maliyetinin çok yüksek olduğu yerlerde alternatif enerji olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlerin uygulama alanları sınırsızdır. Su pompalama, katodik korumada, deniz fenerlerinde, yatlarda, çiftliklerde, yangın gözetleme kulelerinde, telekomünikasyon gibi alanlarda kullanılmaktadır. Küçük boyutlardaki sistemler genel olarak batarya şarjında, büyük olanlar ise genel amaçlı enerji gereksiniminde kullanılırlar.

Bu tip sistemlere şebekeden bağımsız rüzgar güç sistemleri denir ve bu sistemler 1-30 kW arasında kullanılmakla birlikte, çoğunlukla 30 kW'yı aşmamaktadır. Bu rüzgar generatörleri

üç kanatlı bir çark, transmisyon sistemi, DA generatör, yöneltici kuyruk ve fren sisteminden oluşur. Makina daha çok direk tipi pilon üzerine yerleştirilir. Elde edilen enerji akü ile depolanır. Daha büyük sistemler (30–100 kW) yedek enerji kaynağı olarak dizel generatörlerle paralel çalıştırılmaktadır. Böyle bir sistemde dizel generatörün rüzgardan yararlanarak % 40-50 yakıt tasarrufu sağlaması amaçlanmaktadır. Rüzgar/Dizel sistemlerde DA-AA inverterler kullanılarak tüketici AA ile beslenmektedir.

Şebekeden bağımsız rüzgar sistemlerinin iki önemli avantajı vardır. Birinci avantajı, rüzgarın hızlı esmesi halinde rotor frenlenmeyerek esen rüzgar boşa harcanmamış olur ve enerji depolanır. İkinci avantajı ise, elde edilen gerilimi şebekeye vermek için yapılan doğrultma, süzme gibi işlemlere gerek duyulmaz ve bu sayede daha az maliyetle üretim yapılmış olur.

Eğer türbin, zayıf şebekeleri besliorsa bu yararlı olabilir. Rüzgar hızına bağlı olarak, makinaryı optimum hızda çalıştırmak mümkün olduğu için, değişken hız, yıllık üretim açısından az da olsa avantajlı olabilir

Şebekeden bağımsız rüzgar santralini uygulamaya karar vermeden önce;

- Yıllık toplam enerji gereksiniminin,
- Günlük talep dağılımının (maksimum, minimum talebin zaman ve süresi),
- Kullanılacak enerji şeklinin (mekanik, ısı, elektrik vb.),
- Enerji talebinin, rüzgar enerjisinden karşılanıp karşılanamayacağını,
- Fazla üretimin varsa ne şekilde depolanacağı bunun için gerekli sistemlerin,
- Sistemin desteklenmesi için varolan diğer enerji kaynaklarının belirlenmesi gerekir.

Uygulama yerinde rüzgar türbininin performansını ve davranışını direkt olarak etkileyen değerlerin bilinmesi için veri toplayan microişlemcili cihazlarla en az bir yıl süre ile veri toplanması ve değerlendirilmesi, en yakın meteoroloji istasyonu ile korelasyon yapılması gerekmektedir. Bu cihazlarla aşağıdaki değerler belirlenebilir:

- Yıllık ortalama rüzgar hızı
- Frekans dağılımı
- Günlük rüzgar dağılımı
- Yön dağılımı
- Yükseklikle değişim (wind shear)
- Türbülans yoğunluğu

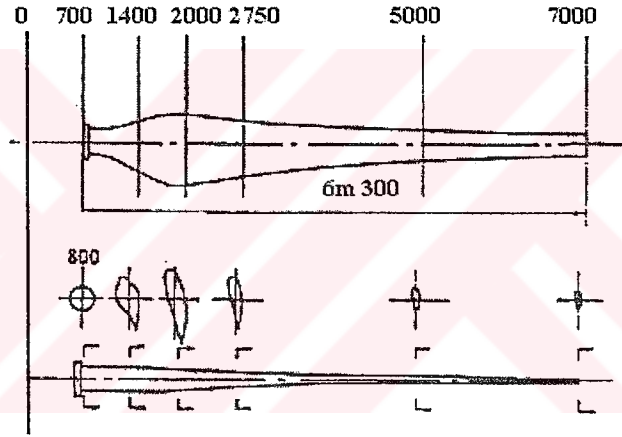
Eğer üretilen gerilim direkt olarak şebeke ile bağlantılı ise bu tür sistemlere şebekeden bağımsız rüzgar güç sistemleri denir. Bu sistemle üretilen değişken frekanslı alternatif akım

doğrudan şebekeye verilmez ve doğrultulur. Doğrultma işlemi tristör veya güç transistörleri ile yapılır. İnverter kullanılarak yeniden AA elde edildikten sonra şebekeye bağlantı yapılır

Doğrultma yapılmasına rağmen gerilimin şeklinde gürültü veya parazitler olabilir. Bunları da önlemek için filtreleme işlemi yapılır. Filtreler, uygun değerlerde seçilmiş indüktans ve kondansatörler kullanılarak oluşturulur.

3.5 Kanatlar

Rüzgar enerji sistemlerinde pervane kanatları, uçak pervanelerinin kanatlarına benzer şekilde profilli olarak yapılırlar. Pervane kanatlarının eğim açıları, kanadın ucundan itibaren merkeze doğru artmaktadır. Bu açının ortalama değeri 10^0 ile 20^0 arasında bulunmalıdır. İdeal kanatların eğim açıları 16^0 ile 20^0 arasında yapılır. Kanadın merkezinden uca doğru eğim açısı azalır ve buna benzer şekilde kalınlığı da uç tarafa doğru azalmaktadır. Bu incelmeye kanatların hareketlerinde önemli rol oynar.



Şekil 3.13 Kanat elemanının iki yönden ve kesit görünüşü

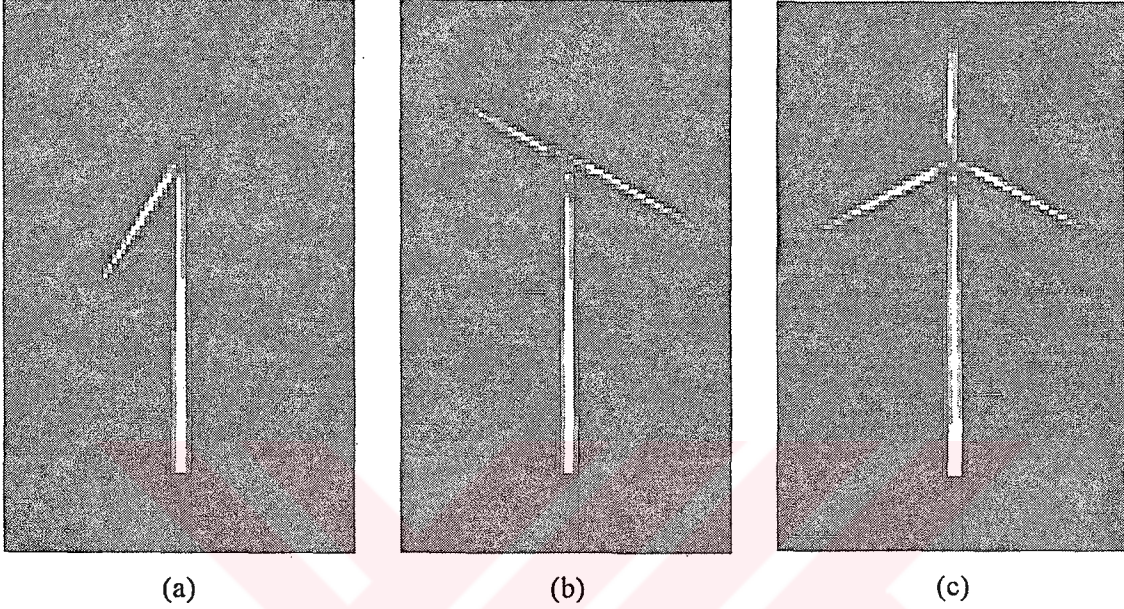
Kanat sayılarına bağlı olarak tek kanatlı, çift kanatlı ve üç kanatlı yapılar mevcuttur.

Tek Kanatlı Yapı: Bu yapı tek kanat ve kanada karşılık gelen ağırlıktan oluşur (Şekil 3.14a). Son zamanlarda bu yapılar da imalatçılar tarafından üretilmeye başlamıştır. Diğerlerinden daha ucuza mal olmaktadır. Bu yapılar ticari olarak pek fazla yaygın değildir. İki kanatlı yapı için bahsedilen dezavantajları bunun için de geçerlidir.

İki Kanatlı Yapı: İki kanatlı rüzgar türbinleri, kanat (pervane) maliyeti ve ağırlık açısından avantaja sahiptirler. Ancak, kanat sayısı az olduğu için daha az rüzgara temas etmekte ve aynı rüzgarda daha az güç üretmektedirler (Şekil 3.14b). Son zamanlarda bazı üreticiler, iki kanatlı makineleri menteşeler ve anahtarlar yardımıyla üç kanatlı makineye da dönüştürülebilecek hale

getirmişlerdir. Pervane, ana mile dikey ve ana mil ile birlikte onları döndüren şaft üstüne monte edilmiştir. Bu sayede kuleye gelen herhangi bir darbe absorbe edilir.

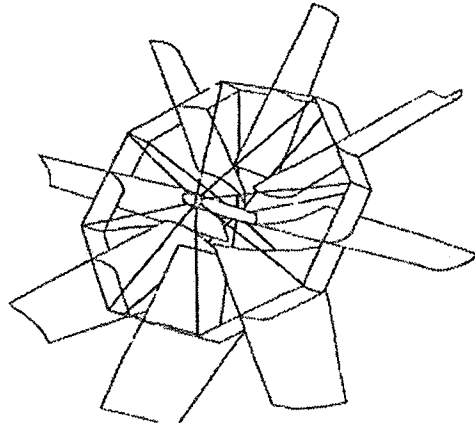
Üç Kanatlı Yapı: Günümüzdeki pek çok rüzgar türbinlerinin tasarımında üç kanat kullanılır (Şekil 3.14c). Bunlarda rotorun konumunu üst rüzgarlardan korumak için yaw mekanizması mevcuttur. Bu yapılar dünya pazarında çok büyük bir paya sahiptirler.



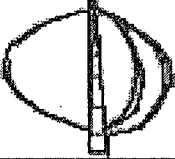
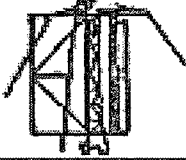
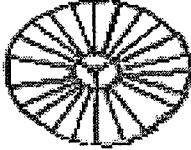
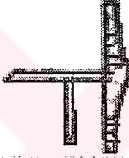
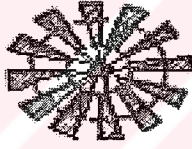
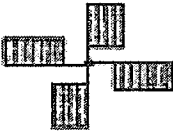
Şekil 3.13 Kanat yapıları

a) Tek kanatlı yapı b) İki kanatlı yapı c) Üç kanatlı yapı

Ayrıca sistemde bulunan yöneltici kanatlar (konsantratör) kullanılarak, rüzgar hızının artırılması ve rüzgar nominal hızı geçerse gücün sabit tutulması sağlanır (Şekil 3.15). Rüzgarın hızının arttığı durumlarda yöneltici kanatlar devreye girer. Bu durum, yöneltici kanatların, rüzgarın geliş açısına göre değiştirilmesiyle olur. Kanatların bu işi kendiliğinden yapabilmesi için, ön-yüklenmiş yaylar kullanılır.



Şekil 3.15 Yöneltici kanatlar (Konsantratör)

	Rotor Tipi	Devir	Tork	Kullanma Yeri
PERVANE TİPİ		Yüksek	Açak	Elektrik Üretimi
DARRIEUS TİPİ		Yüksek	Açak	Elektrik Üretimi
CYCLOGIRO TİPİ		Orta	Orta	Elektrik Üretimi veya Su Pompalama
ÇOK KANATLI TİP		Orta	Orta	Elektrik Üretimi veya Su Pompalama
YELKEN KANAT TİPİ		Orta	Orta	Elektrik Üretimi veya Su Pompalama
FAN TİPİ		Açak	Açak	Su Pompalama
SAVANIUS TİPİ		Açak	Yüksek	Su Pompalama
HOLLANDA TİPİ		Açak	Yüksek	Su Pompalama veya Değirmen

Şekil 3.16 Pervane kanat tipleri

Rüzgarın çok şiddetli olması ve yöneltici kanatların açılması halinde rotora düşük hızda rüzgar esecektir. Kanatların arkasına konan yaylar, rüzgar kuvvetini üzerlerine alırlar. Bu sistemle fırtına esnasındaki yıkıcı kuvvet 100 kat kadar düşürülebilir. Güç operasyonu esnasında, konsantratör sisteminin aynı çaplı iki kanatlı rüzgar rotoru ile aynı kuvveti verdiği deneyler sonucu bulunmuştur.

4. LOKAL BİR RÜZGAR SANTRALİ TASARIMI

4.1. Elazığ İlinin İklimi ve Rüzgar Potansiyeli

Elazığ ili Doğu Anadolu Bölgesinin güneybatısında, bölgede Yukarı Fırat Bölümü olarak adlandırılan saha içerisinde yer almaktadır. Toplam alanı 9151 km²'yi bulan ve bu alan ile Türkiye topraklarının % 12'sini meydana getiren il sahası 38° 30' , - 40° 21', doğu boylamları, 38° 17', kuzey enlemleri arasında kalmaktadır. Bu çerçeve içinde şekil olarak kabaca dikdörtgene benzeyen Elazığ ili topraklarının doğu – batı ve doğu-batı doğrultusundaki uzunluğu yaklaşık 150 km, kuzeyden Keban Baraj Gölü vasıtasıyla Tunceli, batı ve güneybatıdan Karakaya Baraj Gölü aracılığıyla Malatya, güneyden ise Diyarbakır illerinin arazileri çevirmektedir.

Elazığ ili arazileri, içinde bulunduğu Doğu Anadolu Bölgesinin diğer yörelerine göre ortalama yükseltisinin daha düşük (1300-1400 m) ve nispeten az engebeli bir topografyaya sahip olma özelliği ile dikkati çeker. İlin güney, batı ve doğusunda yükseltileri 2000 metreyi biraz geçen dağlık alanlar bulunmasına karşılık, orta bölümünde yer yer bu dağlık kuşak arasına sokulmuş, fakat genelde bu kuşağın kuzey kenarında kabaca doğu-batı doğrultulu bir oluk boyunca uzanan ovalık alanlar ile bunları genelde kuzeyden çevreleyen platolar da önemli bir yere sahiptir.

Doğu Anadolu Bölgesinin güney batısında yer alan Elazığ ilinde bölgenin diğer bölümlerinden oldukça farklı ve karakteristik bir iklim dikkati çekmektedir. İlin gerek coğrafi konumu, gerekse morfolojik özellikleri bu elverişli durumun ortaya çıkmasına en büyük etken olmuştur. Gerçekten Elazığ ve çevresi 1300 – 1400 m dolaylarındaki ortalaması ile, bölgenin diğer bölümlerine oranla düşük bir yükseltiye sahiptir. Ayrıca, sahanın güneyinde bir duvar gibi uzanan Güneydoğu Toroslar'da mevcut Maden Oluğu ve Kömürhan Boğazı gibi geçitler, özellikle kış mevsiminde, güneyin daha ılık ve nemli hava kütlelerinin yöreye zaman zaman sokulmasına yardımcı olmaktadır. Bütün bunlara bağlı olarak, sonuçta yörenin iklimi özellikle kuzeydoğuda tipik olarak gördüğünüz bölgenin karasal iklimine oranla oldukça ılıman bir yapıya bürünmüştür.

Bilindiği gibi yeryüzünde herhangi bir yerin aldığı radyasyon miktarı, coğrafi enleme göre farklılık gösteren gün uzunluğuna, güneş ışınlarının denklinasyon açısına, atmosfer aktivitesine ve yer şekillerinin durumuna göre değişir. 390 kuzey enleminde yer alan Elazığ ilinde güneş ışınları 21 Haziran'da da 74° 13' , 21 Aralıkta ise 27° 47', 21 Mart ve 23 Eylül'de 50° 46' açıyla ulaşmaktadır.

Tablo 4.1 Elazığ ilinin güneşlenme özellikleri

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
T.Güneşlenme Saat/dak.	9.4	10.3	11.4	13.0	14.1	14.4	14.3	13.3	12.1	10.6	9.5	9.2	12.0
G.Güneşlenme Saat/dk	2.3	3.5	5.2	7.0	9.2	12.1	12.2	11.6	10.1	7.2	4.4	2.3	7.3
Işınların Geliş Açısı	38 ⁰ 03'	45 ⁰ 33'	50 ⁰ 44'	61 ⁰ 58'	69 ⁰ 48'	74 ⁰ 13'	64 ⁰ 34'	56 ⁰ 23'	48 ⁰ 48'	40 ⁰ 53'	33 ⁰ 08'	27 ⁰ 17'	

Yaz aylarında güneş ışınlarının yüksek açılarla gelmesinden dolayı radyasyon miktarı yüksek olmakta, kışın ise düşük açılarla geldiğinden radyasyon miktarı düşük gerçekleşmektedir. Yazın günlerin uzun ve bulutluluğun düşük olmasından dolayı radyasyon miktarı yükselir. Bu durum güneş enerjisinden faydalanmayı olumlu yönde etkilemektedir. Kışın ise günlerin kısa ve bulutlu olmasından dolayı radyasyon miktarı düşüktür. Bu özelliği ile Elazığ ili bölgede güneş enerjisinden faydalanma açısından oldukça elverişli bir durum göstermektedir(Güneş, 1998).

İlin ortalama basınç miktarı 890 mb'dır (milibar). Yıllık basınç değerlerine baktığımız zaman aylar arasındaki basınç farkının fazla olmadığı dikkati çeker. Sonbahar ve kış mevsimlerindeki basınç yıllık ortalamanın üzerinde, ilkbaharda ortalamaya yakın, yaz mevsiminde ise ortalamanın altında bir değere sahiptir(Tombul, 1990).

Tablo 4.2 Elazığ ilinin basınç durumu (mb)

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ort.Yerel Basınç	893.3	891.6	890.8	889.3	889.4	887.1	885.1	886.6	891.2	894.0	894.8	893.9	890.6
E.Y.Yerel Basınç	917.0	911.5	916.8	907.4	906.5	906.9	903.1	903.2	914.6	918.2	914.1	913.4	917.0
E.D.Yerel Basınç	871.7	871.5	868.4	873.0	876.6	876.5	877.2	877.4	880.0	882.7	876.8	872.4	868.4

İlin rüzgar özellikleri iki açıdan ele alınacaktır. Bunlardan biri, hakim rüzgar yönü, diğeri rüzgar hızıdır. Tablolardaki değerler 38⁰ 40'enlem, 39⁰ 14' boylam derecesinde, 990.54 m

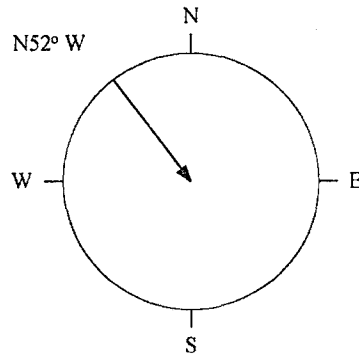
rakıma sahip noktada kurulu DMİ rasat istasyonunda ölçülen ve kaydedilen değerler baz alınarak hesaplanmıştır.

1950 – 1995 yılları arasındaki 45 yıllık rasat değerleri sayılarak ilin uzun dönem rüzgar frekansları elde edilmiştir.

Tablo 4.3 Elazığ ilinin rüzgar frekansları (1/sn)(Güneş, 1998)

Yön	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
N	318	301	377	355	386	462	591	535	490	504	423	340	5082
NE	380	326	394	373	349	227	239	239	298	380	412	395	4005
E	618	552	503	530	435	195	157	175	196	347	424	602	4737
SE	444	401	398	410	388	225	155	174	190	252	337	383	3756
S	261	210	278	325	350	243	219	232	240	228	238	251	3077
SW	167	190	234	268	330	353	343	334	317	257	210	176	3182
W	301	327	409	383	453	701	730	688	588	424	355	316	5677
NW	384	444	538	498	504	871	1042	962	725	571	425	381	7346

Tablo 4.3’ teki değerler kullanılarak, Hakim rüzgar yönleri Rubinstein formülüne göre, kış ve ilkbahar aylarında güneydoğu, yaz ve sonbaharda ise kuzeybatı görülmektedir. Tüm yıl dikkate alındığı zaman kuzeybatı rüzgarları hakim yön olarak ortaya çıkmaktadır. Bunun yanı sıra diğer yönlerden esen rüzgarların frekansları oransal olarak yüksektir. Çok belirgin bir rüzgar yönünden bahsedilmez.



Şekil 4.1 Elazığ şehir merkezi için hakim rüzgar yönü

53 yıllık rasat sonuçlarına göre elde edilen, ortalama rüzgar hızı Tablo 4.4’te yer almaktadır. Elazığ istasyonunda ölçülen uzun dönem yıllık ortalama hız 2.01 m/s olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.4 Elazığ için 53 yıllık ortalama rüzgar hızları (Meteoroloji, 2001)

Aylar	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Yıllık
Ortalama Hız(m/sn)	1.5	1.8	2.1	2.1	2.2	2.5	2.6	2.2	1.9	1.4	1.3	1.3	2.01

Yine aynı döneme ait maksimum rüzgar hızları ve bu hızların yönleri Tablo 4.5’ de gösterilmiştir. Ortalama en yüksek hız 30.3 m/sn, ya da 110 km/h olarak bulunmuştur Tablo 5.3’ün analizi sonucunda tam bir hakim yönün bulunmadığı rüzgar gülünün çok yönlü olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. En yüksek hız bakımından da bu özellik mevcut

Tablo 4.5 Maksimum rüzgar hızları (Meteoroloji,2001)

Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
En Yüksek Hız(m/sn)	23.5	24.6	24.5	24.9	25.1	30.3	26.5	20.9	24.7	20.7	21.3	25.2
Yön	WSW	S	S	WNW	SSE	NW	NW	WSW	W	NW	SE	SE

Bu dönemde kuvvetli rüzgarların estiği günlerin günlük ortalama sayısı 34.2 gün olarak bulunmuştur. Bu ortalama, fırtınalı günler için 3.7 olmuştur.

Tablo 4.6 Kuvvetli rüzgarlı ve fırtınalı gün ortalaması (Meteoroloji, 2001)

Aylar	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Yıllık
Kuvvetli Rüz.Gün	1.9	1.9	3.3	3.9	4.0	4.6	3.8	3.2	2.3	1.8	1.5	1.9	34.2
Yön	0.2	0.3	0.4	0.6	0.5	0.6	0.3	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	3.7

İlin son 15 yıl içindeki ortalama rüzgar hızları ve hakim rüzgar yönleri yıllara ve aylara göre Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.7’de yer alan değerlere göre son 15 yıllık ortalama rüzgar hızları hesaplandığında Tablo 4.8’deki değerler ortaya çıkmaktadır.

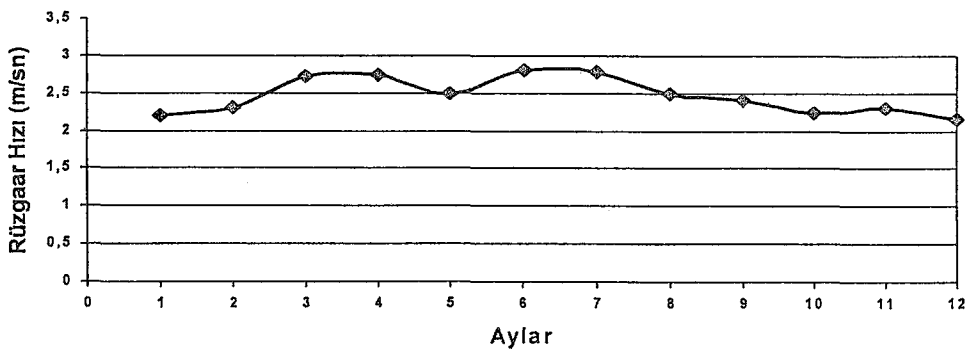
Tablo 4.7 Elazığ ilinin 1987-2000 yılları arasındaki aylık ortalama rüzgar hızları (Meteoroloji, 2001)

Aylar	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1987	1.2	1.2	1.8	1.8	1.4	1.8	1.6	1.6	1.5	1.2	0.9	1.2
1988	0.9	1.2	1.7	1.4	1.6	1.8	2.0	1.7	1.4	1.0	1.3	1.1
1989	1.4	1.2	1.8	1.5	1.8	1.7	2.2	1.5	1.6	2.5	3.7	2.5
1990	2.1	2.9	3.5	3.2	2.6	4.0	3.3	3.3	3.0	2.7	2.3	2.6
1991	2.2	2.6	2.9	3.2	3.9	3.1	3.4	3.1	2.9	2.4	2.3	3.0
1992	2.6	2.6	2.7	3.5	3.1	2.8	3.6	3.2	3.0	2.9	3.1	2.1
1993	2.6	2.2	3.0	3.6	2.9	3.3	3.4	3.0	2.8	2.5	2.5	2.1
1994	2.9	2.9	3.2	3.1	2.9	3.7	3.1	3.4	2.7	2.2	2.6	2.5
1995	2.2	1.0	3.2	3.4	2.5	3.0	3.2	2.7	2.7	2.8	3.0	1.7
1996	2.4	2.7	3.4	2.9	2.8	3.3	2.7	2.6	2.8	2.5	1.9	2.5
1997	2.9	2.5	3.1	3.6	2.5	3.1	3.2	2.6	2.8	2.4	2.4	2.5
1998	2.3	3.0	2.5	2.5	2.2	2.4	2.7	2.4	2.7	2.6	2.2	2.4
1999	1.9	3.3	2.9	2.7	3.1	2.7	2.4	2.3	2.3	2.3	2.5	2.4
2000	3.1	2.4	2.8	2.8	2.7	3.0	2.6	2.8	2.4	2.1	2.2	1.8

Tablo 4.8 Elazığ için 1987 – 2000 yılları arasındaki aylara göre ortalama rüzgar hızları

Aylar	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ort.
Ortalama hız m/sn	2.12	2.19	2.66	2.71	2.50	2.76	2.74	2.50	2.40	2.20	2.26	2.12	2.45

Tablo 4.4 ve Tablo 4.8 karşılaştırıldığı zaman son 15 yıllık ortalama rüzgar hızının 53 yıllık dönem ortalamasından daha fazla olduğu görülmektedir. Bu il ikliminin değişmekte olduğunun belirgin bir ölçüsüdür. Hesaplamalarda son değerlerin kullanılması daha doğru olacaktır.



Şekil 4.2 Elazığ için Tablo 4.8’deki değerlere göre oluşturulmuş ortalama rüzgar hızları

İl merkezinin sıcaklık değerleri, içerisinde bulunduğu Doğu Anadolu Bölgesinin diğer illerine ve bölge ortalamasına göre daha yüksektir. Fakat karasal iklimin bütün özelliklerini taşır. Yıllık ortalama 12.9 °C'dir. Bazen kış ortasında Nisan, Mayıs ayı ortalamalarına yakın sıcaklık sıcaklık görülürken bazen de -20°C sıcaklıklar ölçülmektedir. Yaz aylarında 40 °C sıcaklıklara rastlanmaktadır.

Tablo 4.9 İl merkezinin uzun dönem sıcaklık ortalamaları (Meteoroloji, 2001)

Aylar	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ort. 0C	- 1.2	0.2	5.0	11.8	17.3	22.8	27.2	26.8	22.0	14.5	7.4	1.5
En Yük.0C	11.1	17.3	24.5	30.0	34.4	37.8	42.0	40.6	37.8	32.0	24.3	16.0
En Düşük0C	-22.6	-21.4	-17.0	- 7.0	0.0	4.0	10.4	10.2	4.0	- 2.2	-10.6	-22.6
t≤ 0 0C gün	24.8	20.5	12.0	0.8	-	-	-	-	-	0.4	5.7	17.5

Yıllık ortalama yağış miktarı 427.1 mm'dir. Yağışın aylara dağılışı düzensiz olup, en yağışlı ay genellikle Nisan, en kurak ay ise Ağustostur. İlkbahar aylarındaki yağışlar toplam yağışların % 42'sini oluşturur.

İl merkezinde zeminin karla örtülü olduğu gün toplamı 32.4'tür.En yüksek kar kalınlığı ortalaması Aralık ayında 68 cm olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.10 İl merkezinin uzun dönem yağış ortalamaları (Günek, 1998)

Aylar	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Yıllık
Yağış Miktarı (mm)	42.8	45.8	55.2	67.4	54.2	14.4	2.4	1.1	7.3	39.1	51.4	46.0	427.2
Yağışlı Gün Sayısı	12.4	11.6	12.0	12.0	10.3	4.0	1.0	0.6	1.8	6.8	9.2	11.6	93.4
Karla Kaplı Gün Sayısı	13.3	10.2	2.9	0.1	-	-	-	-	-	0.6	5.3	32.4	
En.Yük.Kar Kal. (cm)	56	48	31	8	-	-	-	-	-	1	11	68	68

4.2 Santral Yerin Belirlenmesi

Rüzgar santralleri tasarlanırken santralin hangi amaçla kullanılacağı önemlidir. Şebekeden bağımsız çalışacak bir santralle, şebekeye bağlı santralin tasarımında aynı kriterler göz önüne alınmaz. Amaçlar farklı olduğu için göz önüne alınacak özelliklerde farklıdır.

Şebekeden bağımsız çalışacak santralde, genelde tek, bazen de birkaç türbin kullanılır. Türbinlerin kurulacağı yer enerjinin tüketileceği yer olacaktır. Yer seçimi ancak dar bir alanda en uygun yerin belirlenmesiyle sınırlı kalacaktır. Türbin güçleri ise mevcut tesisin ihtiyacına göre belirlenecektir.

Şebekeye bağlı santralde; en önemli ölçü üretilecek enerjinin miktarıdır. Elde edilecek enerjinin rüzgar hızının küpüyle orantılı olduğu daha önceki bölümlerde belirtilmişti. Bu nedenle rüzgar hızlarının yüksek olduğu alanlara kurulan santralde daha fazla enerji üretilecektir. Bu nedenle uygun alanların belirlenmesi gerekir. Bu alanların belirlenmesi amacıyla rüzgar datası elde etmeye yönelik enerji amaçlı rüzgar ölçümleri yapılmalıdır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar çok olumlu olsa bile seçilen alan çevre, elektrik bağlantıları ve topografik bakımdan rüzgar enerjisi santrali kurmak için elverişli olmayabilir. Bu nedenle yatırımcı enerji santrali kurmayı düşündüğü alana 1/ 25.000 ölçekli haritalarla bizzat giderek arazi incelemeli ve aşağıda sıralanan hususların değerlendirilmesini yapmalıdır.

- Yöre halkıyla görüşerek yeterli ve sürekli rüzgar olup olmadığı,
- Rüzgar santrali kurmaya elverişli yeterli genişlikte arazi olup olmadığı,
- Arazinin mülkiyet durumu, doğal park, milli park veya sit alanı olup olmadığı,
- Arazinin hakim rüzgar yönüne göre durumu,
- Arazinin yerleşim yerlerine ve ulaşım yollarına uzaklığı,
- Enerji nakil hatlarına uzaklığı, en yakın ana şalt merkezinin güç kapasitesi,
- Televizyon verici ve yansıtıcılarına, link istasyonlarına, gsm baz istasyonlarına uzaklığı.

Değerlendirme sonunda olumlu bir düşünce ortaya çıkmışsa, arazi büyüklüğüne ve topografyasına göre bir veya birkaç noktaya rüzgar gözlem aleti kurmak için yasal girişimlere başlamalıdır.

4.3 Rüzgar Enerji Potansiyelinin Belirlenmesi

Çeşitli ülkelerce hazırlanıp kullanıma sunulan, bir alandaki rüzgar ölçüm parametrelerini kullanarak rüzgar atlası hazırlamaya ve rüzgar enerji potansiyelinin belirlenmesine yardımcı olan bilgisayar programları mevcuttur. Bu bilgisayar programlarının en tanınmış olanı, Danimarka RISO laboratuvarlarında geliştirilmiş olan WASP bilgisayar programıdır. Avrupa rüzgar atlası da bu programla hazırlanmıştır. WASP bilgisayar programı rüzgar yön ve hız bilgileri ile rüzgar gözlem istasyonu çevresindeki engellerden, arazi yüzey pürüzlülüğü ve arazinin topografik özelliklerinden yola çıkarak bölgesel rüzgar atlası istatistiklerinin ve enerji potansiyelinin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Rüzgar gözlem istasyonlarından alınan ölçüm kayıtlarının bilgisayar ortamında düzenlenmiş hali ve bu istasyonlara ait 1/25.000 ölçekli harita üzerinde belirlenmiş koordinatları WASP ortamına aktarılıp değerlendirilmesiyle ölçüm yüksekliğine ait frekans dağılım tablosu elde edilir. Bu tablo yardımıyla ölçüm yüksekliğindeki rüzgarın yönler göre esme sıklığı, hakim rüzgar yönü ortalama rüzgar hızı, ortalama enerji yoğunluğu ve Weibull parametreleri gibi değerler belirlenmiş olur.

4.4 Elazığ'ın Rüzgar Güç Yoğunluğu

Elazığ'da şehir merkezi yakınındaki açık arazilerde ortalama rüzgar hızı olarak, Tablo 10.8'de verilen 2.45 m/sn'lik hız alınabilir. Tepelerde ve kırsal arazideki ortalama rüzgar hızı olarak ta Tablo 3.1 ve 3.2'de verilen değerlerin ortalaması alınacaktır. Bu hız denklemi,

$$V_{ort} = \sqrt[3]{\frac{4.9^3 + 3.9^3}{2}} = 4.45 \text{ m/sn} \quad (4.1)$$

olarak bulunur. Toplam güç yoğunluğu; havanın yoğunluğu $\rho = 1.226 \text{ kg/m}^3$ olarak alınıp hesaplanır

Şehir merkezi yakınlarındaki açık arazilerde güç yoğunluğu,

$$\frac{P_{top}}{A} = \frac{1}{2} 1.226 \times 2.45^3 = 9 \text{ W/m}^2 \quad (4.2)$$

olarak bulunur. Kırsal arazideki güç yoğunluğu ise,

$$\frac{P_{top}}{A} = \frac{1}{2} 1.226 \times 4.45^3 = 54 \text{ W/m}^2 \quad (4.3)$$

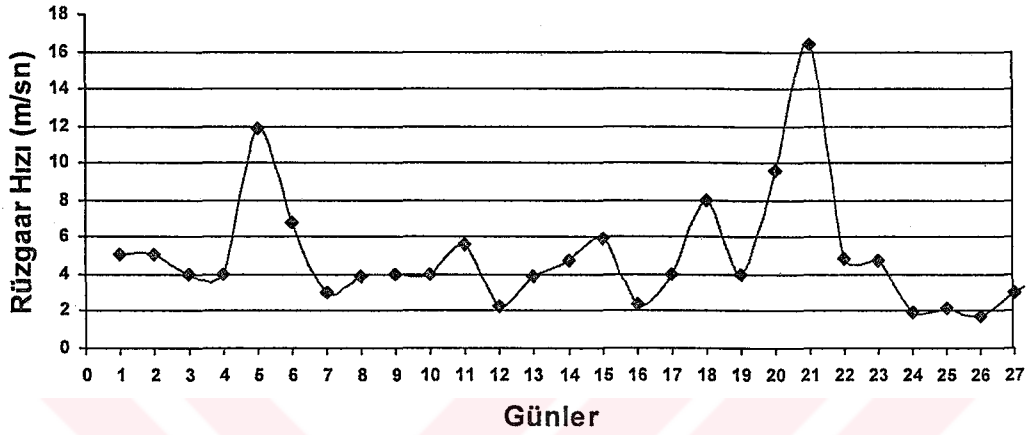
olur. Bu yoğunluklar ölçüm çalışmalarının yapıldığı, yerden 10 m yükseklikteki yoğunluktur. Daha yükseklerde yoğunluk artacaktır. Elde edilecek enerji türbin verimine ve kanat çapına bağlı olacaktır.

Tablo 4.11 Şubat 2001 ölçüm sonuçları (Toklu, 2002)

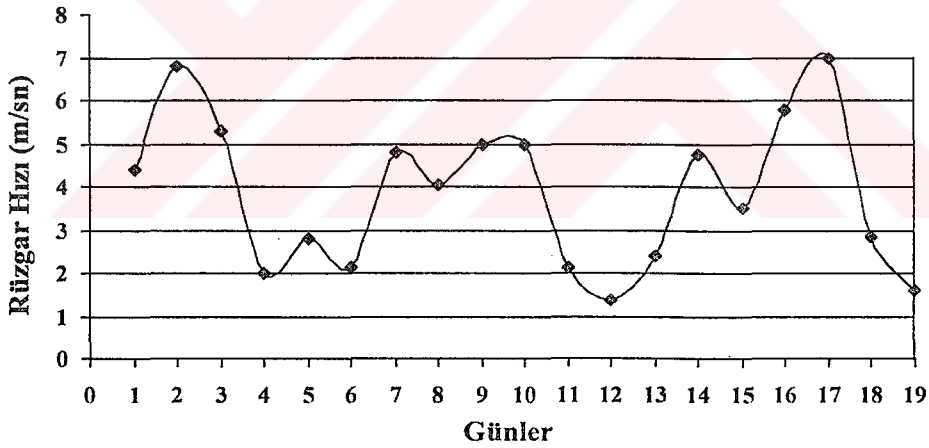
Günler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Hız(m/sn)	5.1	5.1	3.9	3.8	11.6	6.6	3.0	3.6	4.0	4.1	5.3	2.4	3.6	4.8
Günler	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Hız(m/sn)	5.7	2.4	4.1	8.1	4.1	9.4	16.7	4.6	4.5	1.6	2.3	1.1	3.0	4.0
Şubat Ayı Ortalama Rüzgar hızı (m/sn)													4.9	

Tablo 4.12 Mart 2001 ölçüm sonuçları (Toklu, 2002)

Günler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Hız(m/sn)	4.4	6.7	5.3	2.0	2.7	2.2	4.6	4.1	5.0	5.0	2.2	1.5	2.4	4.6
Günler	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Hız(m/sn)	3.5	5.7	7.0	2.6	1.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mart Ayı Ortalama Rüzgar hızı (m/sn)													3.9	



Şekil 4.3 Şubat 2001 rüzgar hızı grafiği



Şekil 4.4 Mart 2001 rüzgar hızı grafiği

4.5 Rüzgar Türbin Tipinin Seçilmesi

Rüzgar türbinin seçiminde en etkili parametre rüzgarın ortalama hızı olmaktadır. Ortalama hızları 0–5 m/sn arasında değişiyorsa düşük hızlı türbin seçilmelidir. Ortalama rüzgar hızlarının çoğu 5 m/sn'den yüksek ise yüksek hızlı türbin seçilmelidir.

Ortalama rüzgar hızlarının düşük olduğu yerlerde türbinin harekete geçme hızı da düşük olmalıdır. İl merkezi ortalamaları ve açık arazi ölçüm sonuçlarına göre Elazığ'ın rüzgar hızı düşüktür.

Yapılan ölçüm sonuçlarına göre, Elazığ'da ticari amaçla kurulacak güçte bir santralin kurulması karlı bir yatırım olmayacaktır. Bu nedenle şebekeden bağımsız çalışacak küçük bir santral tasarlanmaya çalışılacaktır. Hesaplamalarda kullanılacak türbin tipi olarak Yeni Bergey BWC XL.50 tipi türbini seçilmiştir. Bu türbin düşük rüzgar hızı ortalamasına sahip olan bölgelere yeni olanaklar sağlar.

Bergey Windpower'ın dayanıklı, sağlam alternatör ve kanat yapısı ile birlikte uzun direk yükseklikleri sayesinde en iyi rüzgar gücü ekonomisinin elde edilmesini sağlar. BWC XL.50 uygulamaları ABB ayarlanabilir hız kontrolörleri ile birlikte kurulmaktadır. Sistem 3 fazlı olarak hem şebeke bağlantılı hemde şebekesiz uygulamalarda çalışabilir. 600 Volt DC akü gerilimi ile birlikte 70 kW'lık UPS ya da hibrid sistemlerde kullanılması mümkündür. BWC XL.50 elektrik şebekesi ulaşmayan ve yüksek güce ihtiyaç duyan yerlerde en ekonomik enerji maliyetlerini sunmaktadır.

Genel Özellikler

- Çok yüksek "düşük hız" performansı
- Basit yapı, üç hareketli parça
- Periyodik bakım gerektirmeyen dizayn
- 28-82 Metre direk yüksekliği
- Patentli PowerFlex rotor sistemi
- Şebeke bağlantılı, Ups, Şebekesiz çalışma
- Düşük rüzgar hızlarında mükemmel performans
- Autofurl otomatik fırtına koruması
- Direkt sürücülü Neodmium PM alternatör

Teknik Özellikler

- Tip: 3 Kanatlı
- Kanat Çapı: 14-16 m
- Başlangıçtaki rüzgar hızı: 2.5 m/s
- Kesme rüzgar hızı: 2 m/s
- Çıkış rüzgar hızı: 11 m/s
- Boşta dönme rüzgar hızı: 12 m/s

- Çıkış gücü: 50 kW
- Cut-Out rüzgar hızı: Yok
- Rotor Hızı: 110 d/dk
- Max. tasarlanan rüzgar hızı: 70/60 m/s
- Pervane dış kontrolü: PowerFlex
- Aşırı hız koruması: AutoFurl
- Vites kutusu: Yok, direkt sürüş
- Isı Aralığı: -40 +60 °C
- Jeneratör: Kalıcı mıknatıs alternatör
- Çıkış formu: 3 Faz AC

Tablo 4.13 Direğin tepesinde rüzgar hızına göre enerji üretimi

Yıllık Ortalama Rüzgar Hızı (m/sn)	3	4	5	6	7	8
XL.50/14 Aylık Enerji Üretimi (kWh)	1.400	3.600	6.800	10.300	13.700	16.500
XL.50/16 Aylık Enerji Üretimi (kWh)	1.900	4.500	8.100	11.700	14.700	17.000

Tablo 4.14 10 m yükseklikte yapılan standart rüzgar hızlarına göre enerji üretimi

Yıllık Ortalama Rüzgar Hızı (m/sn)		3	4	5	6	7	8
28 Metre Direk	XL.50/14 Enerji Üretimi (kWh)	2.600	6.100	10.500	14.500	17.400	19.100
	XL50/16 Enerji Üretimi (kWh)	3.400	7.400	11.700	15.300	17.700	18.900
40 Metre Direk	XL.50/14 Enerji Üretimi (kWh)	3.200	7.200	11.900	15.700	18.300	19.600
	XL50/16 Enerji Üretimi (kWh)	4.100	8.600	13.100	16.400	18.400	19.100
52 Metre Direk	XL.50/14 Enerji Üretimi (kWh)	3.700	8.100	12.900	16.600	18.900	19.800
	XL50/16 Enerji Üretimi (kWh)	4.600	9.500	14.000	17.100	18.700	19.200
82 Metre Direk	XL.50/14 Enerji Üretimi (kWh)	4.700	9.800	14.700	18.000	19.500	19.800
	XL50/16 Enerji Üretimi (kWh)	5.800	11.100	15.500	18.100	19.100	19.000

4.6 Güç Hesabı

Hesaplamalar açık arazide bir tepe üzerine kurulması düşünülen tek türbin için yapılacaktır. Ortalama rüzgar hızı $V = 4.45$ m/sn alınacaktır. Kule yüksekliği 28 m olacağı için bu yükseklikteki rüzgar hızı bulunup, katsayısı 0.18 seçilmiştir.

$$v = 4.45 \left[\frac{28}{10} \right]^{0.18} = 5.356 \quad (4.4)$$

Üretici firma bilgilerine göre; türbin 5 m/sn hızda 10.5 kW güce ulaşmaktadır. Kanat çapı 14 m olduğuna türbin verimi bulunabilir.

$$\eta = \frac{P_2 g_0}{A v^3} = \frac{10500 \times 2 \times 1}{\pi \frac{14^2}{4} \times 13.8^3} = 0.0519 \quad (4.5)$$

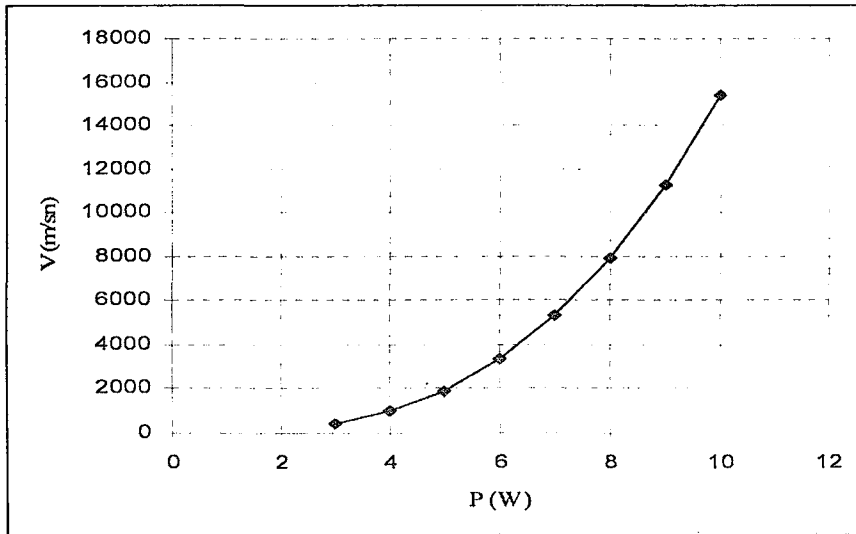
Türbin çapı 14 m, türbin verimi 0.0519 ve ortalama hız 5 m/sn olarak alınırsa, bu hızda elde edilecek güç;

$$P_{ort} = 0.2 \frac{1}{2} \pi \frac{14^2}{4} 5^3 = 1920 \text{ W} \quad (4.6)$$

olarak bulunur. Türbinin PV güç eğrisini elde edebilmek için değişik hızlarda ulaştığı güçler hesaplanır.

Tablo 4.15 BWC XL-50 türbinin değişik hızlardaki güç değerleri

Hız (m/sn)	3	4	5	6	7	8	9	10
Güç (W)	415.422	984.704	1923.25	3323.376	5277.398	7877.632	11216.394	15386



Şekil 4.5 Seçilen türbinin PV güç eğrisi

4.7 Maliyet

Sistemin maliyeti ve faydası analiz edilirken türbinin çalışma ömrü de dikkate alınarak maliyet hesabı yapılır. Dikkate alınacak zaman birimi türbinin yaklaşık ömrü kadar olmalıdır. Bir rüzgar enerjisi sisteminde maliyeti oluşturan elemanlar şunlardır.

- Türbin maliyeti,
- Temel maliyeti,
- Kule maliyeti,
- Nakliye giderleri,
- Montaj giderleri,
- Arazi maliyeti,
- Alt yapı maliyeti,
- Vergiler ve harçlar,
- Bağlantı donanımlarının maliyeti,
- İşletme ve bakım maliyetleri

4.8 Elazığ'da Bir Rüzgar Santrali Kurulması İçin Yapılan Çalışmalar

Elazığ'da ticari amaçlı bir rüzgar santrali yapmak amacıyla özel bir müessese tarafından, Maden ilçesi sınırları içindeki bir tepede rüzgar ölçüm çalışmalarına 2000 yılında başlanmıştır. Eldeki verilerden, rüzgar hızı ortalamasının ticari amaçlar için yetersiz olduğu düşüncesiyle 2001 yılı mart ayında ölçüm cihazları sökülüştür (Toklu, 2002).

4.9 Santral Kurulmasında Resmi Prosedür

Bir rüzgar santrali kurulurken yapılacak işlemler şunlardır.

Otoprodüktör ve YİD Modeli: Yurdumuzda kamu eliyle işletilen rüzgar santrali yoktur. Rüzgar santralleri iki farklı statüde yapılıp işletilmektedir. Bunlar otoprodüktör statü ve Yap İşlet Devret (YİD) modelidir. Otoprodüktör statüde, üreticinin asıl amacı enerji üretip satmak değildir. Elektrik enerjisi tüketimi fazla olan kurum ve kuruluşlar öncelikle kendi tükettikleri enerji üretmek amacıyla santral kurarlar. YİD modelinde amaç, yatırımın kamu eliyle değil de özel teşebbüs eliyle yapılmasını sağlamaktır. Bu modelde enerji santralini kuran kuruluş sözleşme süresi boyunca tesisi işletir, süre sonunda tesis kamuya teslim edilir.

Otoprodüktör Santral Kurulması İçin Yapılan İşlemler: İstekli şirket ETKB'na bir dilekçe ile başvurur. Dilekçeye 15 nüsha olarak hazırlanmış fizibilite raporu eklenir. Bu raporda bulunması gereken bilgi ve belgeler şunlardır.

- Kurulmak istenen santralin gücü ve yıllık toplam enerji üretim kapasitesi,
- 1/25000 ölçekli harita üzerinde santralin kurulacağı yer,
- Otoprodüktör şirketin veya gurubun kurulu gücü ve yıllık enerji tüketimi,
- Şirketin on yıl boyunca TEAŞ / TEDAŞ' dan talep edeceği enerji miktarı,
- Ortakların tam listesi ve adresleri, Şirketi temsile yetkili kişilerin imza sirküleri,
- Santralde uygulanacak teknoloji ve özellikleri,
- Yatırım tutarı ve tahmini gerçekleşme tarihi,
- Tesisin bağlı olduğu elektrik şebekesinin basitleştirilmiş tek hat şeması,
- Tesisin ekonomik ömrü,
- Şirkete ait ticaret kaydını gösteren Ticaret Sicili Gazetesi,
- Başka bir otoprodüktör santrale ortak olmadığına ilişkin taahhütname,
- Elektrik enerji fonu katkı payının yatırıldığına ait dekont,

Fizibilite raporu ETKB tarafından incelenir ve ilgili kuruluşların görüşleri alınır. Fizibilite raporunun uygun olduğuna ilişkin bakanlık ve ilgili kuruluşların görüşleri tamamlandıktan sonra; bakanlık şirketten teyit ister.

ETKB ile şirket arasında “Otoprodüktör Statüsünde Üretim Tesisi Kurulması, İşletilmesi Ve Enerji Fazlasının Satışına İzin Verilmesine İlişkin Sözleşme” imzalanır.

Sözleşme onaylandıktan sonra 6 ay içinde santralle ilgili projeler hazırlanır ve bakanlığa teslim edilir. Bakanlık Projeleri 3 ay içerisinde inceler ve onaylar. Aynı süre içerisinde “Enerji Satış Antlaşması” imzalanır. Santral, bakanlık tarafından geçici kabulünün yapılmasından sonra ticari üretime başlar.

5. ALTERNATİF BİR RÜZGAR SANTRALİ TASARIMI

Günümüzde sıkça rastlanan insan ölümlerinin önemli bir kısmını soba ve şofben zehirlenmeleri oluşturmaktadır. Ülkemizde birçok vatandaşımız soba ve şofben zehirlenmesinden hayatını kaybetmektedir. Bu zehirlenmelerinin en önemli sebebi bacaların düzenli çekmemesidir. Özellikle rüzgarlı havalarda rüzgarın etkisiyle soba ve şofbenden çıkan gazları evlerin içine dolarak insanların ölümüne sebep olmaktadır. Bu gazların bacadan dışarı atılması için birçok çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların en etkili olanı baca aspiratörü kullanmaktır. Bacanın üzerine yerleştirilen dikey milli aspiratör rüzgârın etkisiyle dönerek bacanın içindeki gazı dışarı atmaktadır. Bu sistem Avrupa ve Amerika da sıkça kullanılmaktadır. Bu aspiratörlerin kullanılış amacı bacaların çekmesini sağlamaktır. Bu iş için bir mekanik enerjiye ihtiyaç vardır. Bu mekanik enerjiyi de rüzgar sağladığına göre bazı ilaveler yapılarak bu mekanik enerjiyle baca çekme işleminin yanında elektrik enerjisi de üretmek mümkün olmaktadır. Genelde rüzgar santrallerinde yatay milli türbinler kullanılmaktadır bu türbinlerin verimi dikey milli türbinlere göre deha yüksektir. Yatay milli türbinlerin rüzgarın geldiği yöne doğru dönmesi için bazı ekstra ilaveler gerekmektedir Bu ilavelerin başında rüzgar gülü ve elemanları gelir rüzgar gülü türbini rüzgar yönüne döndürmek için kullanılan bir sistemdir. Bacalarda kullanılan Dikey milli türbinlerde rüzgar gülüne ihtiyaç yoktur. Kullandığımız dikey milli türbinin yapısından dolayı rüzgar yönü ne olursa olsun türbin aynı yönde dönmek zorundadır aksi halde aspiratör görevini yapamaz. Bu yapıda aslında elektrik üretmek için ideal bir özelliktir.

Yaptığımız bu çalışmada bacaların üzerine yerleştirilecek bir türbinle hem bacanın çekmesini hem de elektrik enerjisi üretmek amaçlanmaktadır. Sistem olarak dikey milli kanatları daire şeklinde dizayn edilmiş bir türbin kullanılmaktadır. Bu türbin baca üzerine veya havalandırma boşluklarına konulmaktadır. Bu dikey milli türbinin mili üzerine asenkron alternatör bağlanarak rüzgar etkisiyle dönen türbin hem bacadan havanın çekilmesini sağlayacak hem de türbini döndürecektir. Elde edilen bu mekanik enerji asenkron generatörün dönmesi sağlanacak ve dışardan verilen uyartım ile elektrik enerjisi üretilecektir. Bilindiği gibi üretilecek gerilim türbinin mekanik en enerjisine bağlıdır. Türbin mekanik enerjisi de esen rüzgarın hızına bağlıdır. Asenkron generatöre üretilen gerilim;

$$e = BVL \quad (5.1)$$

olarak yazılır. Burada,

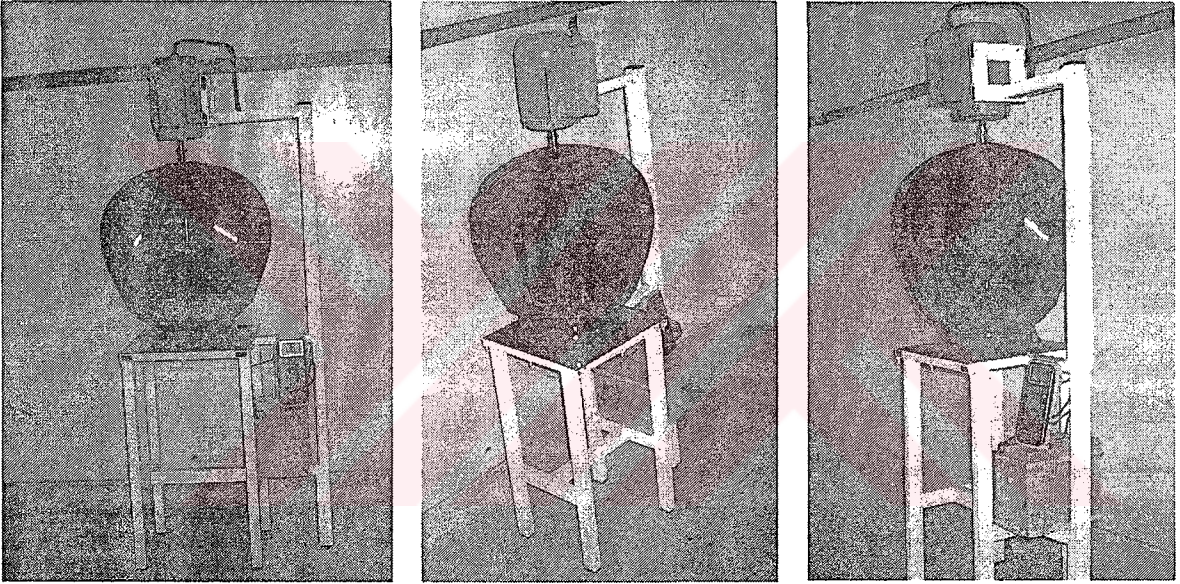
e: Üretilen gerilim (Volt)

V: Türbin hızı (m/sn)

L: Bobinin uzunluğu (m) olarak ifade edilir.

Denk.(5.1)'e göre esen rüzgarın hızı, üretilecek gerilimi doğrudan etkileyecektir. Bir binanın üzerindeki baca sayısı dikkate alınacak olursa, her binada 10–12 türbinin olması gerekmektedir. Bu bacalarda bulunan türbinlerin gerilimleri toplanarak meydana gelecek olan elektrik enerjisi tüketicilerin ihtiyacına uygun bir değere getirilmiş olacaktır. Üretilecek bu gerilim, akülerde depo edilerek daha sonra tekrar inverter kullanılıp alternatif gerilime çevrilerek kullanılabilir.

Yaptığımız çalışmada elektrik enerjisini üreten jeneratör olarak bir fazlı yardımcı sargılı asenkron motor kullanılmıştır. Bu asenkron motorun yardımcı sargısına paralel bağlı 400 V ve 30 μ f değerlerinde bir daimi kondansatör ile uyartım gerilimi verilmiş olup ana sargıdan ise üretilen gerilim alınmıştır. Yardımcı sargının uçlarına bağlı olan kondansatör ile uyartımın devamlı olmasını sağlamaktadır.



Resim 5.1 Rüzgar enerjisinden elektrik üretmek için oluşturulan sistemin resimleri

Bir fazlı asenkron motorla yapılan deneylerde dikey milli türbine bir vantilatör ile değişik şiddetlerde rüzgar sağlanmıştır. Bu rüzgar şiddetlerinde asenkron generatör boşa iken ana sargısından aşağıdaki gerilim değerleri elde edilmiştir.

Tablo 5.1 Rüzgar hızına karşılık üretilen gerilim değerleri

Rüzgar Hızı (m/sn)	Üretilen Gerilim (V.)
3.26	15.2
3.68	17.16
4.917	22.93

Yardımcı sargı uçlarına bağlan daimi kondansatörün gerilimi 400 volt, kapasitesi olan daimi kondansatör kullanılmış olup rüzgar hızı LC 4500 tipi anemometre ile ölçülmüştür. Üretilen gerilimin değeri küçük olduğundan bu deney setine yük bağlanıp akımı ölçülmemiştir.



6. SONUÇLAR ve TEKLİFLER

Rüzgar santrallerinin temeli 2000 yıl önceki rüzgar değirmenlerine dayanır. Günümüzde, yeni teknoloji ve malzemelerle donatılan rüzgar santralleri, hayatın vazgeçilmez gereği olan elektrik enerjisini üretmek için kullanımı yaygınlaşan bir üretim şeklidir.

Ülkemizde rüzgar santrali olarak küçük çapta kurulu 9 MW lık tesis ile proje aşamasında bekleyen yaklaşık 900 MW'lık tesis vardır.

E.İ.E. (Elektrik İşleri Etüt İdaresi) ve D.M.İ.'nin (Devlet Meteoroloji İdaresi)'nin yaptığı araştırmalara göre Türkiye'nin yararlanabileceği rüzgar gücü 83.000 MW 'tır. 1999 yılı itibari ile toplam kurulu gücümüz 26117 MW olduğu göz önüne alınırsa, sahip olduğumuz rüzgar enerjisi potansiyelinin, ülkemizin bütün enerji ihtiyacını karşılayabileceği anlaşılr.

Rüzgar, elektrik enerjisi üretim kaynağı olarak diğer kaynaklara göre, ucuz, temiz ve çevreye zararsız olması bakımından en fazla avantaja sahip alternatif bir enerji kaynağıdır. Bu nedenle, ülkemizin sahip olduğu bu büyük enerji potansiyelini değerlendirmek üzere gerekli çalışmalar acilen yapılmalıdır.

Elazığ İli şehir merkezi için çok belirgin bir rüzgar yönünden yoktur. Tüm yıl dikkate alındığı zaman hakim rüzgar yönü N 52 ° W (kuzey batı) yönüdür. Kış aylarında ise hakim yön güneydoğu olmaktadır. Esme sıklığı bakımından kış aylarında doğu yönlü rüzgarlar daha fazladır.

Şehrin uzun dönem (53 yıllık) rüzgar hızı ortalaması 2.01 m/sn iken. son 15 yıllık ortalama rüzgar hızı 2.45 m/sn olarak ölçülmüştür. Kırsal arazide ise çok kısa dönemde yapılan Ölçümlere göre ortalama hız 4.45 m/sn bulunmuştur. Bu sonuçlara göre, şehir merkezi yakınlarındaki açık arazilerde güç yoğunluğu 9 W/m², kırsal arazideki yükseltilerde bu yoğunluk 54 W/m² olarak hesaplanmıştır. En yüksek hızların ortalaması 30.3 m/sn (110 km/h) olmuştur (Toklu, 2002).

Elazığ'da yapılacak bir rüzgar santrali, mevcut ölçüm sonuçlarına göre ticari amaç için karlı bir yatırım değildir. Bu nedenle şebekeden bağımsız çalışacak küçük santraller tasarlanabilir.. Türbin olarak kanat çapı 7 m olan WB-10 türbini seçilmiştir. Türbinin 20 m' lik bir kule üzerine yerleştirilmesi düşünülmüştür. Bu yükseklikte ortalama hızda ulaşılacak güç 480 W olarak hesaplanmıştır.

Elazığ ili elektromekanik üretim bakımından belli bir kapasitesi olan bir şehirdir. Elektrik panoları, dalgıç su motorları, elektrik motorları üreten işletmeler mevcuttur. Hakim rüzgar yönü şehirleşme ve sanayileşme açısından önemlidir. Elazığ ilinin yeryüzü şekilleri incelendiği zaman şehir merkezinin etrafı dağlarla çevrili bir ova üzerine

kurulduğu görölür. Bu yapı bir çanağa benzetilebilir. İlin ortalama sıcaklıklarını gösteren Tablo 9.9 incelendiğinde yılın beş ayı (Kasım, Aralık, Ocak, Şubat ve Mart) boyunca sürekli, Nisan ve Mayıs aylarında da kısmen, konut ve bina ısıtılmasına gerek olduğu görölür. Isınına amacıyla tüketilen fosil yakıtların havaya bıraktığı zehirli gazlar, eğer rüzgar tarafından dağıtılmazsa çanak şeklindeki yapıdan dolayı şehir merkezi üzerinde birikecek, insan hayatını tehdit eder noktalara gelecektir. Bu sebeple kışın hakim yön olan güney-doğu yönünde yapılaşmanın fazla olmaması, binaların rüzgarı engellemeyecek şekilde az katlı olması gerekmektedir. Bu yönde geniş ana arterler açılmalı, mevcutları genişletilmelidir (Toklu, 2002).

Elazığ'ın daha geniş çaplı rüzgar atlasının çıkartılması, rüzgar potansiyeli uygun alanların belirlenmesinde faydalı olacaktır. DAP kapsamında ilimizin ve Doğu Anadolu Bölgesinin rüzgar potansiyelinin belirlenmesi planlanmış, fakat daha sonra bu çalışmalar yapılmamıştır.

Ülkemizde rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretimi için en uygun bölgeler Marmara, Ege ve Güney Doğu Anadolu Bölgesidir. Rüzgar enerjisi kullanımının yaygınlaşması ülkemizin fosil yakıt ithalatını azaltacak, elektrik enerjisi üretimi amacıyla fosil yakıt tüketimini sınırlayacaktır. Türbin imalatına geçilmesi durumunda yeni istihdam kapıları açılacaktır.

KAYNAKLAR

- Bilgin Elektrik, Şubat 2001, Mart 2001 Ölçüm Sonuçları
- C. Dünder, D. İnan, 1996, “Bozcaada Rüzgar Enerji Potansiyelinin İncelenmesi” Çevre Bilimleri Dergisi Sayı-4, 9-24 s.
- Çalışkan, M., 2001, Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Ve Sergisi, 179–180 s.
- DMİ, 2000 Yılı Elazığ Rasat Raporları
- Durak, M., 2000, Dünya’da Ve Türkiye’de Rüzgar Enerjisinin Durumu, Çevre Teknolojileri Sempozyumu, İstanbul, 437-444 s.
- Erol, O., 1993, Genel Klimatoloji, Gazi Büro Kitapevi, Ankara
- Günek, H., Harput Ve Elazığ Şehrinin İklim Elamanlarının Karşılaştırılması Ve İklim Koşullarının Çevresel Etkileri, Dünü Ve Bugünüyle Harput Sempozyumu, Elazığ, 365-379 s.
- Hayli, S., 2001, Rüzgar Enerjisinin Önemi, Dünya’da Ve Türkiye’deki Durum, F.Ü. Sosyal Bilimler Dergisi, Cilt 11 Sayı 1, Elazığ Özdamar, 1-26 s
- İlkılıç, C., 1990, Rüzgar Enerjisinin Mekanik Enerjiye Dönüştürülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Ün. Fen Bil. Enst., Elazığ
- Milligan, M.R.; Miller, A.H. (July 1993). The Value Of Windpower: An Investigation Using A Qualified Production Cost Model. NREL/TP-441-5730. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory; 8 pp
- Sayındı, M., 1994, Rüzgar Enerjisi Ve Rüzgar Türbini Dizaynı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Ün. Fen Bil. Enst., İstanbul
- Toklu, M., 2002, Rüzgar Enerjisi Ve Elazığ Şartlarında Bir Rüzgar Santrali Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Ens., 99 s.
- Tombul, S., 1990, Elazığ ve Çevresinin İklim Özellikleri Ve Keban Barajı’nın Yöre İklimi Üzerine Olan Etkileri, F.Ü. Coğrafya Sempozyumu, Elazığ, , 275-294 s.
- Uyar, T.S., 2000, Türkiye Enerji Sektöründe Karar Verme Ve Rüzgar Enerjisinin Entegrasyonu, ELECO–2000 Sempozyumu, Bursa, 1-19 s.
- www.tubitak.gov.tr/UspuYplatform/enerji
- www.tusiad.org/turkish/rapor/enerji/html/sec1O.html

ÖZGEÇMİŞ

1968 yılında Elazığ'da doğdu. İlkokulu Ankara'da, Orta ve lise öğrenimini Elazığ'da bitirdi. 1988 yılında ODTÜ Kahramanmaraş Meslek Yüksek Okulundan Elektrik Teknikeri olarak mezun oldu.

1988 – 1990 yılları arasında Ankara Elmadağ Baştaş Çimento Fabrikasında teknisyen olarak çalıştı. 1990 yılında İstanbul Avcılar Endüstri Meslek Lisesinde Elektrik Öğretmeni olarak göreve başladı. 1994 yılında Elazığ 100.Yıl Endüstri Meslek Lisesine atandı. 1994 – 1996 yılları arasında askerlik görevini yaptı. 1996 – 1998 yılları arasında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesinde açılan Lisans tamamlama programına katıldı.

2000 yılında aynı okulda müdür yardımcılığı görevine, 2004 yılında da müdür başyardımcılığı görevine atandı. Halen aynı kurumda görev yapmaktadır.

