

**PELTON TİPİ RÜZGAR TÜRBİNİ KULLANARAK ELEKTRİK
ENERJİSİ ÜRETME**

Özlem GÜRBÜZ ÖGER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAYIS 2006
ANKARA**

Özlem GÜRBÜZ ÖGER tarafından hazırlanan PELTON TİPİ RÜZGAR
TÜRBİNİ KULLANARAK ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETME adlı bu tezin
yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd.Doç.Dr.Fadıl ÇELİKKOL

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim
Dalında yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof.Dr.M.Cengiz TAPLAMACIOĞLU

Üye : Yrd.Doç.Dr.Fadıl ÇELİKKOL

Üye : Yrd.Doç.Dr.Hasan Şakir BİLGE

Tarih : 23/05/2006

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına
uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Özlem GÜRBÜZ ÖGER

PELTON TİPİ RÜZGAR TÜRBİNİ KULLANARAK ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETME

(Yüksek Lisans Tezi)

Özlem GÜRBÜZ ÖGER

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Mayıs 2006

ÖZET

Enerji bugün dünya ülkelerinin en önemli sorunlarından biri haline gelmiştir. Tükenmekte olan fosil enerji kaynakları nedeniyle dünya yeni enerji kaynakları arayışı içindedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar eski zamanlarda sulamada, un değirmenlerinde kullanılmaktaydı. Teknolojinin ilerlemesi ile birlikte rüzgar enerjisinden elektrik üretilmeye başlanmıştır. Verimi yüksek olup, en çok tercih edilen türbinler 3 kanatlı, önden rüzgarlı, yatay eksenli türbinlerdir.

Bu çalışmada dikey eksenli pelton kanatlar kullanılmıştır. Rüzgar enerjisinden elektrik üretiminde bu kanatların verimi, 3 kanatlı türbinlerden çok düşük olduğu için tercih edilmemektedir. Bu dikey eksenli pelton kanatlar kullanılarak, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren alternatör yardımıyla çok düşük seviyede alternatif gerilim elde edilmiştir. Alternatif akım, alternatör içinde bulunan diyotlar yardımı ile doğru akıma çevrilmiştir.

Bilim Kodu : 905
Anahtar Kelimeler : Pelton tipi kanatlar, alternatör, 3 kanatlı türbinler
Sayfa Adedi : 106
Tez Yöneticisi :Yrd.Doç.Dr.Fadıl ÇELİKKOL

**GENERATING ELECTRICITY BY USING PELTON
TYPE OF WIND TURBINE**

(M.Sc. Thesis)

Özlem GÜRBÜZ ÖGER

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
May 2006**

ABSTRACT

Currently, energy has become one of the most important problems all over the world. Due to the fossil sources decreasing day by day, people are interested in looking for new sources of energy. Ancient times of renewable energy resources, wind was used for irrigation in flour mills. With the advance of the technology, it was started to generate electricity from the wind energy. Because of their high performance, the most preferring turbines are three blade, frontal winded, horizontal axial.

In this study, vertical axial pelton wings have been used. In generating energy from the wind energy, performance of these vertical axial pelton wings are not preferred because their performance is much lower than tree blade turbines. Using this vertical axial pelton wings, with the contrubition of the alternator translating mechanical energy to electrical energy, alternative voltage, in the low level, has been obtained. Alternative current has been translated into direct current with the help of diodes in the alternator.

Science Code : 905
Key Words : Pelton Type wing, Alternator, 3 blade turbines
Number Of Pages : 106
Thesis Administrator : Asst. Prof. Dr. Fadıl ÇELİKKOL

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Yrd. Doç. Dr. Fadıl ÇELİKKOL'a yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Emin TEKKANAT'a ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan eşim Ali ÖGER'e, annem Akgül GÜRBÜZ'e, babam Ali GÜRBÜZ'e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
HARİTALARIN LİSTESİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvii
1. GİRİŞ	1
2. RÜZGAR TANIMLARI	9
2.1.Koriyolis Kuvveti	10
2.2.Jeostrofik Rüzgar	10
2.3.Yüzey Rüzgarları	12
2.4.Rüzgar Hızları ve Yönleri	14
2.4.1. Rüzgar ortalama hızı	17
2.4.2. Rüzgar hızı dağılımının incelenmesi	19
2.4.3. Rüzgar hız ölçümü	24
2.5.Rüzgarın Gücü	25
3. RÜZGAR GÜCÜYLE ELEKTRİK ÜRETİMİ	27
3.1.Rüzgar Türbinleri	30
3.1.1.Rüzgar türbini tasarımı	31
3.1.2.Rüzgar türbinlerinin sınıflandırılması	33

	Sayfa
3.1.3.Türbin bileşenleri.....	42
4. RÜZGAR TÜRBİN ÖMRÜ, BAKIMI VE GÜVENLİĞİ.....	52
4.1.Türbin Ömrü	52
4.2.Türbinlerin Bakımı.....	52
4.3.Türbin Güvenliği.....	53
5. ÇEVRESEL ETKİLER.....	54
5.1.CO ₂ (Karbondiyoksit) Salınımı.....	54
5.2.Rüzgar Enerjisinde Kara Kullanımı.....	55
5.3.Rüzgar Santrallerinde Su tüketimi.....	55
5.4.Kuşlar ve Rüzgar Türbinleri.....	56
5.5.Mekanik Gürültü salınımları	57
5.6.Rüzgar Türbinlerinde Ses	57
6. TÜRKİYE’DE RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİ.....	58
6.1.Türkiye’de Rüzgar Enerjisi Yatırımları	63
7. MATERYAL VE METOT.....	66
7.1.Pelton Tipi Kanat	66
7.2.Dişli Çarklar.....	72
7.3.Kayış Kasnak Mekanizması	74
7.4.Alternatör.....	78
7.5.Diyot	90
7.6.Akümülatör	93
7.7.İkaz Lambası	95
8.SONUÇ.....	99

	Sayfa
KAYNAKLAR.....	100
EKLER.....	103
EK-1 Teknik terimlerin ingilizce karşılıkları.....	104
ÖZGEÇMİŞ.....	106

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Pürüzlülük sınıfları ve uzunlukları	14
Çizelge 2.2. Dünya Meteoroloji Örgütünün belirlediği 10 m yükseklikteki rüzgar hızı	17
Çizelge 2.3. Rüzgar enerjisi potansiyelinin Türkiye'nin farklı coğrafi bölgelerine göre dağılımı	20
Çizelge 5.1. Kara kullanımı.....	55
Çizelge 5.2. Santrallerde su tüketimi.....	56
Çizelge 6.1. Türkiye'deki rüzgar santralleri.....	58
Çizelge 6.2. Ülkemizdeki şu andaki mevcut rüzgar enerjisi yatırımları.....	63
Çizelge 6.3. Türkiye'de rüzgar enerjisi için mümkün hedefler (YEKAB)	64
Çizelge 6.4. Türkiye rüzgar endüstrisi tarafından yaratılacak iş potansiyeli	65
Çizelge 6.5. Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın gelecek yıllar için öngördüğü kurulu güç kapasitesi içinde rüzgar enerjisi kullanımıyla oluşturulabilecek üretim kapasitesi payları.....	65
Çizelge 7.1. Şarj dinamosunun dayanabildiği sıcaklık değerleri.....	87
Çizelge 7.2. Akım gerilim değerleri.....	96

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Al-Dimaşki tarafından tasvir edilen düşey eksenli yel değirmeninin rotor kısmı.....	1
Şekil 2.1. Dünyanın sağa eğik duruşu	9
Şekil 2.2. Jeostrofik rüzgar dengesinin oluşumu.....	11
Şekil 2.3. Rüzgar fırıldağı (wind vane).....	15
Şekil 2.4. Rüzgar yönleri.....	16
Şekil 3.1. Rüzgar-elektrik sistemi.....	27
Şekil 3.2. Sürükleme ve kaldırma kuvvetleri.....	30
Şekil 3.3. Yatay eksenli rüzgar türbinleri.....	34
Şekil 3.4. Dikey eksenli rüzgar türbinleri.....	34
Şekil 3.5. Üç kanatlı rüzgar türbinleri.....	38
Şekil 3.6. Türbin 600 kW mekanik yapısı.....	38
Şekil 3.7. Darrieus rüzgar türbini.....	41
Şekil 3.8. Türbin bileşenleri.....	42
Şekil 3.9. Düşük devirli bir senkron generatör.....	49
Şekil 3.10. Yüksek devirli bir senkron generatör.....	49
Şekil 3.11. Asenkron motor	50
Şekil 3.12. Rüzgar türbininin şebekeye bağlanması.....	51
Şekil 7.1. Lester Pelton tarafından geliştirilmiş su türbini.....	66
Şekil 7.2. Pelton türbinin çalışma şekli.....	67
Şekil 7.3. İğne ve saptırıcı pozisyonun değişimi.....	68
Şekil 7.4. Pelton türbin (Hidro elektrik santrallerinde).....	68

Şekil	Sayfa
Şekil 7.5. Tırnaklı kutup çarkı.....	80
Şekil 7.6. Şarj dinamosunun performans eğrisi.....	88
Şekil 7.7. Alternatördeki kayıplar.....	88
Şekil 7.8. Diyot V-I karakteristiği.....	90
Şekil 7.9. Üç fazlı köprü devresinde gerilim ve akım eğrileri.....	92
Şekil 7.10. Stator sargıları ile diyotların bağlantısı.....	93
Şekil 7.11. Gerilim ve akımın değişimi.....	96

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 1.1. İlk elektrik üreten rüzgar türbini.....	2
Resim 1.2. Rüzgar gücünden elektrik enerjisi üretimi için kullanılan ilk türbinler.....	3
Resim 1.3. Gedser’de kurulan 200 kW’lık rüzgar türbini.....	4
Resim 1.4. Hutter’s rüzgar türbini.....	4
Resim 1.5. Deniz üstü (offshore) rüzgar türbini çiftliği.....	7
Resim 2.1. Rüzgar çorabı (wind sock).....	15
Resim 2.2. Kupalı anemometre.....	24
Resim 2.3. Veri kaydedici (Data logger).....	25
Resim 3.1. Türbinin kule üstündeki kafa kısmı-makine yatağı (Nacelle).....	43
Resim 3.2. Göbek (hub) ve rotor kanatları (rotor blades).....	44
Resim 3.3. Anemometre (anemometer) ve rüzgar fırılacağı (wind vane).....	45
Resim 3.4. Kule girişi.....	46
Resim 3.5. Konik boru şeklinde kule.....	46
Resim 3.6.Yükseltici harici tip trafo.....	51
Resim 6.1. ARES şalt merkezinin ve personelin bulunduğu tek katlı bina.....	59
Resim 6.2. ARES şalt merkezi.....	60
Resim 6.3. 1.grup ring çıkış.....	60
Resim 6.4. TEDAŞ 3’lü kombine ölçü sayacı.....	61
Resim 7.1. Pelton kanatlar.....	70
Resim 7.2. Kepçenin boyutları.....	70
Resim 7.3. Kepçelerin vidalanması.....	71

Resim	Sayfa
Resim 7.4. Volan tekeri görevi yapan göbek.....	71
Resim 7.5. 14 cm ve 3 cm yarıçaplı dişliler.....	73
Resim 7.6. Rotor milini döndüren 3 cm yarıçaplı dişli.....	73
Resim 7.7. Lastik kayışlı kasnaklar.....	76
Resim 7.8. Zincir kayış kasnak sistemi	77
Resim 7.9. Zincir kayışın yandan görüntüsü.....	78
Resim 7.10. Şarj dinamosu.....	80
Resim 7.11. Uyarı sargısının uçları.....	81
Resim 7.12. Şarj dinamosunun rotoru.....	81
Resim 7.13. Endüvi sargısının elde sarılması (kalıp 5 cm x 2 cm boyutlarında).....	82
Resim 7.14. Elde sarılmış olan bir faza ait 12 bobin sayısı (endüvi sargısı)....	82
Resim 7.15. Endüvi sargısı 36 oluklu stator çekirdeğine yerleştirilmiştir ve sargıların oynamaması için gürgen tahta kullanılmıştır.....	83
Resim 7.16. Stator ve alternatif gerilim uçları	83
Resim 7.17. Alternatörün bağlantısı.....	89
Resim 7.18. 537 ZETEX BYY58 200 kodlu diyotların önden ve arkadan görünüşü (+ diyotlar)	90
Resim 7.19. 537 ZETEX BYY57 200 kodlu diyotların önden ve arkadan görünüşü (- diyotlar).....	91
Resim 7.20. 6 adet diyottan tam dalga köprü devresi	91
Resim 7.21. Stator sargısının bir fazı, negatif ve pozitif diyota bağlanır.....	92
Resim 7.22. Akü.....	94
Resim 7.23. İkaz lambası.....	95

Resim	Sayfa
Resim 7.24. Çıkış geriliminin ve akımının ölçülmesi.....	97
Resim 7.25. Rüzgar hızını ölçen anemometre.....	98

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 6.1.Türkiye'nin rüzgar atlası.....	62

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
A	Rotor kanatlarının süpürdüğü alan (m^2)
α	Pürüzlülük katsayısı
$\overline{B}$	Vektörel rüzgar şiddeti
$\overline{B}_{BD}$	Batı-doğu rüzgar bileşenleri
$\overline{B}_{KG}$	Kuzey-güney rüzgar bileşenleri
c	Ölçek değişkeni (m/s)
C_p	Güç katsayısı
C_D	Sürüklenme katsayısı (drag coefficient)
C_L	Kaldırma katsayısı (lift coefficient)
D	Sürüklenme kuvveti (N)
d_1	Kasnak çapları
d_2	Kasnak çapları
f	Coriolis parametresi
f_1	Senkron frekans
f_2	Rotorda endüklenen gerilimin frekansı
f_r	Rotorun dönme hızına eşdeğer frekans
$f(P_n, P_d)$	P_n ve P_d 'nin bir fonksiyonudur.
F_N	Döndürme momenti
$f_R(v)$	Rayleigh olasılık dağılım fonksiyonu
$F_R(v)$	Rayleigh olasılık Kümülatif dağılım
F_S	Sürtünme momenti
$f_w(v)$	Weibull olasılık dağılım fonksiyonu
$F_w(v)$	Weibull olasılık Kümülatif dağılım
H_B	Batıdan esen rüzgarın şiddeti (m/s)
H_D	Doğudan esen rüzgarın şiddeti(m/s)

Simgeler**Açıklama**

H_G	Güneyden esen rüzgarın şiddeti (m/s)
H_{GB}	Güney-batıdan esen rüzgarın şiddeti (m/s)
H_{GD}	Güney-doğudan esen rüzgarın şiddeti(m/s)
H_K	Kuzeyden esen rüzgarın şiddeti (m/s)
H_{KB}	Kuzey-batıdan esen rüzgarın şiddeti (m/s)
H_{KD}	Kuzey-doğudan esen rüzgarın şiddeti (m/s)
I	Rüzgar ısrarlılığı
I_s	Sargı akımı
i	Dönüştürme oranı
k	Şekil değişkeni
k	Von Karman sabiti (0,40)
L	Kaldırma kuvveti (N)
λ	Uç hız oranı
n	Rüzgarın toplam esme sayısı
n_1	Kasnak devirleri
n_2	Kasnak devirleri
n_r	Rotor hızı
n_s	Döner alan hızı
N	Rüzgarın toplam esme sayısı (Veltörel rüzgar şiddetinde)
p	Kutup çifti sayısı
p	Basınç (N/m ²)
P	Güç (W)
$P_{\text{Ç}}$	Alternatöre giren güç (W)
P_{cu}	Stator sargısındaki kayıplar (W)
P_{cuf}	Uyarma sargısındaki bakır kayıpları (W)
$P_{\text{dişlikutusu}}$	Dişli kutusundaki mekanik kayıplar (W)
P_d	Saptırıcı (deflector) pozisyonu
P_{fe}	Demir kayıpları (W)
P_{fey}	Demir kayıpları (W)

Simgeler**Açıklama**

P_g	Alternatörden çıkan güç (W)
$P_{\text{generatörkayıp}}$	Generatördeki kayıplar (W)
P_{il}	İlave kayıplar
P_n	İğne(needle) pozisyonu
$P'(N)$	Generatör için verilen mekanik güç (W)
$P(N)$	Generatör gücü (W)
P_{stv}	Sürtünme ve vantilasyon kayıpları (W)
P_t	Pelton türbinlerde giriş gücü (W)
$P(v)$	Rüzgarın gücü (W)
P_w	İğne püskürtücülerin mekanik gücü
$p(x,\mu)$	Poisson olasılık dağılım fonksiyonu
ρ	Havanın yoğunluğu (kg/m^3)
R	Rüzgar türbin rotorunun yarıçapı (m)
r_1	Bir dişlide dairenin yarıçapı
r_2	Bir dişlide dairenin yarıçapı
T	Rüzgar türbini tarafından üretilen tork
τ	Yüzey gerilmesi
u^*	Yüzey gerilmesi ile ilgili sürtünme hızı(m/s)
U	Fazlar arası gerilimi
U_s	Sargı gerilimi
U_y	Faz-nötr gerilimi
$u(z)$	z yüksekliğindeki rüzgar şiddeti (m/s)
$U(Z_1)$	Z_1 yüksekliğindeki ortalama rüzgar şiddeti
$U(Z_2)$	Z_2 yüksekliğindeki ortalama rüzgar şiddeti
μ	Ortalama rüzgar hızı (m/s)
μ	Sürtünme katsayısı
η	Verim
v	Rüzgar hızı (m/s)

Simgeler**Açıklama** $\overline{V}$

Rüzgar şiddetlerin aritmetik ortalaması

 V_g

Jeostrofik rüzgar hızı (m/s)

 V_i

Değişik yönlerden esen rüzgar şiddeti (m/s)

 V_1

Kasnak hızı

 V_2

Kasnak hızı

 φ

Enlem

 ω

Açısal hız (rad/s)

 ω_e

Elektriksel açısal hız

 ω_g

geometrik açısal hız

 x

Poisson rastgele değişkeni (m/s)

 z

Yükseklik (m)

 z_0

Yüzeyin pürüzlülük uzunluğu (m)

 z_1

Referans yüksekliği (m)

 z_2

Rüzgar şiddetinin hesaplandığı yükseklik

 z_1

Diş sayısı

 z_2

Diş sayısı

Kısaltmalar**Açıklama****ARES**

Alaçatı Rüzgar Elektrik Santrali

ABD

Amerika Birleşik Devletleri

ASG

Asenkron generatör

DB

Doğu Batı

DERT

Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri

GB

Güney Batı

GBB

Güney Batı Batı

GD

Güney Doğu

GDD

Güney Doğu Doğu

GGB

Güney Güney Batı

Kısaltmalar**Açıklama****GGD**

Güney Güney Doğu

KB

Kuzey Batı

KBB

Kuzey Batı Batı

KD

Kuzey Doğu

KDD

Kuzey Doğu Doğu

KG

Kuzey Güney

KKB

Kuzey Kuzey Batı

KKD

Kuzey Kuzey Batı

MS

Milattan Sonra

RED

Rüzgar Dönüşüm Sistemleri

RT

Rüzgar Türbini

TEDAŞ

Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi

YERT

Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri

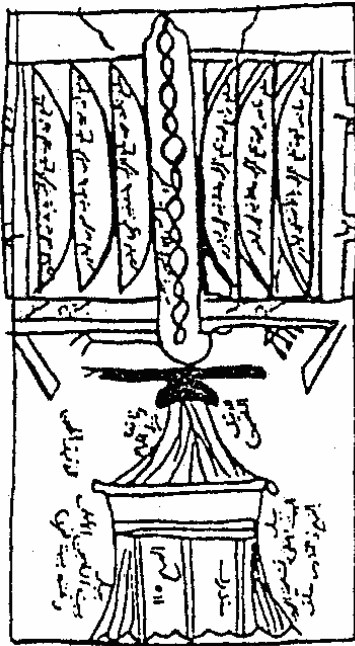
YEKABYeni ve Yenilebilir Enerji Kaynak ve
Teknolojileri Araştırma Birimi**WA^sP**

Rüzgar atlası Analiz ve Uygulama Programı

1. GİRİŞ

Rüzgar türbinleri tarihçesi ile ilgili değişik dokümanlara rastlanmakla birlikte, en eski rüzgar iş makinesi olan yel değirmeninin, bundan 3000 yıl önce İskenderiye yakınlarında yapıldığı tahmin edilmektedir. Türkler tarafından ilk defa M.S. 640 yılına doğru imal edilen yel değirmeni tipleri, haçlı seferleri sırasında Avrupa'ya geçmiştir. Yel değirmenleri 1105 tarihinde Fransa'da görülmeye başlanmış 1143 de İngiltere'de ilk yel değirmeni yapılmıştır. XIX. Yüzyıl sonlarına doğru Almanya'da rüzgar ile çalışan iş makineleri görülmeye başlandı. Yel değirmenleri Çin'de M.S. 750-850 yıllarında pirinç tarlalarının sulanmasında kullanılmıştır [1].

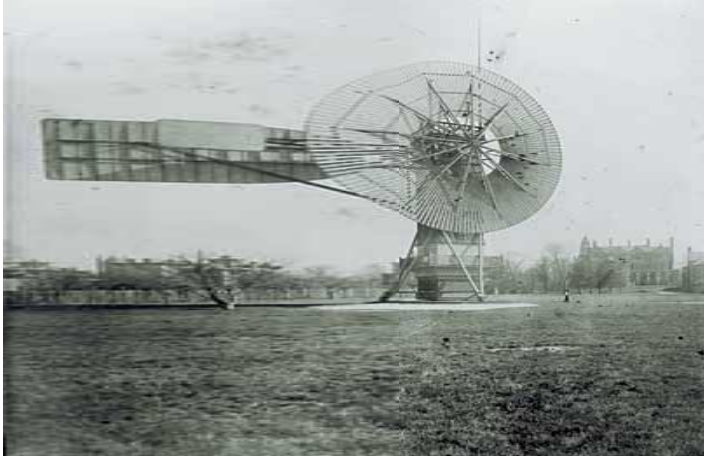
1300 yılları civarında Al-Dimaşki (1256-1326) isimli Suriyeli bir evren bilimcisi aşağıdaki Şekil 1.1'de verilen çizim ve tasviri vermiştir. Altılı üstlü iki odadan yapılmış olan bu binanın üst tarafında değirmen taşları alt tarafında ise bunları döndüren rotor (kepçeli dönen düşey silindir) kısmı vardır. Kepçeler 6-12 tane olup tüm silindir boyunca uzanmaktadır [2].



Şekil 1.1. Al-Dimaşki tarafından tasvir edilen düşey eksenli yel değirmeninin rotor kısmı

İlk olarak doğuda kullanılan düşey eksenli yel değirmenleri, Batılılar tarafından geliştirilmiş ve yatay eksenli hale getirilmiştir. Yatay eksenli ilk yel değirmeni örneği 1180 yılında Normandiya Krallığı (İskandinavya Vikinglerinin kuzey Fransa'da kurduğu Krallık) zamanına aittir. 1882 yılında New York'da elektrik santrali kurulmuş ve daha sonra da elektrik enerjisi kullanımı yaygınlaştırılmıştır [1].

1888 yılında Charles F. Brush (Amerikalı bilim adamı) elektrik üretebilen ilk rüzgar türbini yapmıştır. Bu türbin dünyanın en geniş türbinidir. Rotor çapı 17 m ve 144 adet tahtadan imal edilmiştir. Bu türbin 20 yıl hizmet vermiştir. Büyüklüğünün yanında ürettiği enerji sadece 12 kW kadardır [3,4].



Resim 1.1. İlk elektrik üreten rüzgar türbini

Daha geliştirilmiş rüzgar elektrik enerjisi de Danimarkalı profesör Paul La Cour tarafından 1891 yılında üretilmiştir. Doğru akım elde eden Paul La Cour, elektroliz yoluyla hidrojen gazı elde etmiş ve bu şekilde rüzgar enerjisini depolamıştır [1].

Paul La Cour aynı zamanda aerodinamik alanında yaptığı çalışmalar ile de tanınmıştır. Askov Folk High School'da 1897 yılında La Cour tarafından yapılan rüzgar türbini, 89 W gücündeydi. 1905 yılında La Cour'un kuruculuğunu yaptığı Rüzgar Elektrikçileri Birliği'nin (society of Wind

Elektricians) 356 üyesi bulunmaktaydı. Dünyada rüzgar enerjisi ile ilgili bilinen Journal of Wind Electricity isimli ilk dergi de La Cour'un editörlüğünde bu birlik tarafından yayınlanmıştır. Böylece Danimarka'da rüzgar kuvvetinin elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımı yaygınlaşmıştır [5].



Resim 1.2. Rüzgar gücünden elektrik enerjisi üretimi için kullanılan ilk türbinler

1918 yılı sonrasında büyük şehirler elektriğe kavuşmuş ve dizel yakıtların ucuzluğu nedeni ile rüzgar enerjisini değerlendirme çabaları bir kenara bırakılmıştır. Rüzgar enerjisinin bir kenara itilmişliği, enerji sıkıntısı nedeniyle 2. Dünya Savaşı'na kadar sürmüştür. Rüzgar enerjisi kullanımının tarihsel gelişimine; 1942 yılında üretilen 17,5 m pervane çaplı 50 kW nominal güçlü rüzgar türbini ve 1957 yılında üretilen 24 m pervane çaplı ve 200 kW nominal güçlü rüzgar türbini örnek verilebilir [1].



Resim 1.3. Gedser’de kurulan 200 kW’lık rüzgar türbini

Almanya’da profesör Ulrich Hutter, yatay eksenli modern türbinleri geliştirdi. Bunlar, daha hafif ve yüksek verim sağlamak için cam elyafı (fiberglass) ve plastik kanatlar ile değişik açı kontrolünü yapan uçak kanatlı (airfoil) tipti [4].



Resim 1.4. Hutter’s rüzgar türbini

1960’lı yıllardan sonra rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretimi ekonomik nedenlerle azalma göstermiştir. Daha ucuz olan fosil yakıtlar (kömür, petrol,

doğal gaz) kullanılarak yapılan termik santraller ön plana geçmiştir. Fakat 1970'li yıllarda meydana gelen petrol krizi insanoğlunu tekrar değişik enerji kaynakları aramaya itmiştir [5].

1979–1985 yılları arasında uygun devlet kredileri ile 4500'den fazla 1 ile 25 kW arasında değişen güçlerde rüzgar santralleri yapılmıştır. Aynı dönemde çeşitli özellikte 1000 adet uzaktan kontrollü sistem tesis edilmiştir. Elektriğin birim fiyatı yüksek olduğundan, 1980–1981 yıllarında, endüstriyel ve teknolojik gelişmeler sonucu 55 kW kapasiteli Rüzgar türbinleri (RT) yapılıp, üretimine başlanmıştır. Rüzgar endüstrisi daha çok yaygınlaşmış ve Risoe National Laboratuvarı yardımı ile Avrupa Rüzgar Atlasının gelişmesine paralel olarak elektrik birim fiyatlarında önemli ölçüde azalmalar meydana gelmiştir [6].

En küçük RT'ler 1982 yılında Kaliforniya piyasasına girdiğinde, Danimarka'da uzun süredir kullanılmaktaydı. Kaliforniya'da 1979–1985 yılları arasındaki devlet yardımı programı etkisini göstermiş ve 1981 yılında 150 adet olan küçük RT sayısı, 1985 yılı sonlarında 16 000'e ulaşmıştır. Kaliforniya'daki bütün RT'lerin %75'ine ortak olan Danimarkalı üreticiler, 55 kW'lık RT'ler için bir endüstri kurmuşlardır. Danimarkalı RT üreticileri, bugün bile dünya çapındaki piyasada en büyük üretici olma özelliğini elinde bulundurmaktadır. 1985 yılında 25 m kanat çapında ve 250 kW gücündeki RT prototipi Kaliforniya'da yapılmış ve kısa bir zaman içinde piyasaya sürülmüştür. Danimarka da ise piyasayı canlı tutmak amacıyla ev tipi RT'ler tekrar geliştirilerek piyasaya sürülmüştür. Bugün bile 0,1–10 kW arasında bağımsız çalışan çeşitli güçlerde ev tipi RT'ler imal edilmektedir.

Küçük RT'lerin gelişmesine paralel olarak, 1976–1980 yılları arasında piyasanın talebi üzerine birkaç ülke büyük RT'ler için yatırım yapmıştır. Almanya ve dünyada, büyük RT'lerin geliştirilmesi için milyon marklar harcanmış, fakat teknik problemlerle karşılaşılıp olumsuz düşünceler ortaya çıkınca, destek azalmıştır. İkinci büyük RT üretimi maliyet ve performans

bakımından başarılı olmasına rağmen tüketiciler tarafından ilgi görmemiştir. Böylece büyük RT'lerin geliştirilmesi mümkün olmamıştır.

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

Rüzgar enerjisi bakımından deniz alanları karalara göre daha büyük zenginlik gösterdiği için denizlerde de deniz üstü (Offshore - Alarga) rüzgar santralleri kurulmasına başlanmıştır. Birinci etapta kıyıdan uzaklığı 10 km'yi ve derinliği 10 m'yi geçmeyen alanlar hedeflenmiştir. İlk deniz üstü rüzgar çiftliği 5 MW güçle Danimarka'da Lolland adası yakınlarında kurulan Vindeby rüzgar çiftliğidir. Diğer ülkeler (İngiltere, İsveç) ile birlikte Avrupa'da şu anda 12 MW'lı deniz üstü (offshore) santrali çalışır durumdadır. Ve Avrupa bu kurulu gücünü 180 MW'a çıkarmayı planlamaktadır. 2030 yılında ise Avrupa da rüzgar enerjisi kurulu gücünün %25'ini deniz üstü (Offshore) RT'lerinin oluşturacağı beklenmektedir.

Daha yüksek enerji elde etme rüzgar enerjisinde genel amaçtır. Yüksek enerji üreten ve daha uzun ömürlü santral kurulması için Avrupa da uygun

yer bulunamadığından deniz üstü (offshore) rüzgar santralleri kullanıma geçmiştir. Deniz üzerinde olmalarından dolayı, kurulum maliyeti karadakilere oranla çok daha fazladır. Bu durum büyük bir dezavantaj oluşturmalarına rağmen 50 MW ve üzeri projelerde tercih edilmektedirler. Deniz üstü (offshore) RT'lerin bakım ve işletme masrafları karadaki türbinlere göre daha pahalı ve zor olmaktadır. Ağır kış koşullarında bu türbinlerde olağan bakım ve ulaşım büyük sorun olmakta, bazen türbinlere günlerce erişilememektedir. En iyi hava koşullarında bile bakım ve işletme maliyetleri karadakilere göre daha pahalıdır [6].



Resim 1.5. Deniz üstü (offshore) rüzgar türbini çiftliği

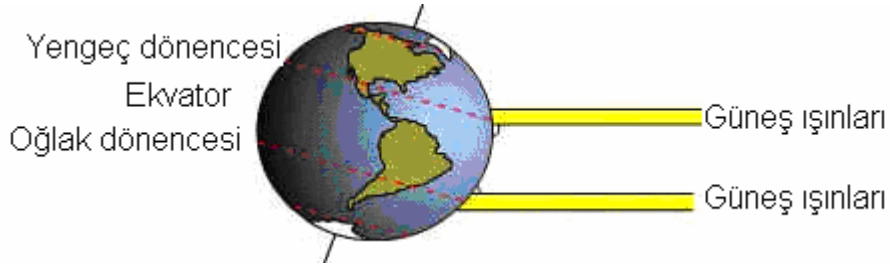
Gelişen teknoloji ve artan enerji açığı bütün ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de yeni enerji kaynakları üzerinde daha fazla düşünülmesini ve hızlı bir şekilde değişik yöntemlerin üretilmesini gerekli hale getirmiştir. Fosil yakıtların bir gün tükeneceği, nükleer enerjinin de halen tartışılan ve olumsuzluklarına net, mantıklı, herkesin şüphelerini giderecek yanıtlar verilemediği düşünülürse yenilenebilir, çevreyle uyumlu güneş, rüzgar, dalga vb. enerjilerin hem dünyamız hem de bizler için çözümler sunacağı görülmektedir [7].

Dünyamızın sahip olduğu yenilenebilir enerji potansiyeli yeryüzündeki ülkelerin enerji ihtiyaçlarının toplamını karşılayacak kapasitededir. Örneğin, dünyanın günlük rüzgar enerjisi girdisinin %1'inin kullanılmasıyla bugünkü dünya enerji ihtiyacının tamamını karşılamak mümkündür. Bugünkü enerji talebimiz gelen güneş enerjisi miktarının % 1.01'i kadardır. Bu rakamlar sahip olduğumuz yenilenebilir enerji potansiyelinin ne kadar büyük olduğunu ortaya koymaktadır [8].

Bu tezde; düşey eksenli pelton tipi kanatlar kullanılarak, alternatör ve akü yardımıyla rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretilmeye çalışılmıştır. Alternatör olarak şarj dinamosu kullanılmıştır ve alternatörün içindeki tam köprü diyotlar ile doğru akım elde edilmiştir. Pelton türbinler genellikle hidroelektrik santrallerinde kullanılmaktadır. Bu kanatlar, rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi elde etmekte verimi çok düşük olduğundan ve çok az güç elde edildiğinden dolayı günümüzde tercih edilmemektedir. Eski zamanlarda değirmencilikte ve sulamada kullanılmıştır. Bu çalışmada, pelton tipi kanatlara kuvvetli rüzgar verilerek ikaz ışığı yakılmıştır. Bu sistem rüzgar hızı sabit ve kuvvetli olan havalandırma kanallarında kullanılabilir.

2. RÜZGAR TANIMLARI

Dünyamız, güneşten gelen ısıyı ekvator bölgesinin her zaman dik açıyla, kutup bölgelerinin de her zaman eğik açıyla almasını sağlayacak bir konumda yaratılmıştır. Bu durum ekvator bölgesinin her zaman çok sıcak, kutup bölgelerinin de her zaman çok soğuk olmasını sağlamıştır. (Dünyamızın kutup eksenini ile yörünge düzlemi arasında 23,5 derecelik bir açı vardır ve dünyamız sağa doğru eğik konumuyla kendi eksenini etrafında ve güneş etrafındaki yörüngesinde hareketlerini sürdürmektedir) [9].



Şekil 2.1. Dünyanın sağa eğik duruşu

Ekvator bölgesi (0 -30 Kuzey enlemleri, 0-30 Güney enlemleri arası) kara ve denizde en sıcak alanlardır. Bu alanlarda önce kara yüzeyleri ısınır. Isınan yüzeyler alttan itibaren havayı ısıtır. Isınan hava yükselir. Yükselen havanın yerinde, havanın yükselerek terk etmesinden dolayı boşluk oluşur. Bir başka deyişle basınç düşer. Bu sebeple Ekvator bölgesi sürekli olarak dünyanın alçak basınç alanlarıdır. Aynı zamanda yükselen hava yükseldikçe soğur. Soğuk kutup alanlarında hava alttan itibaren soğur. En soğuk hava en alttaki hava tabakası olur. Soğuyan hava ağırlaşır birbirine doğru sıkışarak çöker. Çöken hava aynı zamanda ısınır. Bu yığılma sonucunda yüzeyde yüksek basınç oluşur. Dolayısıyla Kutup alanları dünyanın her zaman yüksek basınç alanlarıdır.

Dünyadaki her zaman var olan bu alçak ve yüksek basınç alanlarının yanında diğer alanlarda karada ve deniz yüzeyinde lokal veya daha küçük

ölçeklerde oluşan ve rüzgarların oluşmasına sebep olan basınç merkezleri görülür.

Dünyamızın başlıca enerji kaynaklarından biri güneştir. Atmosferdeki enerji dağılımındaki dengesizlik tüm hava olaylarının kaynağıdır. Rüzgarlar, dünya üzerinde atmosferin mevcut enerji dengesizliklerini azaltmak için sürekli ısıyı (sıcaklığı, soğukluğu), nemi (buhar veya sıvı suyu), bulutları, hava içinde bulunan her şeyi yüksek basınç merkezlerinden alçak basınç merkezlerine doğru beraberlerinde taşırlar. Rüzgarı basınç farklılıkları doğurur. Basınç farklılıklarını da sıcaklık farklılıkları doğurur. Bu farklar büyüdükçe rüzgar hızları da büyür [9].

2.1. Koriyolis Kuvveti

Dünya döndüğü için, bir yerde bulunduğumuz pozisyondan bakarsak kuzey yarıküredeki herhangi bir hareketin sağa doğru saptığını görürüz (Bu olay güney yarıkürede sola doğrudur). Açıkça görünen bu sapma kuvvetine Coriolis kuvveti denir (Fransız matematikçisi, Gustave Gaspard Coriolis 1792-1843 onuruna atfen bu ad verilmiştir). Koriyolis kuvveti gözlenebilir bir olaydır. Kuzey yarı küredeki rüzgarlar bir alçak basınç alanına yaklaşırken saate ters yönde dönmeye yönelir (yukardan bakıldığında). Güney yarı küredeki rüzgarlar bir alçak basınç alanına yaklaşırken saat yönünde dönmeye meylederler (yukardan bakıldığında) [10].

2.2. Jeostrofik Rüzgar

Jeostrofik rüzgarlar büyük ölçüde sıcaklık farkları ve dolayısıyla da basınç farkları sebebi ile oluşur ve yerkürenin yüzeyinden çok fazla etkilenmezler. Jeostrofik rüzgarlar yer yüzeyinden 1000 m yüksekte bulunurlar. Jeostrofik rüzgar hızları ancak hava balonları kullanılarak ölçülebilir [10].

Rüzgar hızı [11]:

$$V_g = \frac{1}{f\rho} \frac{\partial p}{\partial n} \quad (2.1)$$

eşitliğiyle hesaplanır.

ρ = havanın yoğunluğu,

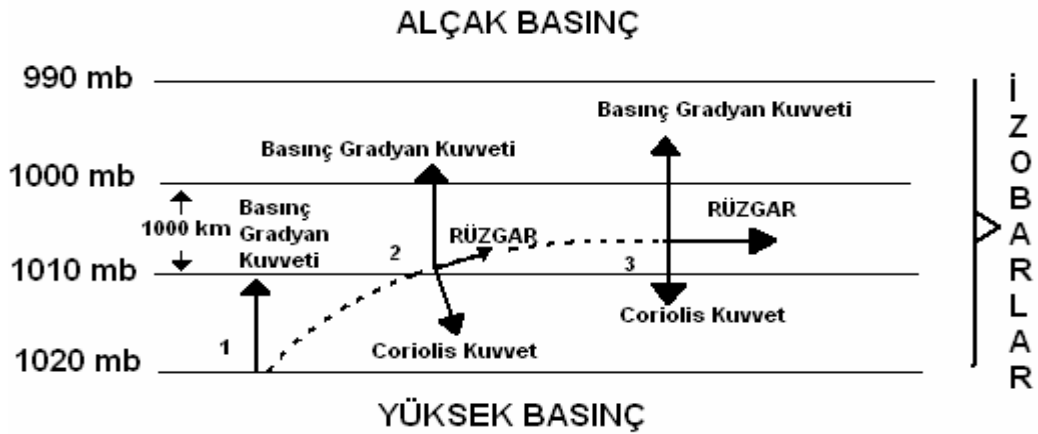
f = ise enlemin fonksiyonu olan Coriolis parametresi

$\frac{\partial p}{\partial n}$ =iki nokta arasındaki basınçtaki farklılık/aradaki mesafe

$$f = 2 \omega \sin \varphi \quad (2.2)$$

φ : enlem,

ω :dünyanın açısal hızı $7,269 \cdot 10^{-5}$ rad/s



Şekil 2.2. Jeostrofik rüzgar dengesinin oluşumu

Gradyan kavramı belirli bir aralıktaki değişim olarak tanımlanır. Basınç gradyanı derken, basıncın belli bir mesafedeki (iki nokta arasında) değişimini anlayabiliriz. Basınç değerlerindeki farklılık, hava akımı üzerine net bir kuvvet etki ettirir. Bu kuvvete basınç gradyan kuvveti denir [12].

Şekil 2.2’de gösterildiği gibi burada gözlenen hareketler aşağıda sıralandığı şekilde gerçekleşir [11];

- Basınç gradyanı kuvveti $\left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n}\right)$ hava kütlelerini daha alçak basınca doğru hareket ettirir.
- Hava kütlesi bir hız kazandığında Coriolis kuvvet etkisiyle sağa doğru saptırılır.
- Sonuçta basınç gradyanı kuvvetiyle Coriolis kuvvet arasında bir denge oluşur ve hareket izobarlara paralel bir şekilde devam eder.

2.3. Yüzey Rüzgarları

Yerden itibaren 100 m 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, jeostrofik rüzgarlardan biraz farklıdır. Rüzgarın kullanılabilir enerji içeriğinin hesaplanmasında yüzey rüzgarları dikkate alınır [10].

Yüzey tabakada yüksek rüzgar hızlarına, düzgün ve yeterince homojen bir yüzey yapısına sahip bölgeler üzerindeki rüzgar profili, logaritmik kanun yardımıyla modellenenbilmektedir [11];

$$u(z) = \frac{u^*}{k} \ln \frac{z}{z_0} \quad (2.3)$$

Burada, $u(z)$ yer yüzeyinden itibaren z yüksekliğindeki rüzgar şiddeti, z_0 yüzeyin pürüzlülük uzunluğu, k Von Karman sabiti (0,40) ve u^* ise

Eş. 2.4'de verilen τ yüzey gerilmesi ile ilgili sürtünme hızıdır. Bu eşitlikte yer alan ρ terimi ise havanın yoğunluğunu göstermektedir.

$$|\tau| = \rho u_*^2 \quad (2.4)$$

Ortalama rüzgar şiddetinin belirli bir referans yüksekliğine (z_1) göre düşeydeki değişimini veren ve bilinmeyen durumdaki sürtünme hızı terimini içermeyen diğer bir ifade:

$$\frac{U(z_2)}{U(z_1)} = \frac{\ln(z_2 z_0)}{\ln(z_1 z_0)} \quad (2.5)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $U(z_2)$, z_2 yüksekliğindeki ortalama rüzgar şiddetidir. Bazı koşullarda, ortalama rüzgar şiddetinin düşeydeki değişimi için basit belirlemeler yapılmak istendiğinde kuramsal bir temeli olmamakla birlikte ampirik kuvvet kanunu tercih edilmektedir.

$$\frac{U(z_2)}{U(z_1)} = \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^\alpha \quad (2.6)$$

Eşitlikteki üstel terim α (pürüzlülük fakörü), yüzey pürüzlülüğüne ve incelenen iki nokta arasındaki yükseklik farkına bağlı olup, düşük bir hata yüzdesiyle Eş. 2.7 yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$z_0 = 15,25 \exp\left(-\frac{1}{\alpha}\right) \quad (2.7)$$

Burada verilen eşitliklerden hangisi kullanılırsa kullanılsın bir bölge üzerindeki rüzgar verisinin uzun bir periyot için incelenmesi durumunda pürüzlülük uzunluğunun farklı rüzgar yönlerine göre ve yıl boyunca bitki örtüsündeki değişime göre değişeceği unutulmamalıdır. Dolayısıyla incelenen ortalama

rüzgar değerleri, belirgin mevsimsel ve yönsel değişimleri bünyesinde saklı tutabilmektedir [11].

Çizelge 2.1. Pürüzlülük sınıfları ve uzunlukları [10]

Pürüzlülük sınıfı	Pürüzlülük uzunluğu	Enerji indeksi (%)	Arazi tanımı
0	0,0002	100	Su yüzeyi
0,5	0,0024	73	Tamamen açık alan, düzgün bir yüzey, hava alanlarındaki beton yollar, çayır ekili alanlar v.b.
1	0,03	52	Açık tarım alanı, dağınık binalar, sadece yumuşak düzgün tepeler.
1,5	0,055	45	Birkaç binanın bulunduğu tarım alanı, 8 m uzunluktaki çitlerin yaklaşık 1250 m aralıklarla bulunduğu alan.
2	0,1	39	Birkaç binanın bulunduğu tarım alanı, 8 m uzunluktaki çitlerin yaklaşık 500 m aralıklarla bulunduğu alan.
2,5	0,2	31	Çok sayıda ev, çalılık ve örtünün, 8 m uzunluktaki çitlerin yaklaşık 250 m aralıklarla bulunduğu alan.
3	0,4	24	Köyler, küçük kasabalar, çok sayıda uzun çitlerin bulunduğu tarım alanı, orman, çok pürüzlü ve düz olmayan alan.
3,5	0,8	18	Büyük şehirler, yüksek binalar
4	1,6	13	Çok büyük şehirler, gökdelenler

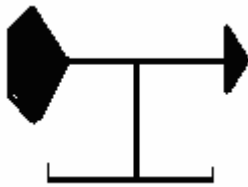
2.4. Rüzgar Hızları ve Yönleri

Rüzgar için iki önemli büyüklük hızı ve yönüdür. Rüzgar yönünü öğrenmek için "rüzgar çorabı" veya "rüzgar fırılacağı" kullanılır [13].



Resim 2.1. Rüzgar çorabı (wind sock)

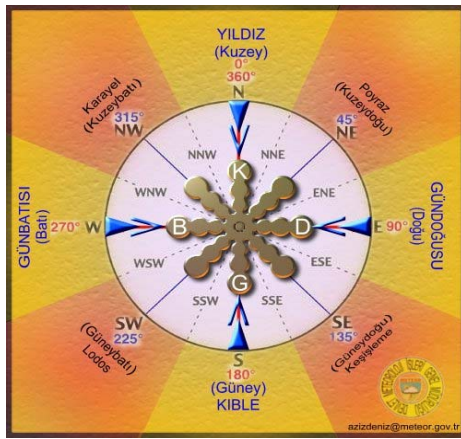
Rüzgar çorabı (Wind sock), bezden yapılmış ince ucu kırılmış koni şeklinde çoraba benzer torbadır. Koninin geniş ucu, rüzgar yönünün ölçüleceği yerde, içerisine rahatça rüzgarın girebileceği şekilde dairesel şekilde bir metalle gerdirilmiş ve 360 derece dönebilecek şekilde bir direk üzerine monte edilmiştir. Rüzgar estiği ve koninin geniş ağzından içeriye girdiği zaman koninin diğer dar olan ucundan çıkabilmek için koniyi şişirir ve rüzgarın estiği yöne doğru koniyi çevirir. Bu durumda koninin geniş ağzı rüzgarın geliş yönünü, dar ucu ise rüzgarın gidiş yönünü gösterir [14].



Şekil 2.3. Rüzgar fırılacağı (wind vane)

Rüzgar oku veya fırılacağı (wind vane), rüzgarın hangi yönden estiğini belirlemek için kullanılan alettir. Alet yere paralel olarak bir direk üzerine monte edilir. Rüzgara gelecek tarafı oka benzer. Diğer ucuna ise rüzgara karşı duyarlı olması için bir metal levha eklenmiştir [14].

Yöne bağılı olarak rüzgar şiddet verilerinin yorumlar yapmaya yarayacak şekiller haline dönüştürülmesi gerekir. Bu gaye için değişik yönlerdeki rüzgar özelliklerinin belirtilmesine yarayan en basitinden başlayarak sadece kuzey-güney (KG) ve doğu-batı (DB) doğrultusunda dörtlü; kuzey-doğu (KD) kuzey-batı (KB) ve güney-doğu (GD) ve güney-batı (GB) doğrultularınında ilavesi ile sekizli; ve pratikte en fazla kuzey-kuzey-doğu (KKD), güney-güney-batı (GGB), kuzey-doğu-doğu (KDD), güney-batı-batı (GBB), güney-doğu-doğu (GDD), kuzey-batı-batı (KBB), güney-güney-doğu (GGD), kuzey-kuzey-batı olmak üzere (KKB) sekiz ilave yönün daha göz önünde tutulması ile on altılı yönler sisteminde çeşitli rüzgar değerlendirmesi yapılır [2].



Şekil 2.4. Rüzgar yönleri

Rüzgar yönü (wind direction), rüzgarın esme yönünün pusuladaki karşılığıdır. Rüzgar yönü, saat yönünden başlamak üzere kuzeyden başlayarak söylenir. Örneğin doğu için 090 °, güney için 180 °, batı için 270 ° veya kuzey batılı rüzgar yönü için 315 ° gibi. Örneğin; Doğulu rüzgar, doğuya doğru değil, doğudan eser. Rüzgar yönü, kuzey yönüne veya pusuladaki 360 dereceye göre, pusuladaki temel 16 nokta (Kuzey, kuzey-kuzeydoğu, kuzeydoğu, doğu gibi) temel alınarak rapor edilir [14].

Denizciler için "Beaufort Ölçeği" (İngiliz amiral, 1805 de rüzgarın etki ettiği nesnelere bakarak denizde rüzgar hız tahminini geliştirmiştir) kullanılır. Bu ölçü günümüzde karalar için de kullanılmaktadır [13].

$$1 \text{ knot} = 1 \text{ saatte } 1 \text{ deniz mili} = 0,5144 \text{ m/s} = 1,852 \text{ km/s}$$

Çizelge 2.2. Dünya Meteoroloji Örgütünün belirlediği 10 m yükseklikteki rüzgar hızı [10]

m/s	Knot (1 saatte 1 deniz mili)	Rüzgar	Beaufort
0,0-0,4	0,0-0,9	Sakin (Calm)	0
0,4-1,8	0,9-3,5	Hafif (Light)	1
1,8-3,6	3,5-7,0		2
3,6-5,8	7,0-11		3
5,8-8,5	11-17	Vasat (Moderate)	4
8,5-11	17-22	Sert (Fresh)	5
11-14	22-28	Kuvvetli (Strong)	6
14-17	28-34		7
17-21	34-41	Fırtına (Gale)	8
21-25	41-48		9
25-29	48-56	Kasırga (Strong gale)	10
29-34	56-65		11
>34	>65	Tayfun (Hurricane)	12

2.4.1. Rüzgar ortalama hızı

Rüzgar verilerinin ortalaması hesabında biri yönden bağımsız diğeri yöne bağlı olan iki türlü hesap yapılır. Mesala, rüzgar enerjisinin hesap edilmesinde şiddetin yönü değil, sadece büyüklüğü önemlidir. Çünkü, yapılan rüzgar türbinleri kendisini yöne göre ayarlayarak her yönden gelecek rüzgardan yararlanır. Rüzgarın vektör ortalamasının iki dik eksen takımındaki izdüşümleri, o eksenler boyunca olan rüzgar hızı bileşenlerinin ortalamasına eşittir. Bileşenlerin hesaplanmasında pozitif kabul edildiği yönler, güneyden kuzeye ve doğudan batıya doğrudur. Ancak fizikteki kuvvetlerin alışlagelmiş

yönleri ise bu kavramlarla güneyden kuzeye ve batıdan doğuya olmaktadır [2].

Buna göre rüzgarın kuzey güney, $\bar{B}_{KG}$ ve batı doğu $\bar{B}_{BD}$ bileşenleri rüzgarın birbirine dik iki değişik yönlerdeki hız değerleri cinsinden [2]:

$$\bar{B}_{BD} = \frac{\sum_{i=1}^N [H_B - H_D + (H_{GB} + H_{KB})\cos 45 - (H_{GD} + H_{KD})\cos 45]}{N} \quad (2.8)$$

$$\bar{B}_{KG} = \frac{\sum_{i=1}^N [H_G - H_K + (H_{GB} + H_{GD})\cos 45 - (H_{KD} + H_{KB})\cos 45]}{N} \quad (2.9)$$

H_B : Batıdan esen rüzgarın şiddeti

H_D : Doğudan esen rüzgarın şiddeti

H_{GB} : Güneybatıdan esen rüzgarın şiddeti

H_{KB} : Kuzeybatıdan esen rüzgarın şiddeti

H_{GD} : Güneydoğudan esen rüzgarın şiddeti

H_{KD} : Kuzeydoğudan esen rüzgarın şiddeti

H_G : Güneyden esen rüzgarın şiddeti

H_K : Kuzeyden esen rüzgarın şiddeti

$\bar{B}_{BD}$: Batı-doğu rüzgar bileşenlerin ortalama değeri

$\bar{B}_{KG}$: Kuzey-güney rüzgar bileşenlerin ortalama değeri

N : Rüzgarın toplam esme sayısını.

Böylelikle bulunan ortalama bileşenlerden ortalama vektörel rüzgar şiddetini bulmak için:

$$\bar{B} = \sqrt{\left(\bar{B}_{BD}^2 - \bar{B}_{KG}^2 \right)} \quad (2.10)$$

Ayrıca, rüzgar yönleri göz önünde tutulmadan şiddetlerin aritmetik ortalamasını, $\bar{V}$ 'yi hesap etmek mümkündür:

$$\bar{V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i \quad (2.11)$$

V_i = Değişik yönlerden esen rüzgar şiddetleri

n = Rüzgarın toplam esme sayısı

Bu aritmetik ortalama rüzgar enerjisi hesaplamalarında kullanılır. Eş.2.11'de verilen aritmetik ortalamanın vektörel rüzgar şiddeti oranına rüzgar ısrarlılığı (insistence of wind) denir.

$$I = \frac{\bar{V}}{B} \quad (2.12)$$

Rüzgar ısrarlılık değeri sıfır ile bir arasında değerlere sahiptir. Sıfır olması için $\bar{V}=0$ gereklidir. Bunun fizik anlamı, rüzgarın hiç sapma yapmadan, her yönden olabilecek esme sayısı ve rüzgar şiddeti miktarı birbirinin aynıdır [2].

2.4.2. Rüzgar hızı dağılımının incelenmesi

Poisson Dağılımı aşağıdaki bazı özelliklere sahiptirler [15];

1. Belli bir zaman aralığında meydana gelen olaylar, diğer başka zaman aralıklarında meydana gelen olaylardan bağımsızdırlar.

2. Birden fazla olayın meydana gelme olasılığı çok küçük zaman aralığında ise bu ihmal edilebilir.

Olasılık Dağılımı Poisson rastgele değişkeni x için, belli bir zaman aralığında veya belli bir özel bölge için şu şekilde verilmiştir [15]:

$$p(x, \mu) = \frac{e^{-\mu} \mu^x}{x!} \quad x = 0, 1, 2, \dots \quad (2.13)$$

$p(x, \mu)$:Poisson olasılık dağılım fonksiyonu,

x :Rastgele rüzgar hızı değişkeni (m/s)

μ :Ortalama rüzgar hızı (m/s)

Değişik rüzgar hızlarına sahip yörelerin güçlerini karşılaştırmak amacıyla Ortalama rüzgar enerjisi yoğunluğu teriminden faydalanılır.

Çizelge 2.3. Rüzgar enerjisi potansiyelinin Türkiye'nin farklı coğrafi bölgelerine göre dağılımı

Bölge ismi	Ortalama rüzgar enerjisi yoğunluğu (Ölçüm yüksekliğindeki rüzgarın gücü/rotor kanatlarının süpürdüğü alan) (W/m ²)	Ortalama rüzgar hızı (m/s)
Akdeniz	21,36	2,5
İç Anadolu	20,14	2,46
Ege	23,47	2,65
Karadeniz	21,31	2,38
Doğu Anadolu	13,19	2,12
Güneydoğu Anadolu	29,33	2,69
Marmara	51,91	3,29

burada μ olan olayların ortalama bir sayısı olup, Çizelge 2.3'de ortalama rüzgar hızı Akdeniz Bölgesi için senelik olarak belli bir istasyonda ortalama hız 2.5 m/s olmaktadır. Şayet Poisson dağılımı uygulanacak olursa Poisson

olasılık dağılımına göre $x = 5$ m/s rüzgar hızı bir yıllık gözlem istasyonu için rüzgar esme olasılığı Eş. 2.13 ile şöyle bulunmuştur [15].

$$p(x, \mu) = \frac{e^{-\mu} \mu^x}{x!} = \frac{e^{-2,5} 2,5^5}{5!}$$

$$p(5, 2,5) = \sum_{x=0}^5 p(x, 2,5) - \sum_{x=0}^4 p(x, 2,5) = 0,9580 - 0,8912 = 0,0668$$

İç Anadolu için ise bu değer:

$$p(x, \mu) = \frac{e^{-\mu} \mu^x}{x!} = \frac{e^{-2,46} 2,46^5}{5!}$$

$$p(5, 2,46) = \sum_{x=0}^5 p(x, 2,46) - \sum_{x=0}^4 p(x, 2,46) = 0,06573$$

Ege Bölgesi için yapılan çalışmada bu olasılık değeri şu şekilde hesaplanmıştır:

$$p(x, \mu) = \frac{e^{-\mu} \mu^x}{x!} = \frac{e^{-2,65} 2,65^5}{5!}$$

$$p(5, 2,65) = \sum_{x=0}^5 p(x, 2,65) - \sum_{x=0}^4 p(x, 2,65) = 0,07023$$

Karadeniz Bölgesinde ise bu değer:

$$p(x, \mu) = \frac{e^{-\mu} \mu^x}{x!} = \frac{e^{-2,38} 2,38^5}{5!}$$

$$p(5, 2,38) = \sum_{x=0}^5 p(x, 2,38) - \sum_{x=0}^4 p(x, 2,38) = 0,06359$$

Doğu Anadolu Bölgesinde ise bu değer:

$$p(x, \mu) = \frac{e^{-\mu} \mu^x}{x!} = \frac{e^{-2,12} 2,12^5}{5!}$$

$$p(5, 2, 12) = \sum_{x=0}^5 p(x, 2, 12) - \sum_{x=0}^4 p(x, 2, 12) = 0,9834 - 0,9473 = 0,0361$$

Aynı olasılık Güney Doğu Anadolu Bölgesi için:

$$p(x, \mu) = \frac{e^{-\mu} \mu^x}{x!} = \frac{e^{-2,69} 2,69^5}{5!}$$

$$p(5, 2, 69) = \sum_{x=0}^5 p(x, 2, 69) - \sum_{x=0}^4 p(x, 2, 69) = 0,07187$$

Marmara Bölgesi için ise bu olasılık değeri:

$$p(x, \mu) = \frac{e^{-\mu} \mu^x}{x!} = \frac{e^{-3,29} 3,29^5}{5!}$$

$$p(5, 3, 29) = \sum_{x=0}^5 p(x, 3, 29) - \sum_{x=0}^4 p(x, 3, 29) = 0,1008$$

şeklinde bulunmuştur.

Sonuçlara göre rüzgar enerjisi açısından en yüksek olasılığın Marmara Bölgesinde gelecek vaat ettiği görülebilir [15].

Literatürde en çok kullanılan fonksiyonlardan ikisi Weibull ve Rayleigh'dir. Bunlar belirli bir zaman ve yerde ölçülmüş olan rüzgar hızı olasılık dağılımlarını modellemek için kullanılırlar. İki parametrelili Weibull olasılık dağılım yoğunluk fonksiyonu şu denklem ile verilir [16]:

$$f_W(v) = (k/c)(v/c)^{k-1} \exp[-(v/c)^k] \quad (2.14)$$

v : rüzgar hızı (m/s)

c :ölçek değişkeni (m/s)

k :şekil değişkeni

$\bar{V}$:ortalama rüzgar hızı (m/s)

Buna karşılık gelen kümülatif (birikimli) dağılımı da aşağıdaki denklem ile verilir;

$$F_W(v) = 1 - \exp [- (v/c)^k] \quad (2.15)$$

Rayleigh fonksiyonu Weibull'un basitleştirilmiş bir versiyonu olarak düşünülebilir. Weibull fonksiyonunda şekil parametresi olan $k=2$ yapılırsa Rayleigh fonksiyonu elde edilir. Rayleigh olasılık dağılım yoğunluk fonksiyonu şu denklem ile verilir;

$$f_R(v) = \frac{\pi}{2} \frac{v}{\bar{V}^2} \exp [- (\frac{\pi}{4} \frac{v^2}{\bar{V}^2})] \quad (2.16)$$

Buna karşılık gelen Rayleigh kümülatif (birikimli) dağılımı da aşağıdaki denklem ile verilir;

$$F_R(v) = 1 - \exp [- (\frac{\pi}{4} \frac{v^2}{\bar{V}^2})] \quad (2.17)$$

Rayleigh fonksiyonunun en önemli avantajı sadece ortalama rüzgar hızı verisinin bilinmesi halinde dağılımın elde ediliyor olmasıdır. Rayleigh fonksiyonu da yaygın bir şekilde kullanılmış ve geçerliliği birçok bölge için kanıtlanmıştır [16].

2.4.3. Rüzgar hız ölçümü

Rüzgar hız ölçümü ekseriya, kupalı anemometreler kullanılarak yapılır. Kupalı bir anemometre, dikey bir eksene sahiptir ve rüzgarı yakalayan 3 kupası vardır. Dakikadaki dönme sayısı elektronik olarak kaydedilir. Normal olarak bir anemometre rüzgar yönünü ayırt eden bir rüzgar fırılacağı (wind vane) ile birlikte dir. Çok yaygın olmamakla birlikte anemometrelerde kupaların yerine pervaneler bağlanabilir [17].



Resim 2.2. Kupalı anemometre

Diğer anemometre tiplerini, laser veya ultrasond olanlar oluşturur. Laser anemometreler, hava moleküllerinden yansımış aynı özellikli ışınları ayırt eder. Ultrasonik anemometreler seste oluşan faz kaymalarını ayırt eder. Telli anemometreler, rüzgarda ve gölgede yerleştirilmiş tel arasındaki minimum sıcaklık farklarından rüzgar hızını ölçerler. Mekanik olmayan anemometrelerin avantajı buzlanmaya karşı daha az hassas olmalarıdır. Buna rağmen pratikte her yerde kupalı anemometrelerin kullanılması yaygındır.

Gelecekte türbin kurulacak yerdeki rüzgar hızlarını ölçmenin en iyi yolu, kullanılacak rüzgar türbininin kanat bağlantı yüksekliğiyle aynı olan bir direğin tepesine bir anemometre yerleştirmektir. Bu şekilde bir kimse rüzgar hızlarını farklı yüksekliklerde yeniden hesaplamadaki belirsizlikten kaçınmış olur. Eğer anemometreler direğin bir yanına yerleştirilmişse, onların hakim rüzgar yönünde olmaları esastır, böylece kulenin rüzgar gölgelemesi küçültülmüş olur.

Anemometrelerde rüzgar hız ve yön bilgileri batarya ile uzun bir süre çalıştırılabilen küçük bir bilgisayarın, bir veri kaydedicinin (data logger) elektronik yongaları (chips) üstünde toplanır. Ayda bir, veri kaydedicinin (data logger) yanına gidip dolu yonganın (chip) boş yongayla (chip) değiştirilmesi gerekmektedir [17].



Resim 2.3. Veri kaydedici (Data Logger)

2.5. Rüzgarın Gücü

Rüzgar hızı, bir rüzgar türbününün elektriğe dönüştürebileceği enerji miktarı için oldukça önemlidir. Rüzgarın enerji içeriği hızın küpüyle değişir, yani enerji hızın 3. kuvvetiyle değişmektedir. Eğer rüzgar hızı iki katına çıkarsa, enerji 8 kat artar. ρ , hava yoğunluğu için deniz seviyesinde, standart

atmosferik basınçta 15° C de ki kuru havanın hava yoğunluğu, 1,225 kg/m³ [10].

Türbin tarafından üretilen güç [18];

$$P(v) = \frac{1}{2} \rho v^3 A C_p \quad (2.18)$$

v :Rüzgarın hızı (m/s)

ρ :Özgül kütle (kg/m³)

A :Rotor kanatlarının süpürdüğü alan (m²)

$P(v)$:Rüzgarın gücü (W)

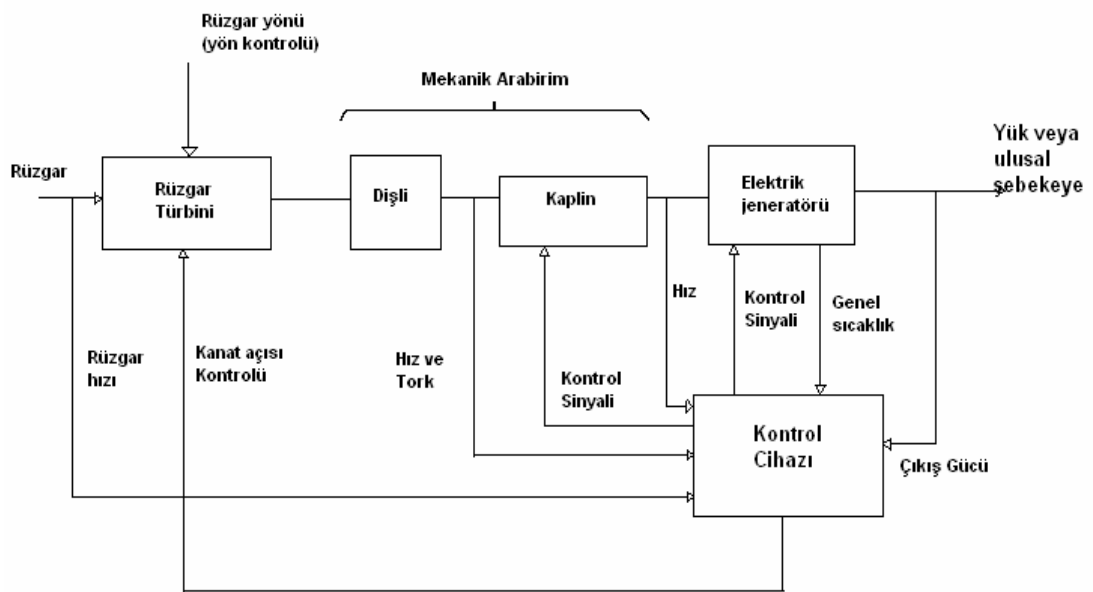
C_p : Güç katsayısı

3. RÜZGAR GÜCÜYLE ELEKTRİK ÜRETİMİ

Rüzgar türbinleri hareket halindeki havanın enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren makinalardır. Bu nedenle rüzgardan elektrik üretimi rüzgar enerjisi uygulamalarının temel yöntemlerinden biridir.

Rüzgar-elektrik sisteminin temel bileşenleri Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Hareketli havadan mekanik enerji şeklinde elde edilen enerji, uygun bir bağlantı ve dişli kutusu içeren mekanik aktarıcı yoluyla elektrik generatörüne aktarılır. Generatörden elektrik çıkışı, uygulamaya göre bir yüke yada güç şebekesine bağlanır.

Bu tür bir sistemde kullanılan kontrol cihazı, bir yada daha fazla noktada rüzgar hızı ve yönü, mil hızları ve döndürme momenti (torque), çıkış gücü ve gerekliyse generatör sıcaklığını algılayarak kanat açısı kontrolü, yön kontrolü (sadece yatay eksenli makinelerde) yapmak ve rüzgar enerji girişi ile elektrik çıkışını eşlemek amacıyla generatör kontrolü için uygun sinyalleri üretir. Ayrıca kuvvetli rüzgar sonucunda oluşan aşırı koşullardan, elektriksel arızalardan, generatörün aşırı yüklenmesi gibi koşullardan sistemi korur [19].



Şekil 3.1. Rüzgar-elektrik sistemi

Rüzgar-Enerji Dönüşüm (RED) aşağıdaki üç temel faktöre bağlı olarak sınıflandırılabilir [19]:

1-Çıkış türü;

- Doğru akım,
- Değişken frekans, değişken veya sabit gerilim, alternatif akım,
- Sabit frekans, değişken veya sabit gerilim, alternatif akım.

2-Rüzgar türbininin dönme hızı;

- Değişken kanat açısı ile sabit hız,
- Basit açı değiştirici mekanizmaları ile yaklaşık sabit hız,
- Sabit kanat açısı ile değişken hız.

3-Elektrik enerji çıkışından yararlanma şekli;

- Akü grubunda depolama,
- Diğer şekillerde depolama,
- Konvansiyonel şebeke sistemine bağlantı.

Sabit hızlı sistemlerde, sadece rotor hızının küçük değişikliklerine müsaade edilir. Bu sistemin yapı ve performansı kanat eğim kontrolü gibi mekanizmaların mekaniksel karakteristiğine bağlıdır. Ayrıca türbülans ve kule şekli, güçteki değişimler olarak görülen dalgalanma yüklerini hızlı bir şekilde etkiler. Bu değişimler, şebekeye bağlı rüzgar türbinleri için istenmeyen bir özelliktir. Güçteki bu değişimler, rüzgar türbininin ömrünü kısaltan mekaniksel baskılara neden olur ve güç kalitesini azaltır. Bu nedenle rüzgar türbinleri optimum performansında çalıştırılmazlar ve genellikle rüzgardan maksimum güç elde edilemez [20].

Sabit hızlı sistemlere alternatif olan değişken hızlı sistemlerde ise, rotor hızı kontrol edilmeye uygundur. Bu özellik, rüzgar türbin sisteminin sürekli olarak optimum hız oranına yakın çalışmasına imkan sağlamaktadır. Değişken hızlı sistemlerin, sabit hızlı sistemlere göre bazı önemli avantajları aşağıda verilmiştir ;

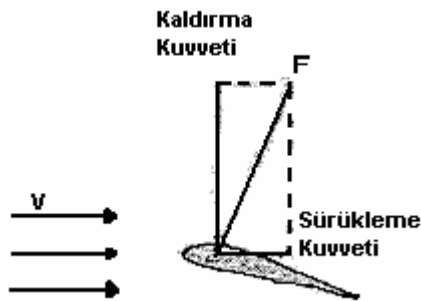
- Türbin hızı, çıkış gücünü en üst düzeye çıkarabilecek şekilde rüzgar hızının bir fonksiyonu olarak ayarlanabildiği için yıllık enerji üretimi artar. Türbin aerodinamiğine ve rüzgar rejimine bağlı olarak, yıllık enerjiye ortalama %10 oranında bir katkı sağlanır.
- Sistem, gücün en uygun şekilde düzenlenmesine imkan sağladığı için mekaniksel baskılar azalır.
- Rüzgar ve mekaniksel sistemlerden kaynaklanan ve çıkış gücünde değişime sebep olan anlık durumlar önemli ölçüde azalır. Türbin ani ve çok kuvvetli rüzgara maruz kaldığında, mekaniksel sistemin eylemsizliği rotor hızını artırıp artık enerjiyi emerek, elektriksel sistemin şebekeye sabit güç aktarmasına engel olmaz.
- Güç kalitesi, güçteki dalgalanmalar azaltılarak iyileştirilebilir. Güçteki dalgalanmaların azalması, gerilimin nominal değerinden uzaklaşmasını da önleyecektir. Bu da rüzgar gücünün şebekedeki etkisini arttıracaktır.
- Kanat eğim açısının kontrol zaman sabiti, daha yüksek olabileceğinden, kanat eğim mekanizmasının karmaşık kontrol sistemi daha basit bir şekilde yapılabilir.
- Akustik gürültü azalacaktır. Yerleşim bölgelerinin yakınlarına kurulan rüzgar çiftliklerinde gürültü önemli bir problem olmaktadır.

Değişken hızlı sistemlerin dezavantajları ise; generatör ve şebeke arasındaki bağlantı için gerekli güç çeviricilerinin (convertor) karmaşıklığı ve maliyetin yüksek olmasıdır. Fakat son yıllarda gerek güç elektroniğinde kaydedilen ilerlemeler, gerekse yarı iletken teknolojisinin maliyetinin her geçen gün azalması, rüzgar güç sistemlerinde bu yapının kullanımını oldukça cazip hale getirmiştir [20].

3.1. Rüzgar Türbinleri

Rüzgar türbinlerinin nasıl çalıştığını anlamak için iki önemli aerodinamik kuvvet iyi bilinmelidir. Bunlar sürüklenme (drag) ve kaldırma (lift) kuvvetleridir. Sürüklenme (drag) kuvveti, cisim üzerinde akış yönünde meydana gelen bir kuvvettir. Örneğin düz plaka üzerinde meydana gelecek maksimum sürüklenme kuvveti hava akışının cisim üzerine 90° dik geldiği durumda iken, minimum sürüklenme kuvveti de hava akışı cismin yüzeyine paralel iken meydana gelir. Kaldırma (lift) kuvveti ise, akış yönüne dik olarak meydana gelen bir kuvvettir. Uçakların yerden havalanmasına da bu kuvvet sebep olduğu için kaldırma kuvveti olarak adlandırılmıştır [21].

Sürüklenme kuvvetine en iyi örnek paraşüt verilebilir. Bu kuvvet sayesinde paraşütün hızı kesilmektedir. Sürüklenme kuvvetinin etkilerini minimuma indirebilmek için yapılmış özel cisimlere "akış hatlı" cisimler denir.



Şekil 3.2. Sürüklenme ve kaldırma kuvvetleri

Düz bir plaka üzerine etkiyen kaldırma kuvveti, hava akışı plaka yüzeyine 0° açı ile geldiğinde görülür. Havanın akış yönüne göre meydana gelen küçük açılarda akış şiddetinin artmasından dolayı düşük basınçlı bölgeler meydana gelir. Bu bölgelere akış altı da denir. Dolayısıyla, hava akış hızı ile basınç arasında bir ilişki meydana gelmiş olur. Yani hava akışı hızlandıkça basınç düşer, hava akışı yavaşladıkça, basınç artar. Bu olaya "Bernoulli etkisi" denir. Kaldırma kuvveti cisim üzerinde emme veya çekme meydana getirir [5].

3.1.1. Rüzgar türbini tasarımı

Rüzgar türbinleri, rüzgarın kinetik enerjisini yakalarlar. Bu durumda, rüzgar türbinlerinin, neden daha fazla kanadı olmadığı sorusu akla gelebilir. Çok veya geniş kanatlı, sert (esnek olmayan) yapılı rotoru olan bir rüzgar türbini, örneğin fırtınalı bir havada çok fazla kuvvete maruz kalır (burada, rüzgar gücünün, rüzgar hızının küpüyle orantılı olduğu akla gelmelidir). 50 yıl içinde, toplam 10 dakika, rüzgarın çok sert estiğini (fırtına) farz edersek, türbinlerin bu tür rüzgara karşı (çok az bir süre etkili olmalarına rağmen) dayanıklı olmaları gerekir. Bu amaçla türbinler, az sayıda, uzun ve dar kanatlı olarak imal edilirler.

Rüzgar türbinleri, hızı azalıp artan rüzgarlarla, dolayısıyla güçlerle karşı karşıyadır. Bu da genelde türbülanslı bölgelerde meydana gelen bir durumdur. Rotor kanatları gibi, sürekli eğilip bükülen parçalarda, zamanla çatlaklar meydana gelebilir ve sonuçta bu parçalar, özellikle kanatlar, kopabilir.

Metal yıpranması, bir çok endüstri alanında büyük sorunlar ortaya çıkarır. Bu yüzden, rotor kanadı imalatında, metal kullanılması pek uygun değildir. Rüzgar türbinleri dizayn edilirken değişik parçaların, tek başlarına ve diğer parçalarla nasıl titreştikleri test edilmelidir. Ayrıca bu titreşimler ve bükülmeler sırasında, her bir parçanın maruz kaldığı güçler hesap

edilmelidir. Bu amaçla, rüzgar türbininin her bir parçasının davranışını analiz eden, özel bilgisayar modelleri geliştirilmiştir.

Kanat profillerinde sürüklenme ve kaldırma kuvvetlerinin özellikleri, rüzgar tüneline yapılan testlerle belirlenmektedir. Bu testlerde farklı hücum açılarında birimsiz büyüklükler olan sürüklenme katsayısı (C_D) ve kaldırma katsayısı (C_L) hesaplanır. Bu katsayılar yardımı ile türbin için en uygun kanat yapısı tasarlanır [11].

Sürüklenme katsayısı (C_D)

Herhangi bir kanat profili için sürüklenme katsayısı aşağıdaki gibi verilmiştir [5].

$$C_D = D / (0,5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A) \quad (3.1)$$

D: Sürüklenme kuvveti (N),

ρ : Hava yoğunluğu (kg/m^3),

V: Hava hızı (m/s),

A: Rotor kanatlarının süpürdüğü alan (m^2).

Kaldırma katsayısı (C_L)

Kanat profilleri için kaldırma katsayısı;

$$C_L = L / (0,5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A) \quad (3.2)$$

eşitliği ile verilir. Eşitlikte kullanılan L indisi kaldırma kuvvetini ifade etmektedir. Her iki katsayı da rüzgar tünellerinde farklı hücum açıları ve rüzgar hızlarında hesaplanmaktadır. Her bir hücum açısı için hesaplanan C_D ve C_L değerlerinin oranı (C_D/C_L) alınır, bu oranların en büyük olduğu

değerdeki hücum açısı değeri, rüzgar türbininden en iyi verim alınabilecek değerdir [5].

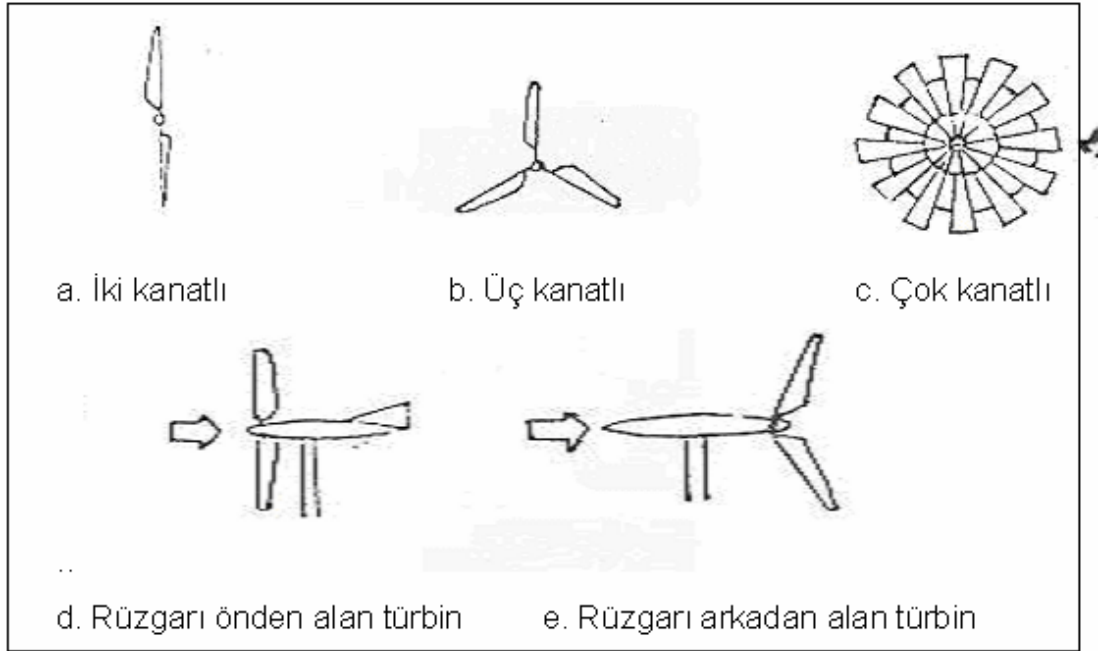
3.1.2. Rüzgar türbinlerinin sınıflandırılması

Tarih boyunca çeşitli evrimler geçiren rüzgar makinelerinde kullanılan türbinler farklı tiplerdedir. Şimdiye kadar değişik nitelikte ve tipte geliştirilen bu RT'lerden bazıları günümüzde ticari hale gelmiştir. RT'ler dönme eksenine göre üç gruba ayrılırlar [6];

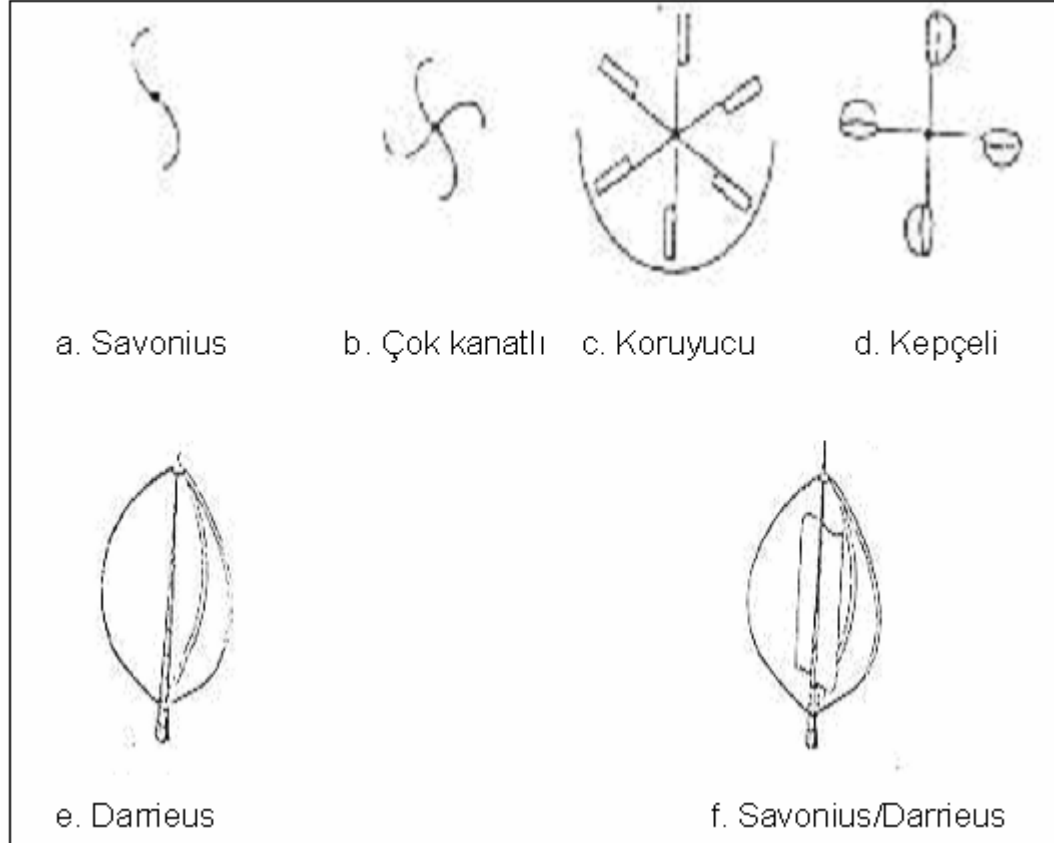
- Yatay eksenli rüzgar türbinleri
- Dikey eksenli rüzgar türbinleri
- Eğik eksenli rüzgar türbinleri

Güç esaslarına göre [22];

- Mikro türbinler
- Küçük rüzgar türbinleri
- Büyük rüzgar türbinleri



Şekil 3.3. Yatay eksenli rüzgar türbinleri



Şekil 3.4. Dikey eksenli rüzgar türbinleri

Yatay eksenli rüzgar türbinleri (YERT)

Rüzgar türbinleri farklı kanat yapısına sahiptir. Temel kural ise, kanat sayısının azalması ile dönüş hızının artmasıdır. Bunun tersi olarak da kanat sayısı arttıkça rotorun torku artmakta fakat dönüş hızı azalmaktadır. Bu dönüşüm ölçüsü olarak uç hız oranı (tip speed ratio) denen bir parametre tanımlanmıştır [23].

Rüzgar türbini tarafından üretilen tork (Torque) [18]:

$$T = \frac{P}{W_s} \quad (3.3)$$

P = Türbin çıkış gücü

W_s = Rüzgar türbininin rotor hızı

Uç hız oranı (tip speed ratio):

$$\lambda = \frac{W_s R}{V} \quad (3.4)$$

R = Rüzgar türbin rotorunun yarıçapı

V = Rüzgarın hızı

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

YERT, farklı sayıda rotor kanadına sahip olan ve rüzgarı önden alan veya rüzgarı arkadan alan sistemler olarak da çeşitlilik gösterirler [6].

Rüzgarı önden alan türbinler

Yıllardır yaygın olarak kullanılan bu makinelerde rotor yüzü rüzgara dönüktür. En önemli üstünlüğü kulenin arkasında olacak rüzgar gölgeleme etkisine çok az maruz kalmasıdır, yani rüzgar kuleye eğilerek varır.

Kule yuvarlak ve düz olsa bile kanadın kuleden her geçişinde türbinin ürettiği güç biraz azalır. Bu nedenle rüzgar çekilmesinden dolayı kanatların sert yapılması gerekir ve kanatların kuleden biraz uzakta yerleştirilmesi gerekir. Ayrıca, önden rüzgarlı makineler, rotoru rüzgara karşı döndürmek için rota mekanizmasına (yaw mechanism) gerek duyarlar [6].

Rüzgarı arkadan alan türbinler

Bu makinelerin rotorları kule arkasına konur. Bunların önemli üstünlüğü rüzgara dönmek için rota mekanizmasına (yaw mechanism) gerek duymayışlarıdır. Eğer makine yatağı (nacelle) ve rotor uygun tasarlanırsa, makine yatağı (nacelle) rüzgarı pasif olarak izler. Daha önemli bir üstünlük kanatların esnek özelliğe sahip olmasıdır. Bu, hem ağırlık hem de makinenin güç dinamiği açısından önemli bir üstünlüktür. Böylece bu makinelerin avantajları; önden rüzgarlı makinelere göre daha hafif yapılması sonucu kule yükünün azalmasıdır. Ancak, kanat kuleden geçerken meydana gelen güç dalgalanması, türbine önden rüzgarlı makinelerden daha çok zarar verir [6].

Tek kanatlı rüzgar türbinleri

Tek kanatlı RT'nin yapılmasının sebebi, kanat sayısına göre dönme hızının yüksek olması ve bu sayede makine kütlesini ve rotorun döndürme momentini azaltmaktır. Ek olarak rotor kanadı, kanat üzerindeki yapısal yükleri azaltacak mekanizma ve kanat mekanizma hareketinin pürüzsüz olabilmesi için, tek menteşe ile sabitleştirilip, 2 karşı ağırlıkla dengelenmelidir. Diğer taraftan tek kanatlı rotorlarda, ilave yüklerden ortaya

çıkan aerodinamik balanssızlık ve mekanizma hareketinin kontrol altında tutulması için göbek (hub) çok iyi yapılmalıdır. Her birinin tesis gücü 630 kW olan ve rotor çapı 56 m üç tip RT Almanya'nın Wilhelmshaven yakınında çalışmaktadır. En önemli ticari dezavantajı, 120 m/sn civarındaki kanat uç hızının sebep olduğu rotorun aerodinamik gürültü seviyesidir. Bir kanatlı RT'nin kanat uç hızı, üç kanatlı RT ile karşılaştırıldığında, iki kat daha yüksektir ve daha fazla gürültü içermektedirler. Almanya halkı, gürültü ve görsel rahatsızlık nedeniyle bu RT'lerin piyasada kullanılmasına şans tanımamıştır [6].

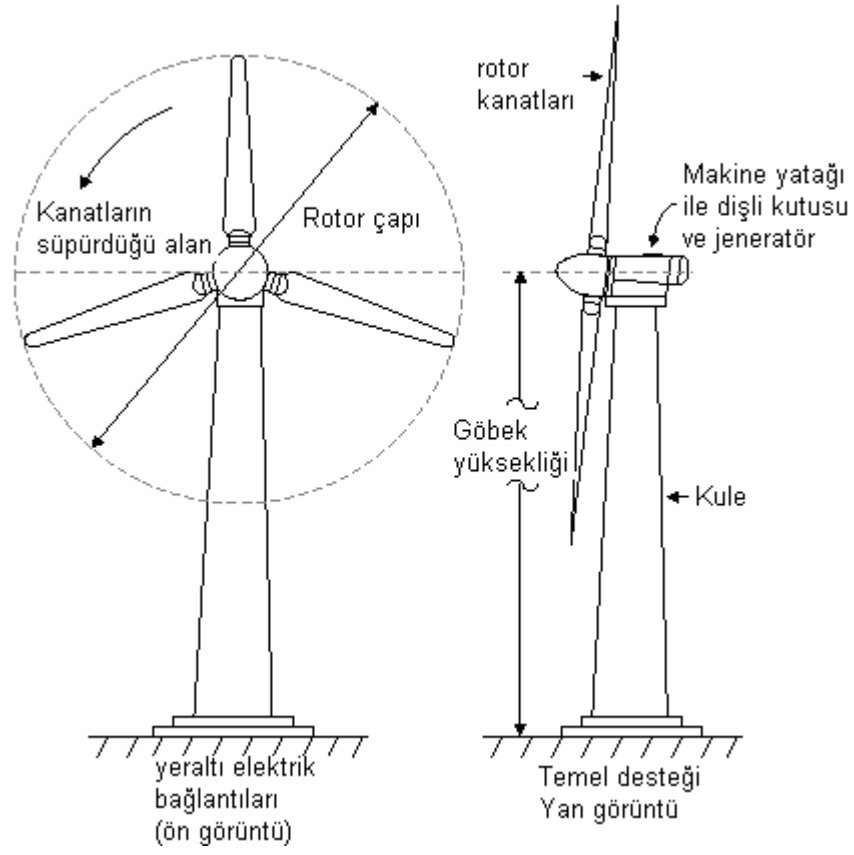
Çift kanatlı rüzgar türbinleri

Üç kanatlı türbinlere göre rotor maliyetinin azaltılmak istenmesi bu türbin fikrini doğurmuştur. Birçok ülkede 10 ile 100 m rotor çaplı ölçülerde RT'ler tasarlanıp, Avrupa ve ABD'de çalışmaya başlamıştır. Bu ticari RT'lerden sadece birkaç tanesi prototip durumundan, seri üretime geçebilmiştir.

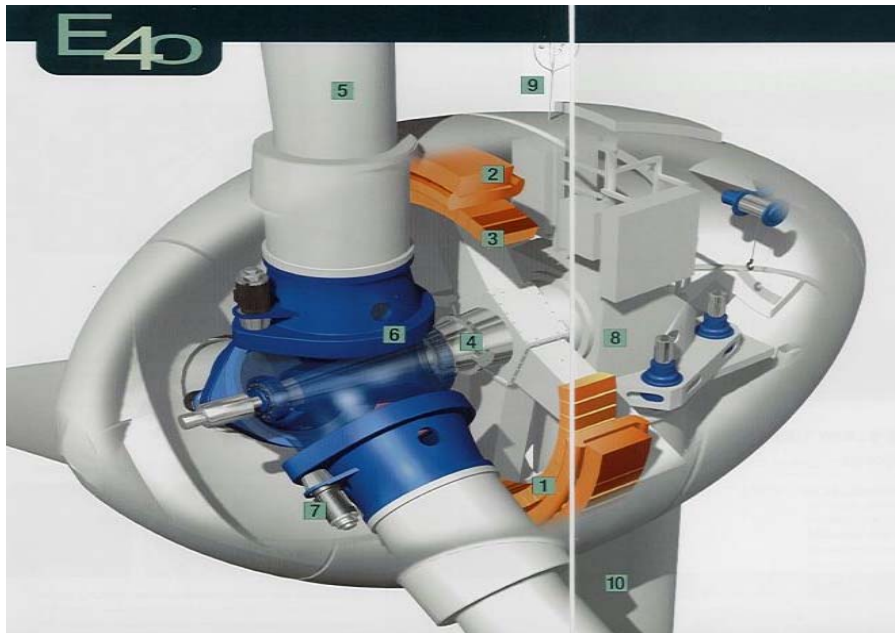
İki kanatlı rotorun balansı, bir kanatlı rotora göre daha düzgündür. Ancak iki kanatlı rotorun sebep olduğu dinamik hareketleri önlemek için ilave teknik güç, maliyetin daha fazla artışına sebep olmaktadır [6]. Ayrıca düşük şiddetteki rüzgar hızlarında pervane devreye girememektedir [11].

Üç kanatlı rüzgar türbinleri

Üç kanatlı modern türbinler, dünyanın her tarafında kullanılmaktadır. Üç kanat kullanımının asıl sebebi, dönme momentinin daha düzgün olmasıdır. Bu türbinde, türbinin yapısı üzerinde depolanan yüklerden dolayı salınım yapan atalet momenti olmadığından, kanatların bağlantı noktası (hub) içinde titreşimi önleyici pahalı parçalara gerek yoktur. Kanat uç hızı 70 m/sn altında olduğundan gürültünün düşüklüğü, sarsıntısız döndükleri için göz estetiğini bozmamaları önemli bir avantaj olup, halk tarafından kabulünü sağlamıştır [6].



Şekil 3.5. Üç kanatlı rüzgar türbini



Şekil 3.6. Türbin 600 kW mekanik yapısı

1.Jeneratör kanatlarından gelen mekanik enerjiyi 2.stator ve 3.rotor arasında elektrik enerjisine dönüştürür. 4.ana mil kanatlarını taşır. 5.Kanatlar rüzgarın enerjisini mekanik enerjiye dönüştürür. 6.Kanat flanşı ve 7.Kanat çevirme motoru kanadın ideal açısını ayarlar. 8.Kabin çevirme motoru 9.Rüzgar ölçüm sensöründen gelen bilgilere göre kabin önünü rüzgara çevirir. 10.Kule pervaneyi rüzgarın fazla olduğu yükseklerle taşır [11].

Çok kanatlı rüzgar türbinleri

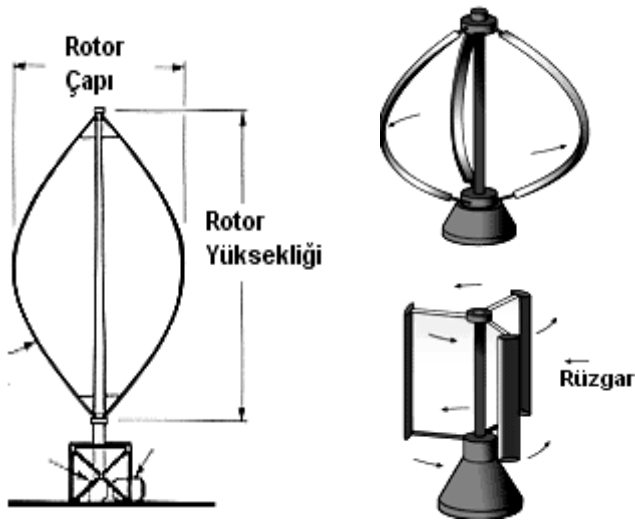
Çok kanatlı RT'ler (rüzgargülleri), RT'lerin gelişmemiş ilk örnekleridir. Yıllarca sadece su pompalamasında kullanılan bu türbinler, bu işlemdeki moment gereksiniminin karşılanabilmesi amacıyla, çok kanatlı olarak üretilmiştir. Çok kanatlı RT'ler düşük hızda çalışırlar. Türbin kanatlarının genişlikleri, pervane göbeğinden uçlara gidildikçe artış gösterir. Pervane mili, dişli kutusuna bağlanarak, jeneratör mili devir sayısı artırılır ve otomobillerde uygulama alanı bulan jeneratörler kullanılır [6].

Dikey eksenli rüzgar türbinleri (DERT)

Dönme eksenleri rüzgar yönüne dik ve düşey olan bu türbinlerin kanatları da düşeydir. DERT rüzgarı her yönden kabul edebilme üstünlüğüne sahiptir. Bu türbinler rüzgarı sürükler veya kaldırır. İlk harekete geçişleri güvenilir değildir. Bu türbinlerin verimi yaklaşık %35'dir. Türbinlerin üreteç ve vites kutusu toprak seviyesinde kurulabildiğinden kuleye gerek duymazlar. Bu yüzden düşük rüzgar hızlarında çalışmak zorunda kalırlar ve rota mekanizmasına (yaw mechanism) ihtiyaçları yoktur. Düşük rüzgar hızları ve az miktarda su pompalamak için tasarlanmışlardır. Kanat sayısının artması malzeme ağırlığını da beraberinde getirdiğinden, yüksek rüzgar hızlarında verimsiz çalışır. Rotor çapı 5 m olan türbinden yaklaşık 0,5 kW güç elde edilir. Bu türbinleri yer yüzeyine bağlayabilmek için çelik halatlara gereksinim duyulmaktadır.

Savonius RT, 1925 yılında Finlandiya'lı mühendis Sigurd J. Savonius tarafından keşfedilmiştir. İki yatay disk arasına yerleştirilmiş ve merkezleri birbirine göre simetrik olarak kaydırılmış, “kanat” adı verilen iki yarım silindirden oluşmaktadır. Belirli bir hızla gelen rüzgarın etkisiyle, çarkı oluşturan silindirin iç kısmında pozitif ve dış kısmında negatif bir momentin olmaktadır. Pozitif moment, negatif momentten daha büyük olduğundan, dönme hareketi pozitif moment yönünde sağlanır. Diğer DERT'lere göre; düşük rüzgar hızlarında iyi başlangıç karakteristiklerine sahip olması, yapımının kolay ve ucuz olması, rüzgarın yönünden bağımsız olması ve kendi kendine ilk harekete başlaması gibi birçok üstünlüklere sahip olan Savonius RT'lerinin, aerodinamik performansı düşük olduğu için ilk uygulama alanları; havalandırma, su pompalama gibi kısıtlı alanlar olmuştur. Savonius RT'nin birçok üstünlüğü bulunmasına rağmen, aerodinamik performanslarının düşüklüğü nedeniyle kullanılmamaktadır. Son yıllarda yapılan Savonius RT çalışmaları, aerodinamik performansın geliştirmesi yönünde olmuştur.

Darrieus rüzgar türbinleri 1931 yılında Fransız mühendis George J.M. Darrieus tarafından icat edilmiştir. 1970 ve 1980'lerde Amerika ve Kanada da Darrieus türbinlerinin kanat dizaynları üzerine geniş çalışmalar yapılmıştır. Kanatları geometrik formlu aerodinamik profile sahip olduğundan yüksek performanslıdır. Kanatlardaki hafif eğim sayesinde kanatlardaki çekme gerilimleri minimuma iner. Yüksek hızlarda çalışabilir ve türbin; 2 veya 3 kanatlı olur [6].

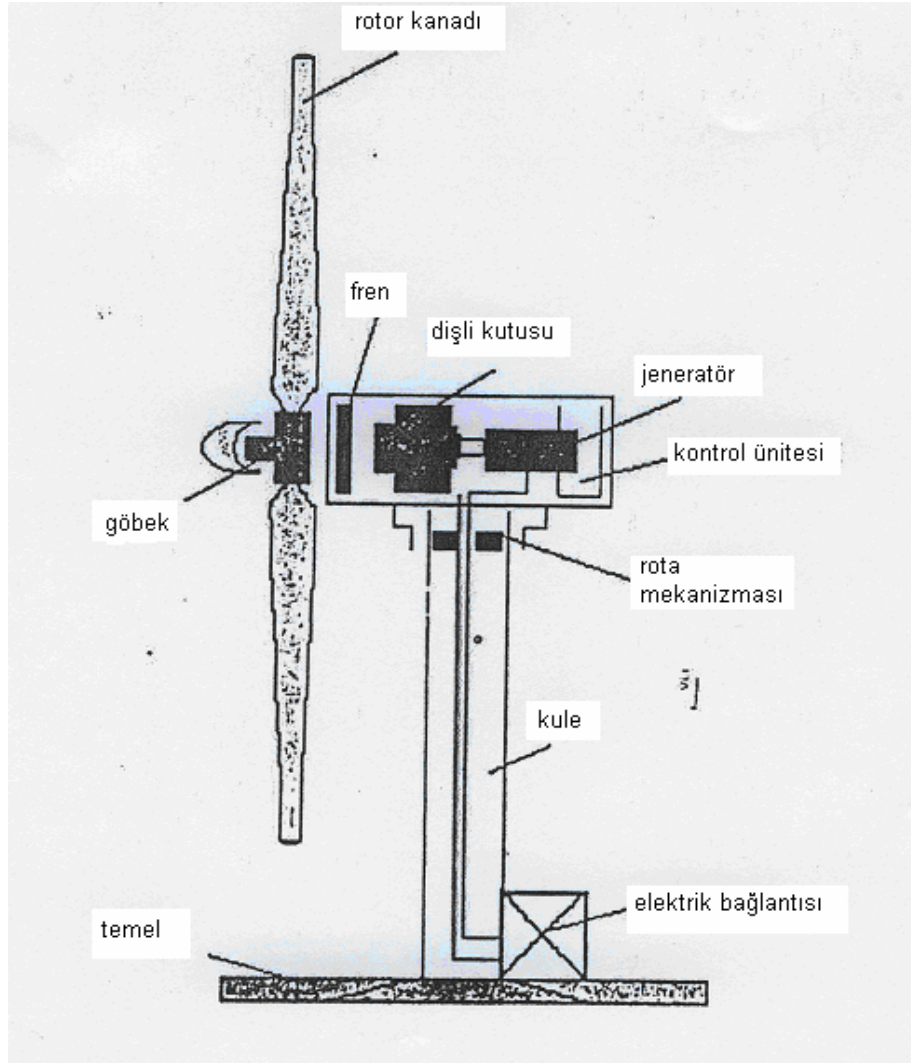


Şekil 3.7 Darrieus rüzgar türbini

Eğik eksenli rüzgar türbinleri

Dönme eksenleri düşeyle, rüzgar yönünde bir açı yapan RT'lerdir. Bu tip türbinlerin kanatları ile dönme eksenleri arasında belirli bir açı bulunmaktadır. Bu türbinlerin geniş bir uygulama alanı yoktur [22].

3.1.3. Türbin bileşenleri



Şekil 3.8. Türbin bileşenleri

Türbinin kule üstündeki kafa kısmı, makine yatağı (Nacelle)

Rüzgar türbininin dişli kutusunu ve jeneratör dahil ana parçalarını içine alır. Servis personeli makine yatağına (nacelle) türbin kulesinden girebilir. Makine yatağının (nacelle) solunda rüzgar türbin rotoru, rotor kanatları (rotor blades) ve göbek (hub) bulunur [24].



Resim 3.1. Türbinin kule üstündeki kafa kısmı-makine yatağı (Nacelle)

Rotor kanatları (rotor blades), göbek (hub), dişli kutusu (gearbox)

Rüzgarı yakalar ve onun gücünü rotor, göbeğe (hub) aktarır. 600 KW lık modern bir rüzgar türbininde her bir rotor kanat (rotor blade) 20 m uzunluğundadır ve bir uçak kanadının oldukça benzeri olarak tasarım edilmektedir.

Göbek (hub), rüzgar türbininin düşük hızlı mili (shaft) ile bağlantılıdır. Bu mil (shaft), rüzgar türbinini rotor göbek (hub) yüksekliğinden dişli kutusuna (gearbox) bağlar. 600 KW lık modern bir rüzgar türbin rotoru 19-30 dönü /dakika kadar nisbeten yavaş döner. Dişli kutusunun (gearbox) solunda düşük hızlı mil (shaft) vardır. Düşük hızlı milden (shaft) yaklaşık olarak 50 kat daha hızlı dönen yüksek hızlı mil (shaft) ise sağındadır. Yaklaşık 1500 devir/dakika ile döner ve elektrik jeneratörünü çalıştırır [24].



Resim 3.2. Göbek (hub) ve rotor kanatları (rotor blades)

Elektronik kontrolcü (elektronic controller), rota mekanizması (yaw mechanism)

Elektronik kontrolcü (elektronic controller), rüzgar türbininin şartlarını sürekli olarak takip eden ve rota mekanizmasını (yaw mechanism) kontrol eden bir bilgisayar bulundurur. Herhangi bir bozukluk (dişli kutusu veya jeneratörün aşırı ısınması gibi) durumunda türbini otomatik olarak durdurur ve türbin operatörüne modem hattı ile çağrı mesajı gönderir.

Rota mekanizması (yaw mechanism), rüzgar fırılacağı (wind vane) kullanarak rüzgar yönünü belirleyen elektronik kontrolcü (elektronic controller) tarafından işletilir. Rüzgara karşı nacelle (makine yatağı) ile rotoru döndürmek için elektrik motorlarını kullanır [24].

Anemometre (anemometer) ve rüzgar fırılacağı (wind vane)

Rüzgarın hızını ve yönünü ölçmek için kullanılırlar. Rüzgar hızı 5 m/s ye eriştiğinde türbini harekete geçirmek için rüzgar türbininin elektronik kontrolcüsü (elektronic controller) tarafından anemometrenin (anemometer)

gönderdiği elektronik sinyaller kullanılır. Eğer rüzgar hızı 25 m/s'i aşarsa bilgisayar, türbini ve çevresindekileri korumak için rüzgar türbinini otomatik olarak durdurur. Rüzgar fırılacağından gelen sinyaller, rüzgar türbini elektronik kontrolcüsü (elektronik controller) tarafından alınarak, rota mekanizması (yaw mechanism) yardımıyla rüzgara karşı türbini döndürmek için kullanılır [24].



Resim 3.3. Anemometre (anemometer) ve rüzgar fırılacağı (wind vane)

Kule (tower)

Rüzgar türbinlerinde kafes veya boru biçiminde olmak üzere iki temel kule tipi vardır. Boru biçiminde olan kuleler genelde görünüm itibariyle daha uygundur. Kuleler çelik kafes, çelik konik boru, çelik silindir, beton konik boru ya da silindir biçiminde yapılmaktadır. Kafes kulelerin dışındaki konstrüksiyonlar iki ya da üç parçalıdır. Kafes kule ucuzdur ancak görüntü kirliliği nedeni ile hemen hemen terk edilmiştir. Rotor 3-26 ton, gövde 10-56 ton ve kule ağırlığı 12-88 ton arasında değişmektedir. Rüzgar hızı yükseklikle arttığından, aynı çaplı bir rüzgar rotorunun daha yüksek kuleye yerleştirilmesi ile elde edilebilecek güç artmakta ise de, kule ağırlığının ve maliyetin artması bir sınır koymaktadır [24].



Resim 3.4 Kule girişı



Resim 3.5. Konik boru şeklinde kule

Elektrik generatörleri (Electrical generator)

Üç tip generatör yaygın olarak kullanılır;

- DC generatör,
- Senkron generatör (veya alternatör),
- İndüksiyon generatör (veya asenkron generatörler).

Küçük güç sistemlerinde eskiden çok fazla kullanılan doğru akım generatörleri şimdi genellikle senkron veya indüksiyon generatörlerle değiştirilmektedir. Bu generatörler, çok pahalı olmayan doğrultucular yardımı ile kolayca doğru akıma dönüştürülebilen alternatif akım üretir. Senkron ve asenkron generatörler orta ve büyük güçlü sistemlerde yaygın olarak kullanılırlar.

Senkron generatörün doğru akım generatörüne göre avantajı veriminin yüksek olması ve bir doğru akım generatörüne göre daha düşük dönme hızında elektrik verebilme özelliğidir. Bunun yanında senkron generatörler daha yüksek hızlarda elektrik üretirler.

İndüksiyon generatörlere oranla senkron generatörlerin, kendi mıknatıslanma akımını sağlama avantajı vardır, fakat daha pahalıdırlar ve kontrol sistem bağlantıları daha karmaşıktır. Bir kontrol sisteminde takometre, voltmetre, fazmetre, şebeke ile bağlantı sağlayan otomatik cihaz ve rüzgar kesildiğinde veya şebeke gerilimi sıfıra düştüğünde bağlantının kesilmesini sağlayan ters güç rölesi bulunur. Senkron generatörün şebekeye bağlantısı hassas bir düzenleme ister ve bu işlemin sık sık yapılması gerektiği için sorunlar ortaya çıkar. Generatör şebekeye tam senkron hızda, senkron generatör gerilimi şebeke gerilimi ile aynı fazda ve değerde iken bağlanmalıdır. Bu zorlukların üstesinden büyük damperler kullanılarak gelinebilir. Damperler senkron generatöre indüksiyon motor gibi yol verilmesini sağlayan sincap kafes

şeklinde bobinlerdir. Şebekeye bağlantı yapıldığında oluşabilen salınımların azaltılmasını veya bastırılmasını sağlarlar.

En ucuz ve en güvenilir çözüm olarak indüksiyon çözüm görünmektedir. Bu generatörlerin bir çok avantajı vardır. Bunlar;

- Tesisi ucuzdur,
- Dönen kontaklar yoktur, bu nedenle başlatma kolaydır,
- Şebekeye bağlantı kolaylığı vardır,
- Şebekeye bağlandığı zaman salınımlar oluşmaz.

İndüksiyon generatörler, 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.

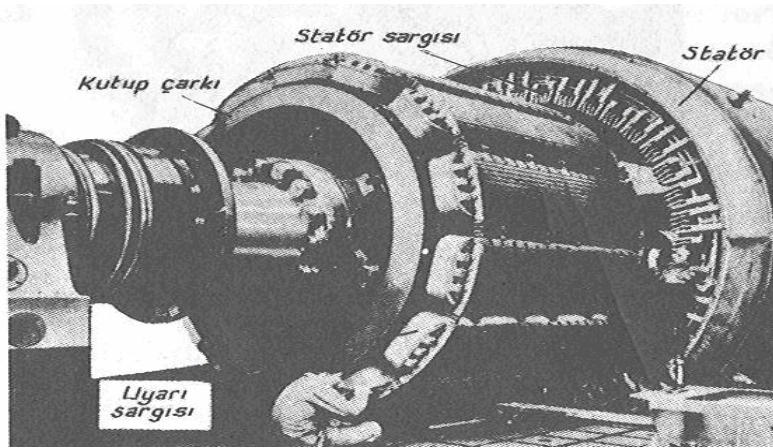
İndüksiyon generatörün dezavantajı mıknatıslanma akımını şebekeden çekmesi böylelikle reaktif güç tüketmesidir. Bu küçük sorun uçlara kapasitörler bağlanarak giderilebilir. Kapasitörlerin kullanılması şebekeden çekilen reaktif gücün azaltılmasını sağlar.

Rüzgar türbini tarafından generatörü sürmek için verilen mekanik güç $P'(N)$, generatör kayıplarının (mekanik ve magnetik kayıplar) ve dişli kutusundaki mekanik kayıpların generatör gücüne eklenmesiyle bulunabilir [25].

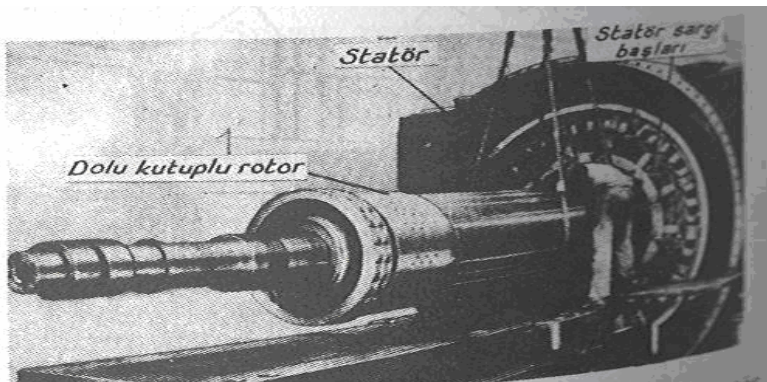
$$P'(N)=P(N)+P_{\text{generatörkayıp}}+P_{\text{dişlikutusu}} \quad (3.5)$$

Senkron generatör

Rotor, düşük devirli senkron jeneratörlerde dik ya da yatay ve yüksek devirli senkron generatörlerde daima yatay konumludur. Rotor üzerinde bir uyarı sargısı bulunur. Bu uyarı sargısından doğru akım geçirilmektedir. Doğru akım uyarı sargısına rotor üzerinde bulunan döner bilezikler yardımıyla verilir. Manyetik rotor malzemesi çelikten yapılmıştır. Devir sayısı küçük olan rotorlar üzerleri oyulmuş saç paketleri ya da som çekirdek halindedir. Yüksek devirlerde kullanılan rotorlar dolu kutuplu rotor halinde yapılır [26].



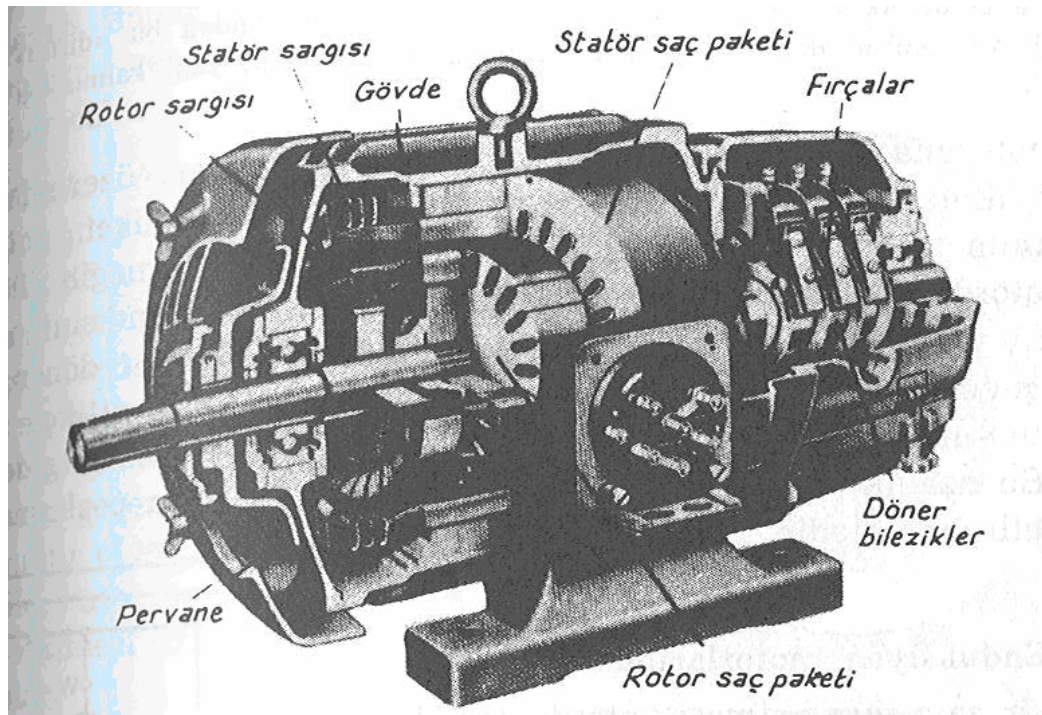
Şekil 3.9. Düşük devirli bir senkron generatör



Şekil 3.10. Yüksek devirli bir senkron generatör

Asenkron generatör

Bir kuvvet makinası tarafından elektrik makinasının rotoru, stator döner alanı yönünde ve stator döner alanından daha hızlı bir şekilde döndürülürse, rotor içinde gerilim endüklenir. Rotor sargıları kısa devre edilmiş ise endüklenen bu gerilimler rotor akımlarını ve bunun sonucu rotor döner alanını ortaya çıkarır. Rotor döner alanı rotor dönme yönünün aksi yönünde döner. Rotorun, stator döner alanından daha hızlı dönmesine rağmen, rotor döner alanı stator döner alanına göre olan durumunu sürekli korur. Rotor döner alanı stator döner alanından devamlı ileride olup stator sargıları üzerinde gerilimler endükler [26].

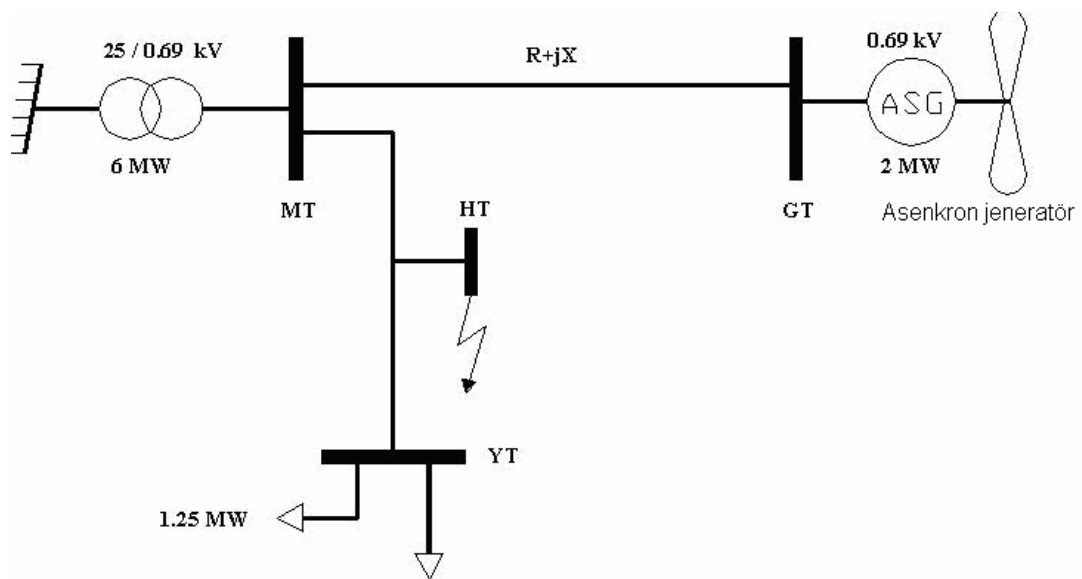


Şekil 3.11. Asenkron motor

Izgara (grid) bağlantısı

Büyük rüzgar türbinlerinde (100 veya 150 kW üzeri) türbin tarafından üretilen voltaj, ekseriya 690 V ve 3 fazlı alternatif akımdır. Bu akım, lokal elektrik

gridindeki standarda bağlı olarak, sonradan dönüştürücü (transformer) vasıtasıyla yakınındaki rüzgar türbinine voltajı yükseltmek için, (veya kule içine) 10 000 ve 30 000 V arasındaki bir yere gönderilir. Büyük üreticiler, 50 Hz lik rüzgar türbin modellerini (dünyanın çoğundaki elektrik gridleri için) ve 60 Hz lik modelini (Amerika'daki elektrik gridleri için) desteklerler [24].



Şekil 3.12. Rüzgar türbininin şebekeye bağlanması



Resim 3.6. Yükseltici harici tip trafo

4. RÜZGAR TÜRBİN ÖMRÜ, BAKIMI VE GÜVENLİĞİ

4.1. Türbin Ömrü

Günümüzde 20-25 yıldan daha fazla çalışan türbin olmadığı için kesin bir ömür verilmemekle birlikte, beklenen türbin ömrünün 25-30 yıl olabileceği düşünülmektedir. Dünyada bugün için yaklaşık 30 000 türbin çalıştığı bilinmektedir. Rüzgar türbinlerinin kanatları cam elyafı (fiberglass) polyester malzemeden, nadiren de tahtadan yapılmaktadır. Kuleler ise; çelik boru şeklinde, kafes tipi veya betondan üretilmektedir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan rüzgar türbinleri yaklaşık 3-5 m/s de çalışmaya başlar. Maksimum güce yaklaşık 15 m/s 'de ulaşır ve yaklaşık 25 m/s 'ye ulaştığı zaman çalışmayı durdurur. Kanatlar dakikada yaklaşık 15-50 kez döner, ancak değişken kanat hızlı türbin çeşitlerinin sayısı giderek artmaktadır. Türbinlerdeki 20 yıllık tasarım ömrü üreteçler tarafından belirlenmektedir. Ancak gerçek ömür hem türbin kapasitesine hem de lokal klimatolojiye bağlıdır. Örneğin, sitedeki türbulans miktarı gerçek ömrü önemli oranda belirleyen değişkendir [27].

4.2. Türbinlerin Bakımı

Modern rüzgar türbinleri 20 yıllık ömürlerinde 120 000 saat çalışacak şekilde tasarlanırlar. Bu süre, bir otomobilin 4000-6000 saatlik çalışma aralığından çok daha fazladır. Pratikteki deneyimler, yeni türbinlerde bakım maliyetlerinin de azaldığını göstermektedir. Danimarka'da 1975'den beri kullanılan 4400 türbin üzerinde yapılan çalışmalar, yeni üretim türbinlerin bakım ve onarım maliyetlerinin, eski üretim türbinlerin bakım ve onarım maliyetlerinden oldukça düşük olduğunu göstermektedir. Eski Danimarka türbinlerinin yıllık bakım maliyetleri, türbin yatırım maliyetinin %3'ü dolayındadır. Yeni üretim türbinlerde ise bu oran, yatırım maliyetlerinin %1,5-2,0'si dolayındadır. Tek türbinin bakım maliyeti, bir rüzgar parkındaki türbinlerin ortalama bakım maliyetinden daha pahalı olmaktadır. Bazı rüzgar türbini parçaları bozulmaya ve değiştirilmeye, diğer parçalardan daha çok maruz kalırlar. Bu, özellikle rotor kanatları ve vites

kutusunda görülür. Özellikle kanatlar, vites kutusu ve üreteç, türbin fiyatının % 15-20 arasında değişen kısmını oluşturmaktadır [27].

4.3. Türbin Güvenliği

Büyük modern rüzgar türbinlerinde normal olarak konik çelik boru şeklinde kuleler kullanılır. Bu kulelerin kafes kulelere göre en büyük üstünlüğü, daha güvenli olması ve rüzgar türbininin bakım ve onarımının personel tarafından daha rahat ve güvenli yapılmasını sağlamasıdır. Kusuru ise, maliyetinin yüksek olmasıdır. Kafes tipi kulelerin en büyük kusurları, rüzgar çiftliğine daha az uygun olması ve bakım onarım sırasında yanına ulaşılabilirliğin zor olmasıdır. Bakım, onarım ve servis için güvenlik açısından bazı sakıncalar içermektedir. Kule yüksekliğinde, türbinleri kurarken ve bakım-onarım çalışması yaparken tehlikeli sonuçlar doğurabilir. Fakat yeni rüzgar türbinlerinde personelin düşmemesi için inerken ve çıkarken her türlü güvenlik önlemi alınmıştır. Bakım anında makinelerin tamamen durdurulması gerekmektedir. Kritik parçaların bozulması durumunda veya şebekeden ayrılma durumunda, rotorun ve türbinin durması gerekmektedir. Bu durma olmazsa, rotor çok kısa sürede hızlanmaya başlayacaktır. İşte bu durumlarda aşırı hızlanma koruması olmalıdır. Yeni modern türbinlerde bu önlem vardır [27].

5. ÇEVRESEL ETKİLER

Rüzgar enerjisi temiz bir kaynaktır. Bugün dünyanın en önemli çevre sorunu atmosferdeki CO₂ (karbondioksit) artışından ve sera etkisinden kaynaklanan küresel ısınmadır. Oysa rüzgar santralleri CO₂ emisyonu olmayan santrallerdir. Rüzgar enerjisi ile elektrik üretimi yöntemi, çevre dostu, asit yağmurlarına yol açmayan, CO₂ emisyonunu azaltan, fosil yakıt tasarrufu sağlayan, radyoaktif etkisi olmayan bir yöntemdir [27].

Rüzgar türbini gürültüdür ve kuş ölümlerine neden olur, radyo ve tv alıcılarında parazitlenme yaparlar. Bu nedenle İngiltere başta olmak üzere birçok Avrupa ülkesinde büyük rüzgar türbinlerinin yarattığı çevre sorunları nedeniyle milli park alanlarının sınırları içine ve çok yakınlarına kurulması yasaklanmıştır [28].

5.1.CO₂ (Karbondioksit) Salınımı

Karbondioksit (CO₂) kömür, petrol ve (daha az ölçüde) doğal gaz yanması sonucu kaçınılmaz olarak oluşan bir yan üründür. Sonuç olarak, bu gazın atmosfer içindeki konsantrasyonu endüstri devriminden bu yana %30 artmıştır ve bilim adamları küresel iklime insan etkisinin izlenebilir olduğu sonucuna varmışlardır. Karbondioksit ve diğer sera gazlarının süregelen birikimi enfeksiyon hastalıklarının giderek yayılması , daha sık ve ciddi ısı dalgaları, fırtınalar, kuraklık, sel ve deniz seviyelerinin yükselmesi sonucu kıyıların su baskınına uğraması, ekonomik ve sosyal yıkım riskleri oluşturan ekosistemlerin tahribi dahil olmak üzere pek çok olumsuz etkileri ile insan sağlığını ve varlığını tehdit etmektedir [28].

Rüzgar türbinleri CO₂ emisyonunun azaltılmasında son derece önemlidir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan 500-600 kW'lık bir türbin yılda ortalama 1,1 milyon kWh enerji üretmektedir. 1 kWh'lık bir enerji üretmek için fosil kökenli yakıtlarda yaklaşık 0,7 kg CO₂ emisyon ortaya çıkmaktadır.

Dolayısıyla belirtilen bir türbin yılda 1,1 milyon kWh'lik bir enerji üretirken, her yıl yaklaşık 750 ton CO₂ salımını önlenmiş olacaktır [27].

5.2. Rüzgar Enerjisinde Kara Kullanımı

Rüzgar enerjisi parklarının geniş alan istemesi bir sorun gibi gözükebilir. Tek türbin açısından bakıldığında alan gereksinimi 700-1000 m²/MW düzeyindedir. Rüzgar parklarının birim kurulu güç başına toplam alan gereksinimi ise, bunun 150-200 katı üzerinde olup, tarla özgül alanı 0.1-0.2 km²/MW (150x700=105 000 m²/MW, 200x1000=200 000 m²/MW) arasındadır. Ancak rüzgar tarlalarında türbinlerin kapsadığı gerçek alan, park toplam alanının %1-1.2'si kadardır. Türbinlerin aralarında tarımsal amaçlarla kullanılabildiğinden, arazi kaybı söz konusu değildir. Bir rüzgar santrali ile bir hidroelektrik santralinin kara kullanım miktarları hem kurulu güç hem de enerji üretimi açısından Çizelge 5.1'de verilmiştir [27].

Çizelge 5.1.Kara kullanımı

	Kurulu güce göre arazi kullanımı (km ² /GW)	Üretilen enerjiye göre arazi kullanımı (km ² /GWh)
Hidro	160-9000	0.75
Rüzgar	47-160	0,12

5.3. Rüzgar Santrallerinde Su Tüketimi

Alışlagelmiş enerji üretiminde su, termodinamik çevrim, kömürün temizlenmesi ve yanma sürecinde kullanılır. Kullanım miktarları Çizelge 5.2 'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Santrallerde su tüketimi

Nükleer	2,3	litre/kWh
Kömür	1,9	litre/kWh
Petrol	1,6	litre/kWh
Kombine çevrim	0,95	litre/kWh
Rüzgar	0,004	litre/kWh

Böylece rüzgardan birim elektrik enerjisi üretiminde nükleerden 600 kat daha az, kömürden 500 kat daha az su tüketildiği görülür. Rüzgar türbinlerinin rotor kanatlarının toz ve pislikten temizlenmesi için su kullanılır. Temizlik yapılmaz ise türbinin ömrü azalır. Rüzgarda su kullanımı, 250 kW'lık türbin için %25 kapasite çarpanı dikkate alınarak kanatların yılda 4 kez temizlenmesine göre hesaplanmıştır [27].

%25 kullanılan sudur. Yılda 4 kez temizlenirse $\%25 \times 4 = 1$ litre harcanır. 250 kW'lık türbin için yılda 1 litre su kullanılırsa, 1kW için $1/250 = 0,004$ litre su kullanılır.

5.4. Kuşlar ve Rüzgar Türbinleri

Kuşlar sık sık yüksek gerilim hatları, direkler ve bina pencereleri ile çarpışırlar. Kuşlar nadiren rüzgar türbinleri tarafından sıkıntıya uğrarlar. Ancak, kuş çarpması ve ölümünün en çok gerçekleştiği yer ABD'deki "altomont Pass" rüzgar parkı olmuştur. Aslında yapılan araştırmalar, yüksek gerilim hatlarının ve rüzgar parkından gelen ara hatların kuşlar için rüzgar santralinin olduğu yerden daha tehlikeli olduğunu göstermiştir. Bazı kuş türleri diğerlerine göre rüzgar türbinlerine daha çabuk alışmaktadırlar. Buna rağmen kuş sığınakları ve kuşların toplu yaşadıkları yakın yerlere rüzgar parkı kurulmasına dikkat edilmeli ve önemli kuş göç yolları rüzgar santrali kurulmasında dikkate alınmalıdır.

Deniz-üstü rüzgar türbinlerinin özellikle su kuşlarına herhangi bir olumsuz etkisi saptanmamıştır [27].

5.5. Mekanik Gürültü Salınımları

Mekanik gürültü, dişli kutusu, jeneratör ve yedek motorların oluşturduğu gürültüdür. Mekanik gürültü, akustik kılıfların kullanılması, özel dişlilerin kullanılması ve dönen parçaların ses emici malzeme ile kaplanması gibi birçok teknik kullanılarak azaltılabilir [27].

5.6. Rüzgar Türbinlerinde Ses

Aerodinamik gürültü, hava içinde dönen kanatların hızına bağlı olarak artar. Rüzgar santralı içerisindeki ses, geliştirilmiş türbinlerin bulunduğu ortamda bile 85 dB kadardır. Rüzgar türbinleri yerleşim yerlerine yakın kurulursa, bu yerleşimin insanlar üzerinde görüntü ve gürültü etkileri olur. Ancak, 500 kW'lık bir türbinin 8 m/s rüzgar hızında, yaklaşık 250 m uzaklıkta yapacağı gürültü, olağan gündüz gürültüsüne eşdeğerdir. Dünyanın çeşitli rüzgar santrallerinin olduğu yerlerde yapılan araştırmalar, rüzgar parkına 2-3 km uzaktaki insanların %50'sinden fazlasında gürültünün herhangi etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir [27].

6. TÜRKİYE'DE RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİ

Dünyanın birçok yerinde olduğu gibi Türkiye'de de rüzgar enerjisinden ilk yararlanmalar yel değirmenleri vasıtasıyla olmuştur. Bunun en yaygın kullanıldığı yer bugün bile yel değirmeni olarak bilinen İstanbul'un Kadıköy ilçesindeki bir mahalledir. 1940 yıllarında bazı küçük köylerin elektriklelenmesinde rüzgar enerjisini kullanıldığı bilinmektedir. Daha sonra, yedek parça sorunu olduğu için bu faaliyetler önemini kaybetmiştir. Ancak 1961 yılında yapılan bir envanter çalışması Türkiye'de 718'i kuyudan su çekmek ve 41'i ise elektrik üretmek için toplam 759 adet rüzgar türbininin kullanıldığını göstermiştir [2].

Ülkemiz rüzgar potansiyeli bakımından şanslı bir konumdadır. Bunda gerek orta enlemlerde olması, gerekse üç tarafı denizlerle çevrili olmasının etkileri vardır. Türkiye'nin yıllık ortalama rüzgar hızı 2,54 m/s ve rüzgar gücü yoğunluğu 10 m yükseklikte 24 W/m² olarak bulunmuştur [22].

Çizelge 6.1.Türkiye'deki rüzgar santralleri [30]

Santralin adı	Kuruluş yılı	Gücü (MW)	Yeri
Delta Plastik Otoprodüktör	1998	1,5	İzmir - Çeşme - Germiyan
ARES Güçbirliği Holding yap-işlet-devret	1998	7,2	İzmir – Çeşme - Alaçatı
BORES Demirer Holding yap-işlet-devret	2000	10,2	Çanakkale -Bozcaada
Sanjüt Sanayi Otoprodüktör	2003	1,2	İstanbul - Çatalca
Türkiye Toplamı :		20,1	

İzmir-Alaçatı'da 12 adet 600 kW'lık türbin bulunmaktadır. Her bir türbinden elde edilen 690 V'luk gerilim, yükseltici trafolarla 34,5 kV'luk gerilime

yükseltilmektedir. 2 ring mevcuttur ve bu ringler birleşerek Alaçatı'daki trafo merkezine enerji sağlıyor. Trafo merkezine satılan enerji sayaç vasıtasıyla tespit edilmektedir. Kanatların çapları 44 m, kule yüksekliği 45 m, göbek kısmının yüksekliği 5 m, türbinin toplam ağırlığı 80 ton kadardır. Her bir türbine isim verilmiştir. Bunlar; Serra, Elif, Nihan, Gizem, Melis, Sibel, Banu, Müge, Selin, Nergis, Yonca ve Neslihan'dır. Bu türbinlerdeki bilgiler (rüzgar hızı ve yönü, üretilen güç, arıza durumu) ağ vasıtası ile teknik personelin bilgisayarına aktarılıyor. İş gücü yönünden çok ekonomik olan bu santralde 2 teknik, 5 güvenlik olmak üzere toplam 7 kişi çalışıyor.



Resim 6.1. ARES şalt merkezinin ve personelin bulunduğu tek katlı bina



Resim 6.2. ARES şalt merkezi

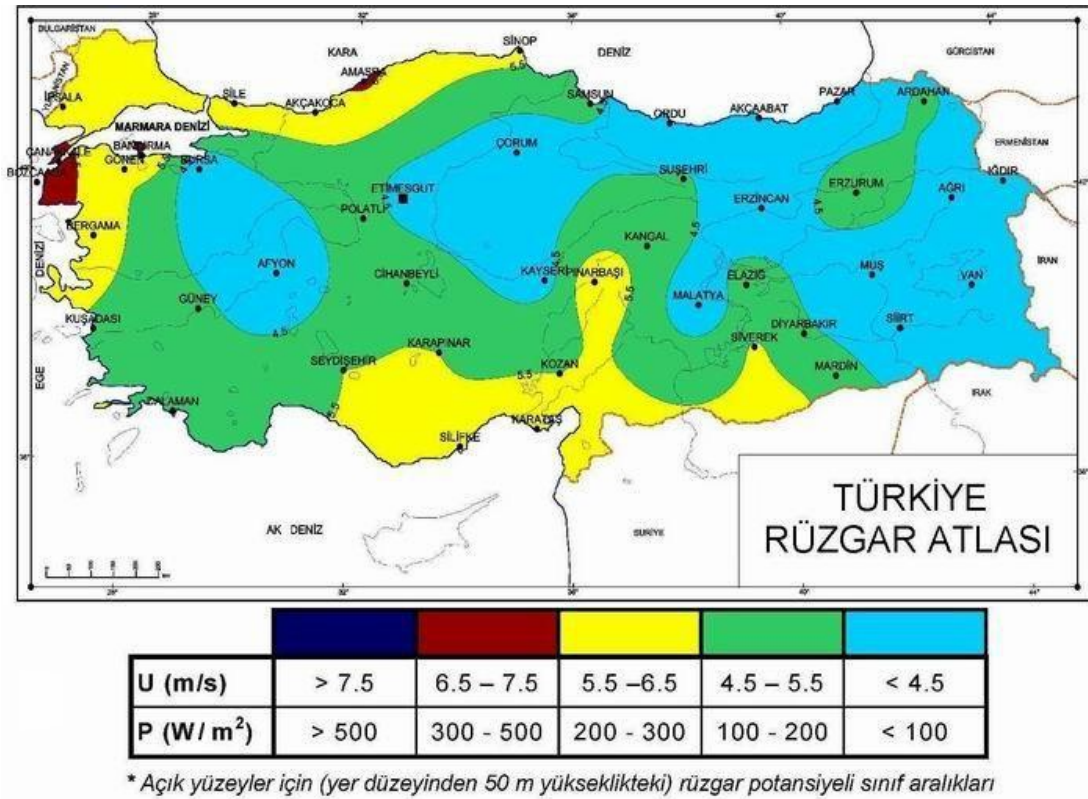


Resim 6.3. 1.grup ring çıkış



Resim 6.4. TEDAŞ 3'lü kombine ölçü sayacı

Çeşme-Germiyan rüzgar çiftliğinde 3 adet rüzgar türbini vardır. Bunların güçleri 500 kW, kanat çapları 40,3 m'dir. Çanakkale-Bozcaada rüzgar çiftliğinde de 17 adet türbin vardır. Bunların güçleri 600 kW, çapları 44 m'dir.



Harita 6.1. Türkiye'nin rüzgar atlası

Rüzgar atlası istatistikleri elde etmek için Danimarka Meteoroloji Teşkilatı'nın Riso Meteoroloji laboratuvarında hazırlanmış ve geliştirilmiş olan ve Avrupa Rüzgar Atlasının hazırlanmasında da kullanılan WA^SP (Wind Atlas, Analysis and Application Program) paket programı kullanılmıştır. Bu program, dört değişik girdi bilgisini kendi alt modellerinde değerlendirerek, bölgesel rüzgar atlası istatistiklerini hesaplamaktadır. WA^SP'in kullandığı temel bilgiler şunlardır [31];

- Saatlik rüzgar verisi,
- Bölge pürüzlülük bilgileri,
- Yakın çevre engel bilgileri,
- Bölgenin topoğrafyası.

6.1. Türkiye’de Rüzgar Enerjisi Yatırımları

Çizelge 6.2. Ülkemizde şu andaki mevcut rüzgar enerjisi yatırımları [20]

Projenin Adı	Yeri	Gücü (MW)
Sözleşmesi imzalanan rüzgar projesi		
Çeşme Alaçatı Rüzgar Santrali (ARES A.Ş.)	İzmir-Çeşme-Alaçatı	7.2
Sözleşme görüşmesi süren rüzgar projesi		
Kocadağ Rüzgar Santrali (As Makinsan)	İzmir-Çeşme-Kocadağ	50.4
Fizibilite raporu değerlendirilen rüzgar projeleri		
Bozcaada Rüzgar Santrali (Genel Enerji-Yeni Gün İnşaat)	Çanakkale-Bozcaada	5
Çanakkale Rüzgar Santrali (As Makinsan)	Çanakkale	30
Bozcaada Rüzgar Santrali (Demirer Holding A.Ş.)	Çanakkale-Bozcaada	10.2
Revize fizibilite raporu beklenen rüzgar projeleri		
Akhisar Rüzgar Santrali (Ak-En Enerji -SASAŞ İnşaat)	Manisa-Akhisar	12
Gökçeada Rüzgar Santrali (Simelko)	Çanakkale-Gökçeada	1.62
Fizibilite raporu beklenen rüzgar projeleri		
Akhisar Rüzgar Santrali (Demirer Holding)	Manisa-Akhisar	30
Datça Rüzgar Santrali (Demirer Holding)	Muğla-Datça	30
Mazıdağ Rüzgar Santrali (Demirer Holding)	İzmir-Çeşme-Alaçatı	39
Hacıömerli Rüzgar Santrali (Demirer Holding)	Aliağa-İzmir	45
Bodrum Rüzgar Santrali (Demirer Holding)	Muğla-Bodrum-Yalıkavak	19.8
Kocadağ Rüzgar Santrali (MAGE)	İzmir-Çeşme-Kocadağ	43.5
Yaylaköy Rüzgar Santrali (MAGE)	İzmir-Karaburun	15
Şenköy Rüzgar Santrali (Akfırat A.Ş.)	Hatay-Şenköy	12
Çeşme Rüzgar Santrali (Prokon)	İzmir-Çeşme	12
Yalıkavak Rüzgar Santrali (Atlantis Ticaret)	Muğla-Bodrum-Yalıkavak	15
Beyoba Rüzgar Santrali (Atlantis Ticaret)	Manisa-Akhisar-Beyoba	15
Lapseki Rüzgar Santrali (Atlantis Ticaret)	Çanakkale-Lapseki	15
Bandırma Rüzgar Santrali (Atlantis Ticaret)	Balıkesir-Bandırma	15
Datça Rüzgar Santrali (Atlantis Ticaret)	Muğla-Datça	15
Karaburun Rüzgar Santrali (Atlantis Ticaret)	İzmir-Karaburun	22.5
Başvuru raporu değerlendirilen rüzgar projeleri		
Karabiga Rüzgar Santrali (As Makinsan)	Çanakkale-Karabiga	15.0-30.0
Kapıdağ Rüzgar Santrali (As Makinsan)	Balıkesir-Erdek	20.0-35.0
Belen Rüzgar Santrali (Teknik Ticaret)	Hatay-Belen	20.0-30.0

Çizelge 6.2. (Devam) Ülkemizde şu andaki mevcut rüzgar enerjisi yatırımları [20]

Intepe Rüzgar Santrali (Interwind Ltd)	Çanakkale-Intepe	30
Intepe Rüzgar Santrali (SantaF A.Ş.)	Çanakkale-Intepe	13.2
Başvuru raporu sunulup, ölçümleri beklenen rüzgar projeleri		
Karabiga Rüzgar Santrali (Teknik Ticaret)	Çanakkale-Karabiga	5.0-7.0
Karabiga Rüzgar Santrali (Ak-En)	Çanakkale-Karabiga	12
Yellice Rüzgar Santrali (As Makinsan)	İzmir-Yellice Belen-Karaburun	70.0-100.0

Rüzgardan üretilen elektriğe, kirletici emisyonlar olmadan üretilecek elektriğin çevresel yararlarını yansıtan, hakça bir bedel ödenmesi ve iyi organize olmuş bir kurumsal alt yapı ve rüzgar enerjisinin planlama yönetmeliklerinin hazırlanması durumunda , Türkiye’de rüzgar enerjisi kurulu gücünün gelişiminde kolayca aşağıdaki hedeflere ulaşılabilecektir [29].

Çizelge 6.3 Türkiye’de rüzgar enerjisi için mümkün hedefler (YEKAB)

Yıl	Kurulu kapasite
2000	400 MW
2003	1400 MW
2005	5000 MW
2010	10 000 MW
2020	20 000 MW

Türkiye için kurulu güç hedefleri ve bu kurulu kapasitenin Türkiye Endüstrisi tarafından imalatı durumunda yaratılabilecek iş potansiyeli Çizelge 6.4’de verilmiştir.

Çizelge 6.4. Türkiye rüzgar endüstrisi tarafından yaratılacak iş potansiyeli

Yıl	Kurulu kapasite (MW) YEKAB-Hedefi	Yaratılan iş adam yıl
2000	400	8 000
2003	1400	28 000
2005	5000	100 000
2010	10 000	200 000
2020	20 000	400 000

Çizelge 6.5. Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın gelecek yıllar için öngördüğü kurulu güç kapasitesi içinde rüzgar enerjisi kullanımıyla oluşturulabilecek üretim kapasitesi payları

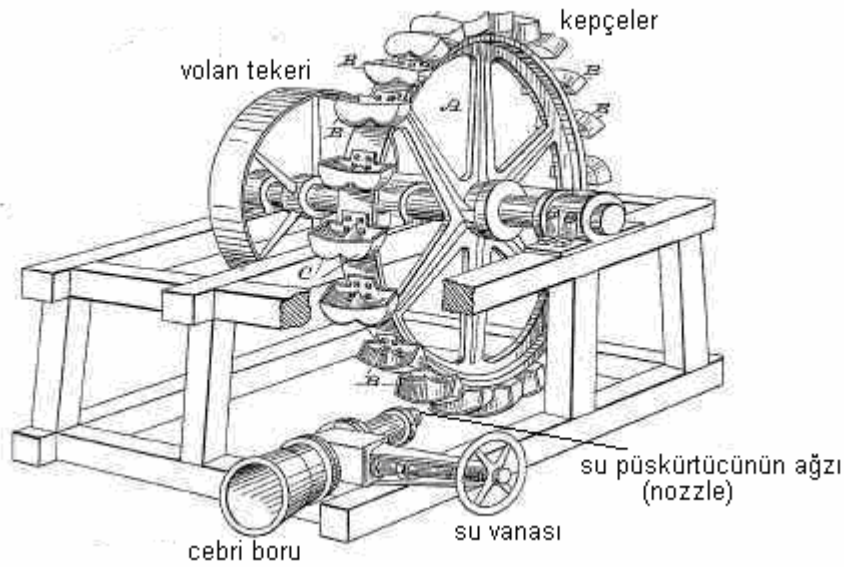
ETKB'nın elektrik kapasitesi öngörümü		YEKAB kurulu güç hedefleri esas alınarak
Yıl	Kurulu Kapasite	Toplam kurulu kapasitenin % si olarak rüzgar payı
2000	30 000	1,33
2010	65 000	15,38
2020	110 000	18,18

7. MATERYAL VE METOT

Tez için kullanılan deney mekanizmamızda; pelton tipi kanat, dişli çarklar, kayış kasnak mekanizması, alternatör (şarj dinamosu), akü ve ikaz lambası kullanılmıştır.

7.1. Pelton Tipi Kanat

Lester Pelton tarafından pelton tekerlik veya pelton türbin adı verilen su türbini icat edilmiştir. 1880 yılında su türbinin ilk patentini elde etti [32].



Şekil 7.1. Lester Pelton tarafından geliştirilmiş su türbini

Pelton türbinler, hidroelektrik santrallerde düşü yüksekliği 300 m den daha yüksek olan yerlerde kullanılır. Yani kısaca düşüm yüksekliğinin çok büyük ve işletme debisinin küçük olduğu yerlerde kullanılması tercih edilir. Küçük güçlerde yatay, büyük güçlerde ise düşey eksenli olarak planlanır. Basıncılı boruların uç kısmına yerleştirilen püskürtücülerden belli bir hızla çıkan su, çarkın çevresine yerleştirilen karşılıklı çift kepçelerin ortalarındaki keskin kısma çarparak iki eşit kısma ayrılır. Daha sonra kaşıkların yüzeyini takip

ederek geri döner ve kepçeyi terk eder, alta dökülür. Pelton türbinleri başlıca püskürtücü, saptırıcı, çark kepçeler ve gövde kısımlarından oluşur.

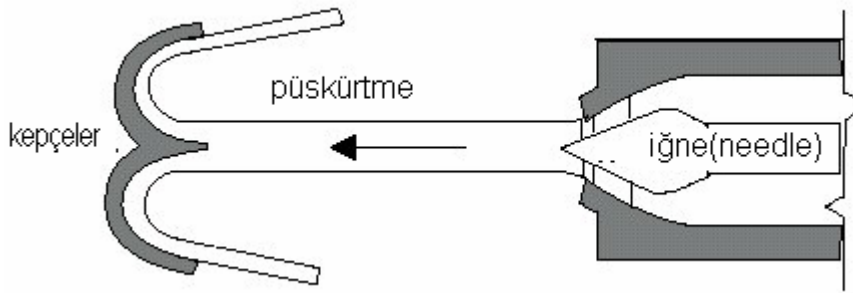
Gelen su bir enjektörle püskürtülür. Püskürtülen su kanatçıklara çarpmak suretiyle türbin döner ve mekanik enerji elde edilir. Püskürtülen su miktarı debi ile ayarlanarak su püskürtülür. Üretilen enerji püskürtülen su miktarına bağlıdır. Bu türbinlerin verimi yüksektir [22].

Pelton türbinlerinde giriş gücü (hidro elektrik santrallerinde) [33];

$$P_t = P_W \times f(P_n, P_d) \quad (7.1)$$

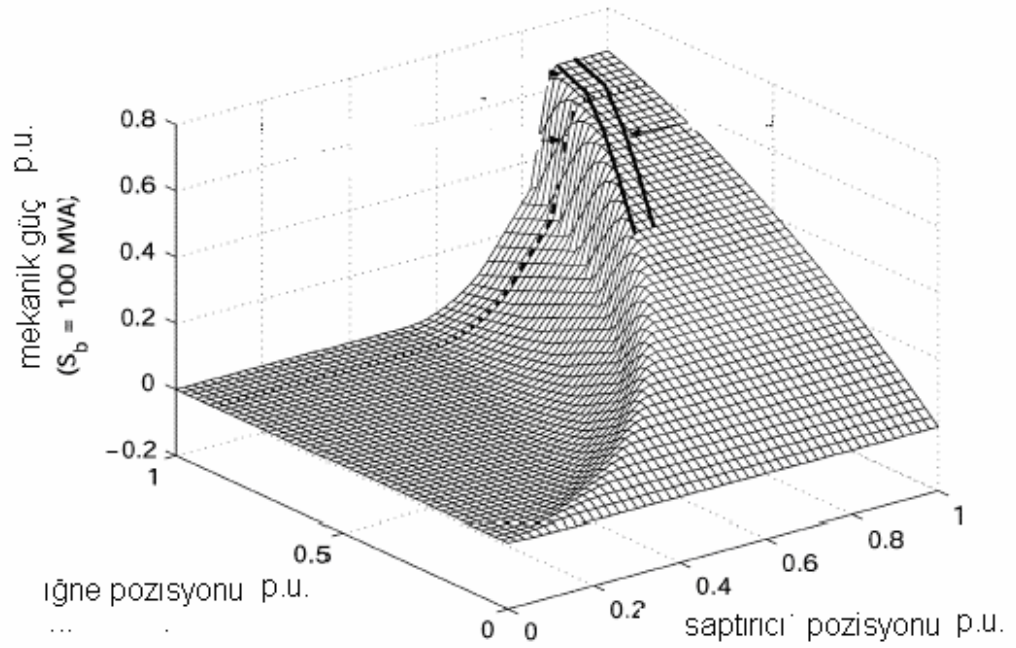
P_W = İğne püskürtücülerin mekanik gücü,

$f(P_n, P_d)$ = iğne(needle) pozisyonu P_n 'nin ve saptırıcı (deflector) pozisyonu P_d 'nin lineer olmayan bir fonksiyonudur.



Şekil 7.2. Pelton türbinin çalışma şekli

Şekil 7.3'de görüldüğü gibi iğne (needle) pozisyonu P_n 1-p.u. (Per-Unit: işletmedeki değer anma değeri ile oranlanır) anlamı bütün iğne (needle) çiftleri tamamen açık, maksimum su geçişine izin veriliyor. 0-p.u. pozisyonunun anlamı ise bütün iğne çiftler tamamen kapalı ve su akışı yoktur. P_d saptırıcı pozisyonu 1-p.u. anlamı, bütün saptırıcılar tamamen açık ve iğne püskürtücülerinin (needle jets) önüne geçer. 0-p.u. pozisyonunda ise, saptırıcılar tamamen kapalı ve türbin kepçelerinden su geri dökülür [33].



Şekil 7.3. İğne ve saptırıcı pozisyonun değişimi



Şekil 7.4. Pelton türbin (Hidro elektrik santrallerinde)

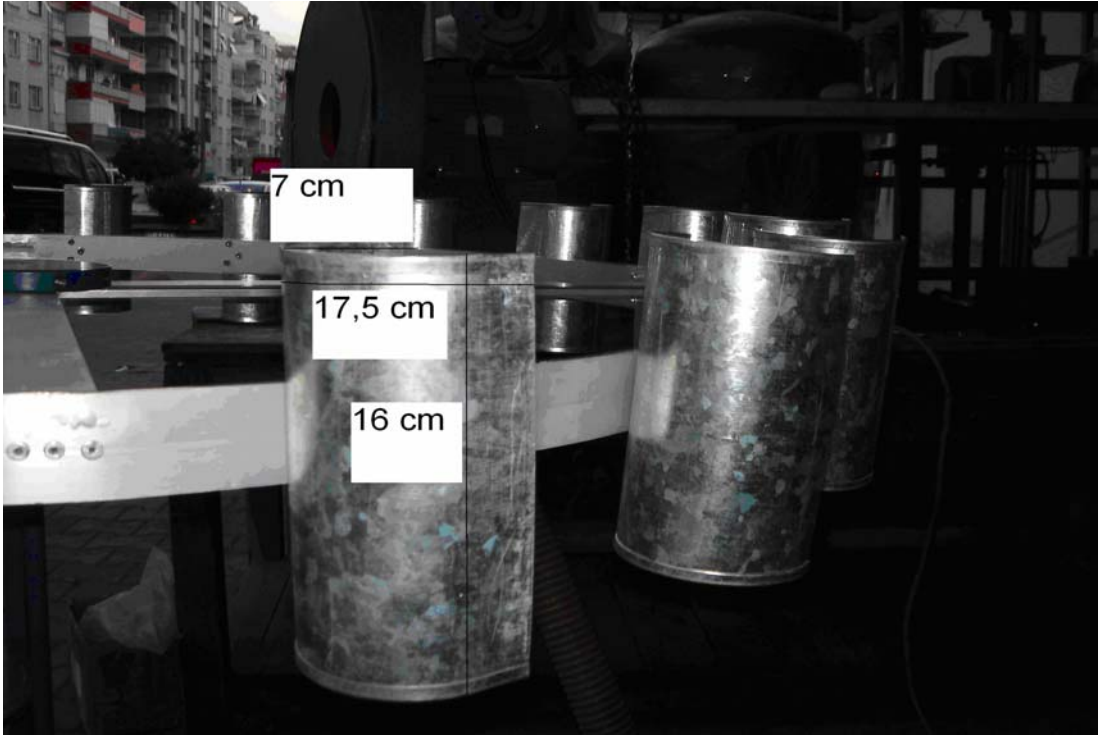
Kepçeli tip rüzgar türbinleri günümüzde elektrik enerjisi üretiminde kullanılmamaktadır. Eskiden su pompalamada ve değirmencilikte kullanılıyordu. Pelton tipi kanatların verimi çok düşüktür. Verim düşüklüğü nedeniyle fazla uygulama alanı bulamamıştır.

Pelton kanatların toplam ağırlığı 5 kg'dır. Bu ağırlık dişlileri ve kayış kasnak mekanizmasını döndürmek için yeterli değildir. Kayış kasnak mekanizmasındaki sürtünme momentinin döndürme momentinden daha büyük olması gerekmektedir. Ayrıca dişli çarklar dökme demirden imal edildiğinden, alüminyumdan yapılmış olan pelton kanatlar, sistemi çalıştırmakta zorlanmaktadır. Bu yüzden volan tekeri görevi gören dökme demirden göbek kullanılmıştır. Göbeğin çapı 12 cm'dir. Göbekten kepçelere kadar olan mesafe 45 cm'dir. Böylece kanadın çapı 102 cm olmaktadır. 18 adet kepçe kullanılmıştır. Kepçeler arası mesafeler 17,6 cm olarak belirlenmiştir. 17,5 cm x 16 cm boyutundaki alüminyum levha bükülerek kepçe elde edilmiştir. Kepçelerin yüksek hızlı rüzgara dayanabilmesi için üç yerinden vidalanmıştır.

Kuvvetli rüzgar, kepçenin içine çarparak pozitif bir moment oluşturur. Rüzgar, kanadın ters yüzeyinde ise negatif bir moment oluşturur ve pozitif moment büyük olduğundan dönme hareketi bu moment yönündedir. Pelton tipi kanatları döndürmek için, tamamen sürüklenme (drag) kuvvetinden faydalanılır.



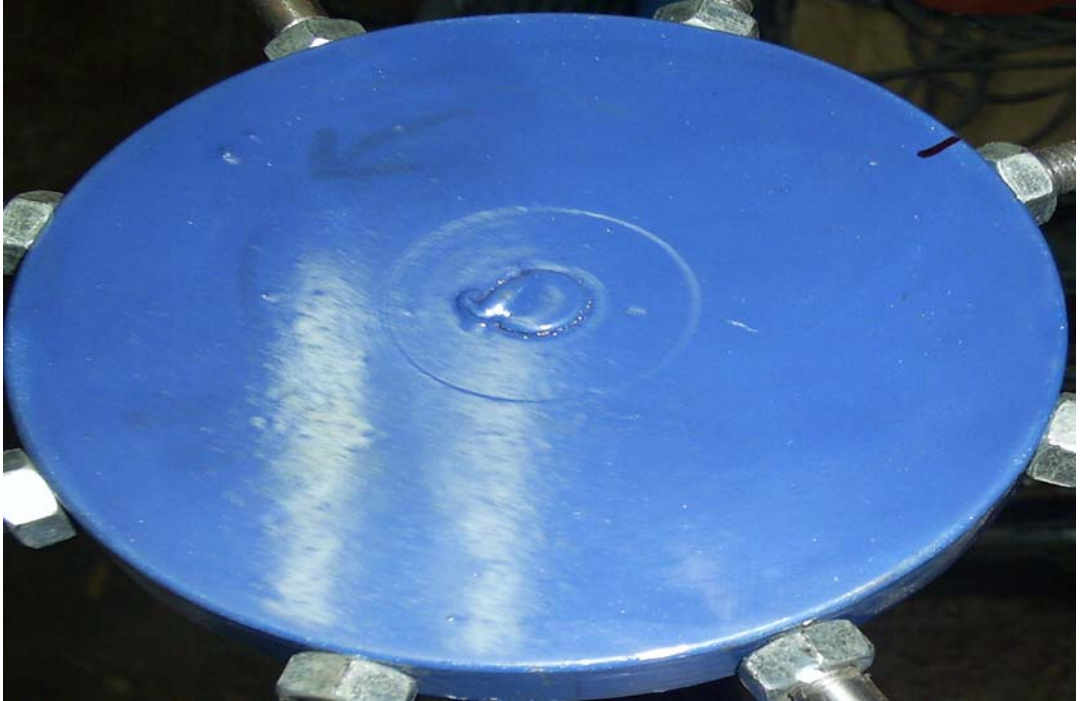
Resim 7.1. Pelton kanatlar



Resim 7.2. Kepçenin boyutları



Resim 7.3. Kepçelerin vidalanması



Resim 7.4. Volan tekeri görevi yapan göbek

7.2. Dişli Çarklar

Bir silindirin dış çevresine veya bir çemberin içine diş açılarak imal edilen elemanlara dişli çark denir. Dişli çarklarla, karşısında aynı şekilde işlenmiş başka çarkların dişleri temas ederek, aynı ve aksi yönde dönecek mekanizmalar meydana getirilir. Dişli çarklar, silindirin ve silindir üzerine açılan dişlilerin konstrüksiyonlarına göre sınıflandırılırlar. Silindir üzerine dişler; çarkın dönme eksenine göre paralel düz dişler, dönme eksenini keşişen eğik dişler ve silindir eksenini keşişen açı yapan helisel dişler şeklinde açılmaktadır [34].

Dairelerin yarıçapları r_2 ve r_1 olan bir dişli mekanizmasında dönüştürme oranı [34]:

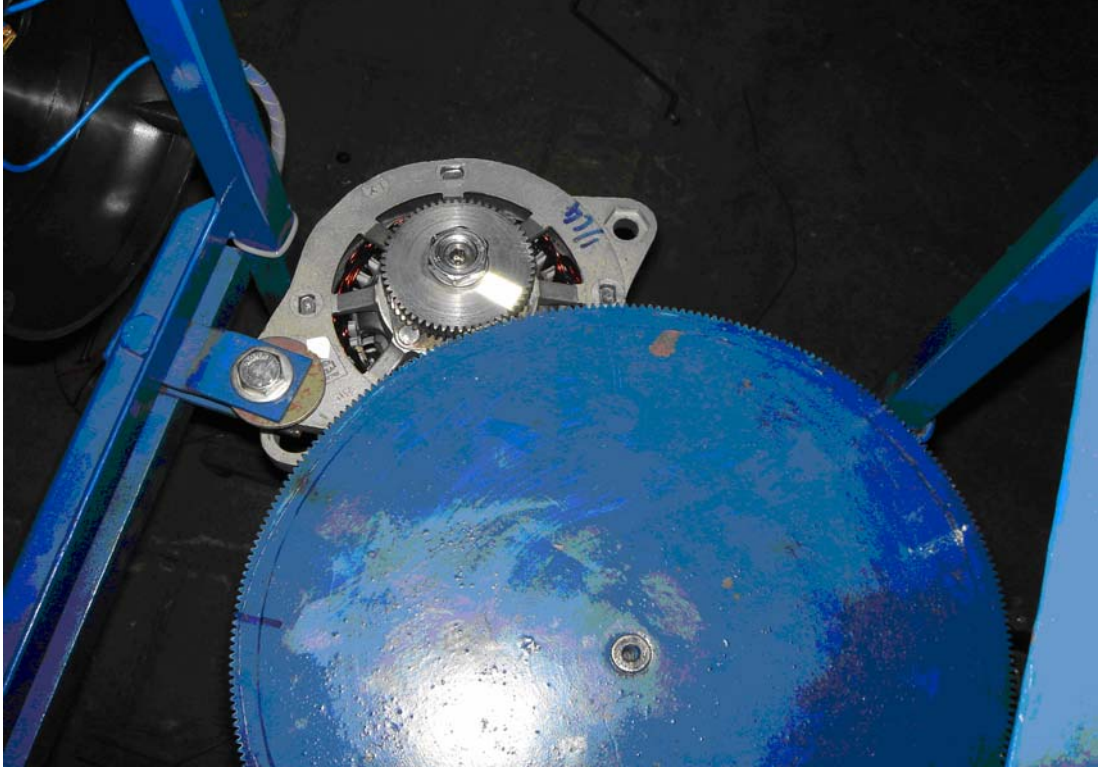
$$i = \frac{r_2}{r_1} \quad (7.2)$$

Bu sistemde silindirik düz alın dişli çarklar kullanılmıştır. Dairelerimizin yarıçapları şöyledir :

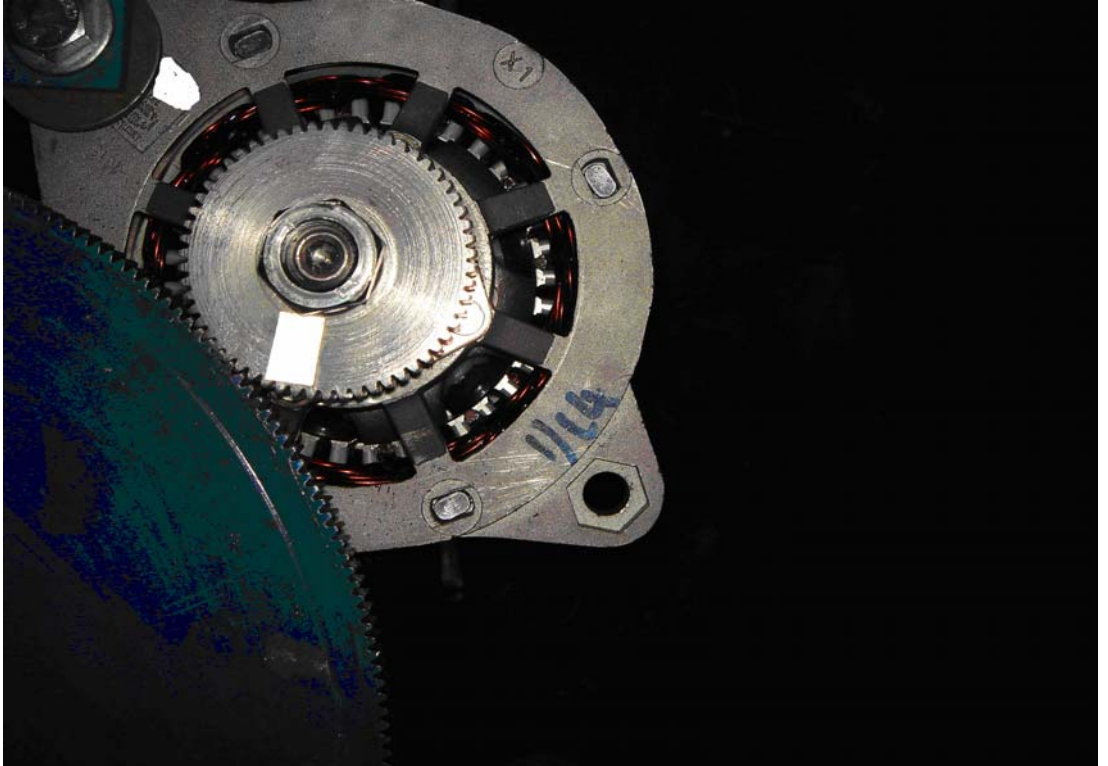
$$r_2 = 14 \text{ cm}$$

$$r_1 = 3 \text{ cm}$$

$$i = \frac{14}{3} = 4,66 \text{ olur.}$$



Resim 7.5. 14 cm ve 3 cm yarıçaplı dişliler



Resim 7.6. Rotor milini döndüren 3 cm yarıçaplı dişli

7.3. Kayış Kasnak Mekanizmaları

Kayış-kasnak mekanizmaları, kuvvet ve iş makinalarını kuvvet moment iletmek için birbirine bağlayan güç ve enerji iletim elemanlarından birisidir. Kayış kasnak sistemi oldukça uzak mesafelerde veya farklı ortamlardaki makinalar arasında kullanıldığı gibi bir kuvvet makinası ile birden çok iş makinasının tahrik edilmesine de imkan verir [34].

Bu deney aletimizde kasnaklar döküm olup, küçük çaplı olduğundan göbek ile çember arası dolu imal edilmiştir. Devir sayını arttırmak ve bir milden diğerine güç iletmek için kayış kasnak mekanizması kullanılmıştır.

Kayışlar, birden çok kasnaklar arasında çok çeşitli maksatlar için hareket içinde bağlantı kuran elemanlardır [34]. Bu sistemde düz sarılışlı kayış kasnak düzeni (iki kasnak aynı yönde dönüyor) kullanılmıştır.

Kasnağın iyi çalışması için kasnak hızları $V_1 = V_2$ birbirine eşit olması gerekir [34].

$$V_1 = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_1}{60} \quad (7.3)$$

$$V_2 = \frac{\pi \cdot d_2 \cdot n_2}{60} \quad (7.4)$$

Dönüştürme oranı;

$$i = \frac{d_2}{d_1} = \frac{n_1}{n_2} \quad (7.5)$$

d_2, d_1 =kasnak çapları

n_2, n_1 =kasnak devirleri

Kayış ile kasnak arasında sürtünme katsayısı şöyledir [34]:

$$\mu = \frac{F_S}{F_N} \quad (7.6)$$

Dönme olayı kayış ile kasnak arasında sürtünme momentinin döndürme momentinden büyük olması ile gerçekleşir. Kayışın kasnağı döndürebilmesi için kayışın kasnağa baskı uygulaması lazımdır. Onun için kayış kısa kesilmeli ve kasnaklara zorla takılmalıdır. Elastik özellikten dolayı baştaki sıkılık sonradan gevşer [34].

Resim 7.7'deki düz sarılışlı lastik kayışın elastik özelliğinden ve sürtünme kuvvetinden dolayı kayış sürekli kopmaktaydı. Bu yüzden bu sistem iptal edilmiştir.

$d_2 = 8 \text{ cm}$

$d_1 = 2,5 \text{ cm}$



Resim 7.7. Lastik kayışlı kasnaklar

Lastik kayış yerine zincir kullanılmıştır. Büyük dişli 38 diş sayısına, diğer dişli 12 diş sayısına sahiptir.

Dönüştürme oranı [34];

$$z_1 \cdot n_1 = z_2 \cdot n_2 \quad (7.7)$$

z_1, z_2 = diş sayısı

n_1, n_2 = devir sayısı

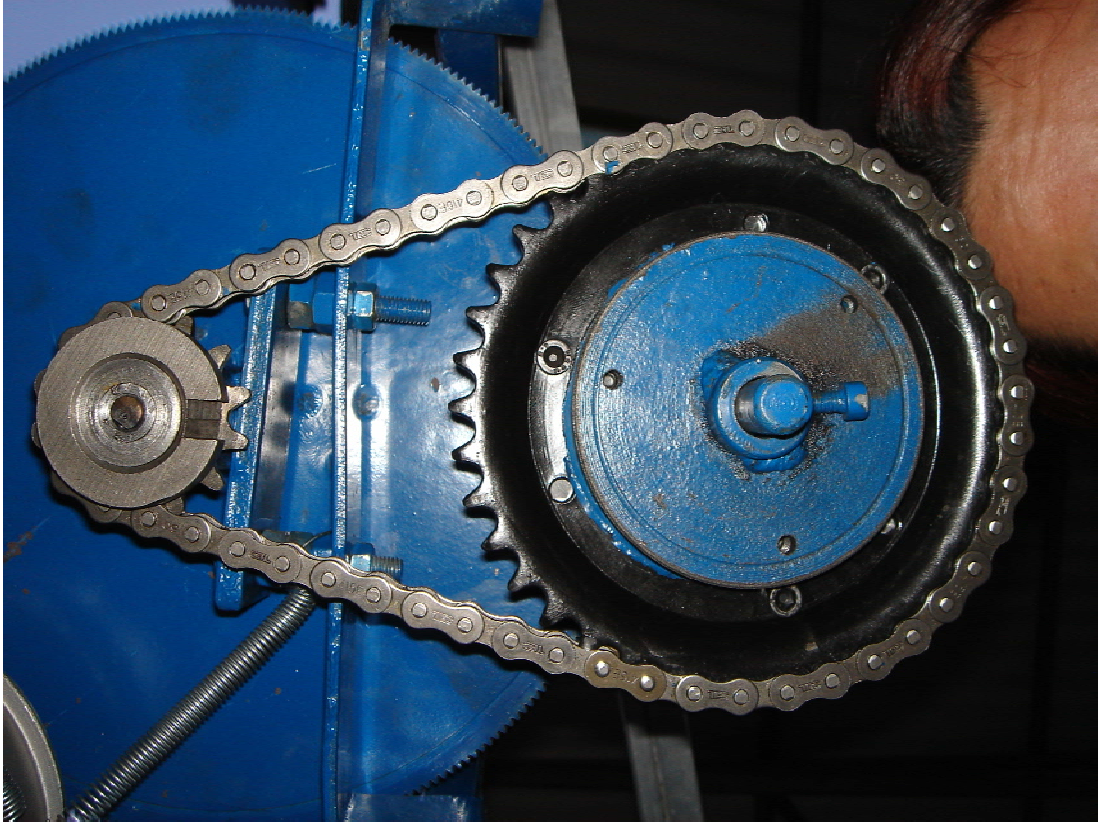
$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} \quad (7.8)$$

$$z_1 = 12$$

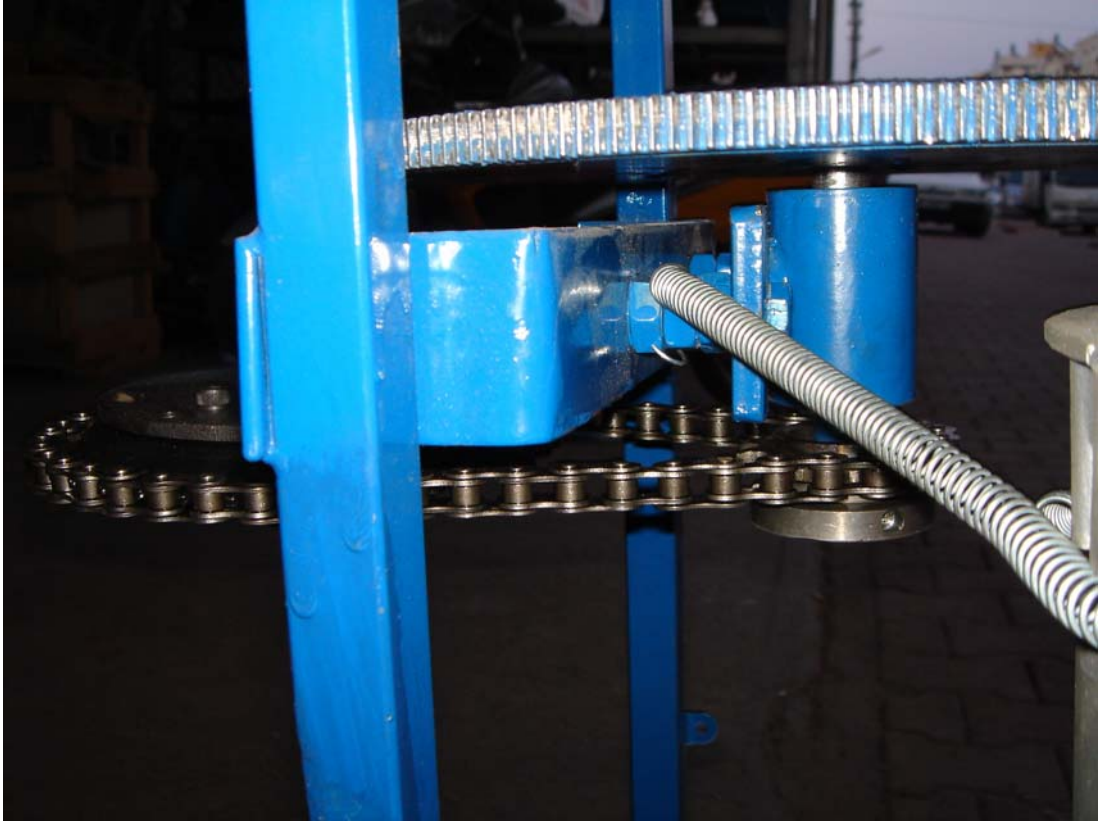
$$z_2 = 38$$

Dönüştürme oranı:

$$i = \frac{38}{12} = 3,16 \text{ olarak bulunur.}$$



Resim 7.8. Zincir kayış kasnak sistemi



Resim 7.9. Zincir kayışın yandan görüntüsü

Deney aletindeki dişliler ve kayış kasnak mekanizmasının toplam dönüştürme oranı:

$$i_{\text{toplam}} = 3,16 \times 4,66 = 14,72$$

Pelton kanat 1 defa döndüğünde, şarj dinamosunun rotoru yaklaşık 15 defa dönmüş olacaktır.

7.4. Alternatör

Lenz tarafından ortaya konan yasa, endüksiyon yolu ile elektromotor kuvvetin elde edilmesini açıklar. Faraday ise bu yasaı elektrik makinalarına uygulayan kişidir. Endüksiyon yasasına göre, manyetik alan içerisinde bulunan bir iletkenin yarattığı düzlemden, bu düzleme dik açı yaparak geçen akı

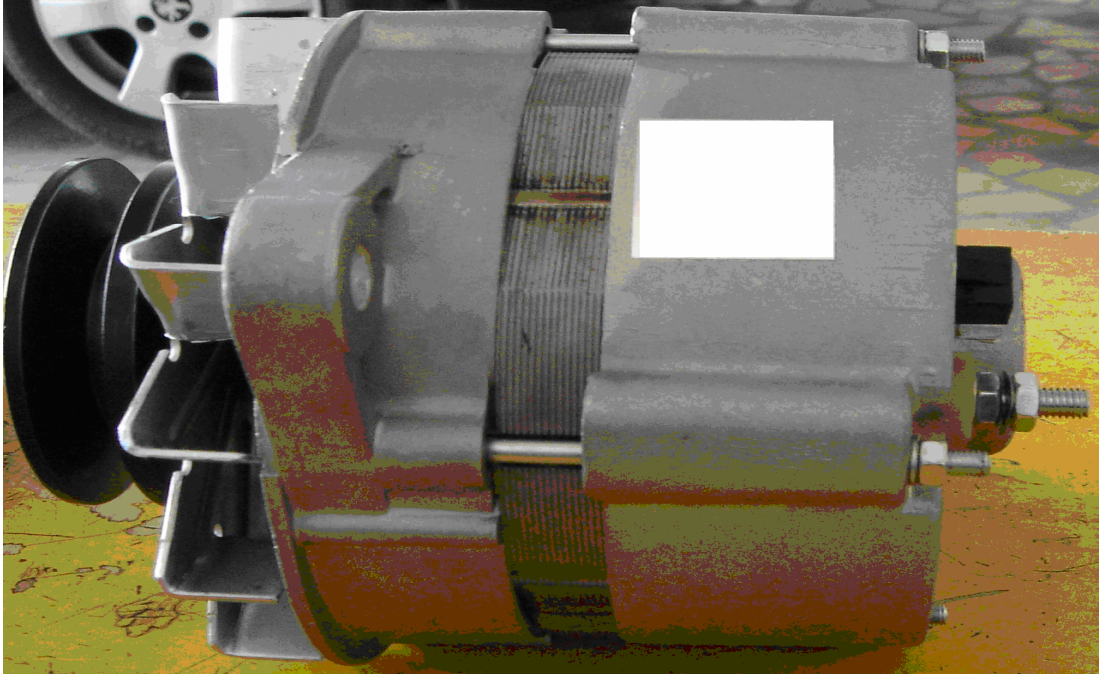
miktarının zamana göre değişmesi ile, bu iletkenin uçlarında bir gerilim endüklenir. Manyetik alanın genliğini ve yönünü sabit tutup, iletken düzlemini hareket ettirerek, düzlemden geçen akı miktarını zamana göre değişmesi yöntemi alternatörlerde kullanılır.

Alternatörler, yapısal olarak iki ana bölümden oluşur. Bunlar stator ve rotordur. Stator hareketsiz, rotor ise hareketli ve yataklanmış olduğu eksen etrafında dönen kısımdır. Statora yerleştirilen sargıya endüvi sargısı, rotora yerleştirilen sargıya ise uyarma sargısı adı verilir. Uyarma sargısının görevi alternatörün manyetik alanını üretmektir. Endüvi sargısı ise, elektrik enerjisinin üretildiği ve dağıtıma hazır duruma getirildiği sargıdır [35].

Alternatörlerde kullanılan sargılardan birinde doğru akım, diğer sargıda ise alternatif akım akar. Bu iki farklı akımın yarattığı manyetik alanlar yardımıyla elektro-mekanik enerji dönüşümü meydana gelir.

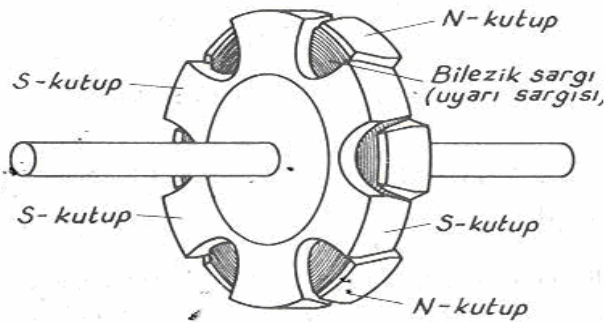
Alternatörlerde kutup sargılarının (uyarma sargıları) doğru akımla beslenmesi işleminde uyarma denir. Kutup sargısından geçen akıma, uyarma akımı adı verilir. Uyarma akımı alternatöre makinanın dışında bulunan bir doğru akım kaynağından sağlanır. Ana makinanın gücü attıkça, uyarma için gereken güç de artar [35].

Deney aletinde 53A, 12 V-14 V'luk şarj dinamosu kullanılmıştır. şarj dinamosu küçük tipte bir alternatördür. şarj dinamosu; rotor, stator ve diyotlardan oluşmaktadır.



Resim 7.10. Şarj dinamosu

Otolarda kullanılan alternatif akım-şarj dinamoları gibi küçük tipte senkron makinalarda tırnaklı kutup çarkları kullanılır. Tırnaklı kutup çarkında tek bir bilezik sargı bulunur. Bu sargı üzerine iki taraftan tırnaklı iki çark sürülür ve bir çarkın oluğu diğer çarkın tırnağına geçecek şekilde oturtulur. Sargıdan akım geçirilmesiyle çarklardan biri S-; diğeri N- kutuplu bir mıknatıs haline geçtiğinden, komple çark üzerinde yan yana bir çok N-, S- kutbu elde edilmiş olur [26].



Şekil 7.5. Tırnaklı kutup çarkı



Resim 7.11. Uyarı sargısının uçları



Resim 7.12. Şarj dinamosunun rotoru

Şarj dinamosunun rotoru; rulman, kollektör halkası, tırnaklı kutup çarkı ile bu kutup çarkındaki uyarı sargısı ve rotor milinden meydana gelmiştir. Uyarım sargısı, çapı 0,70 mm'lik bakır tellin rotor mili üzerine sarılmasıyla elde edilmiştir. Uyarı sargısının direnci 3,1 Ω 'dur.

Deney aletinde kullanılan 12 V'luk akü şarj dinamosunun kömür uçlarına bağlıdır. Kömürler, rotorun uyarı sargılarına akım geçmesini sağlar.

Stator; endüvi sargısı ve stator çekirdeğinden oluşur. Endüvi sargısı statorun çekirdeği içindeki kanallara sarılmıştır.



Resim 7.13. Endüvi sargısının elde sarılması (kalıp 5 cm x 2 cm boyutlarında)



Resim 7.14. Elde sarılmış olan bir faza ait 12 bobin sayısı (endüvi sargısı)



Resim 7.15. Endüvi sargısı 36 oluklu stator çekirdeğine yerleştirilmiştir ve sargıların oynamaması için gürgen tahta kullanılmıştır



Resim 7.16. Stator ve alternatif gerilim uçları

Endüvi sargısı için 1,25 mm çapında bakır tel kullanılmıştır ve 6 kutuplu olarak sarılmıştır. Her bobin sargının boyutları 5 cm x 2 cm'dir. Stator çekirdeği 36 olukludur. Statordan 3 faz alternatif çıkış elde edilir. Endüvinin her faz sargısından akan akım ve her fazın sarım sayısı eşit olduğu için, bunların genlikleri birbirine eşittir. Her faz birbirinden 120^0 açı farkıyla çalışır. Endüvi sargısı yıldız bağlanmıştır. Faz sargılarının birer uçları birbirine bağlanarak ortak uç haline getirilir ve bu uç boşta bırakılır. Nötr iletkeni olan bu uçtan akım geçmez.

Sargı gerilimi yıldız gerilimine (faz-nötr gerilimi) eşittir [26].

$$U_s = U_y \quad (7.9)$$

$$U_y = \sqrt{3}.U \quad (7.10)$$

U_s = Sargı gerilimi

U_y = Yıldız gerilim

U = Fazlar arası gerilim

Sargı akımı da hat akımına eşittir [26].

$$I_s = I \quad (7.11)$$

Şarj dinamosunun bir fazının bir kutup altındaki oluk sayısı 2, oluk sayısı 36, faz sayısı 3 ve çift kutup sayısı 6'dır.

Üretilen alternatif akımın meydana getirdiği manyetik alanın genliği zamana göre değişir. Akım ve gerilim periyodik değişime sahip olduğundan, frekansı vardır. Halbuki rotorda kullanılan kutup sargısından akan akım doğru akım olduğundan, meydana gelen manyetik alanın genliği zamana göre değişmez, dolayısıyla periyodik değişimi olmadığı için frekansı da sıfırdır [35].

Döner alan hızı, rotor hızı ile fark hızın toplamıdır [35].

$$n_s = n_r + (n_s - n_r) \quad (7.12)$$

n_r =Rotor hızı

n_s =Döner alan hızı

$$n_s = \frac{60.f_1}{p} \quad (7.13)$$

$$(n_s - n_r) = \frac{60.f_2}{p} \quad (7.14)$$

Burada f_2 rotorda endüklenen gerilimin frekansıdır. Rotorun dönme hızı ile, bu hıza eşdeğer frekans arasında ilişki ise şöyledir:

$$n_r = \frac{60.f_r}{p} \quad (7.15)$$

n_r =Rotorun dönme hızı

f_r =Rotorun dönme hızına eşdeğer frekans

Eş. 7.13, Eş. 7.14 ve Eş. 7.15; Eş. 7.12' de yerlerine yazılmasıyla frekanslar arasında aşağıdaki bağıntı bulunur:

$$f_1 = f_r + f_2 \quad (7.16)$$

f_1 sabittir, f_2 rotor akımının frekansıdır ve rotor akımı doğru akım aldığı için frekansı sıfırdır. Bu durumda:

$$f_1 = f_r \quad (7.17)$$

Yani, rotorun hızı senkon hıza eşit olur.

$$n_s = n_r \quad (7.18)$$

Böylece rotor, döner alanın hızında döner. İki hız daima eşit olduğu için, bu makineye senkron makine denir [35].

$$f = p \frac{n_s}{60} \quad (7.19)$$

f = frekans (Hz)

p = kutup çifti sayısı

n_s = döner alan hızı (devir/dakika)

$$p=6$$

n_s =1400 devir/dakika alınır;

$$f = 6 \frac{1400}{60} = 140 \text{ Hz'dir. (deneyde elde edilen)}$$

Deney aletinde kullanılan şarj dinamosunun $n_s=14000$ devir/dakikadır. 15 dakikada dayanabildiği maksimum $n_s=15000$ devir/dakikadır. Bu durumda deney aletinin frekansı:

$$f = 6 \frac{14000}{60} = 1400 \text{ Hz'dir.}$$

Rotorun yaptığı bir tur için geometrik ve elektriksel açısal hızlar şöyle hesaplanır [35].

$$\omega_g = 2\pi \frac{n_s}{60} \quad (7.20)$$

$$\omega_e = p\omega_g = p2\pi \frac{n_s}{60} \quad (7.21)$$

ω_g = Geometrik açısal hız

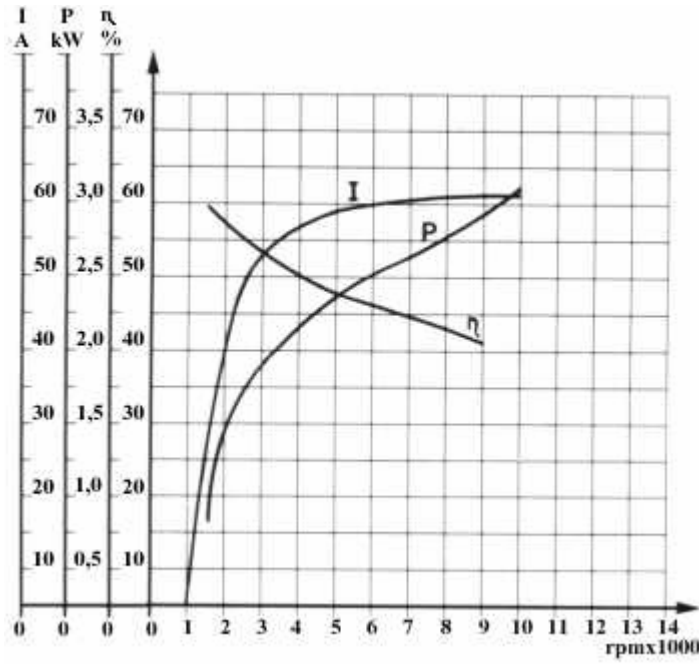
ω_e = Elektriksel açısal hız

$$\omega_g = 2\pi \frac{1400}{60} = 146,5 \text{ (deneyde elde edilen)}$$

$$\omega_e = 6.2\pi \frac{1400}{60} = 879,2 \text{ (deneyde elde edilen)}$$

Çizelge 7.1. Şarj dinamosunun dayanabildiği sıcaklık değerleri

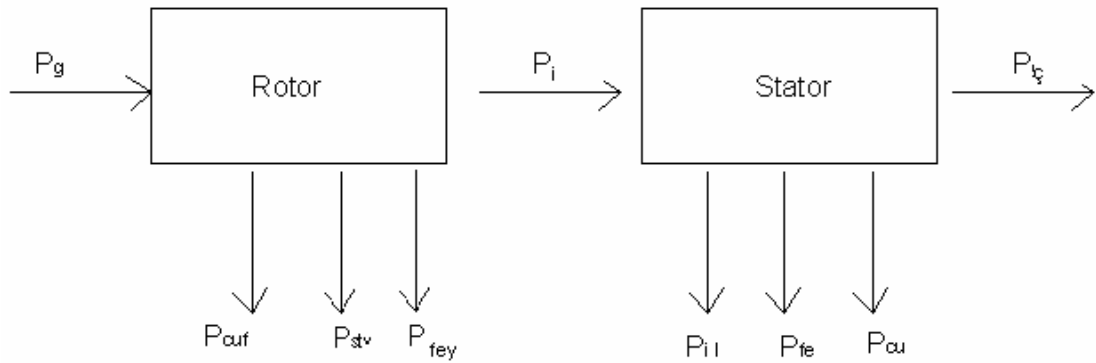
Kabul edilen maksimum sıcaklık	Diyod	Stator sarımları	Rulmanlar
Sürekli	155 C ⁰	180 C ⁰	120 C ⁰
30 dakikada maksimum çalışma sıcaklığı	175 C ⁰	200 C ⁰	130 C ⁰



Şekil 7.6. Şarj dinamosunun performans eğrisi

Performans eğrisinde; alternatörün devri (rotorun hızı) arttıkça akım ve güç artmakta, verim azalmaktadır. Alternatöre giren ve çıkan güçler arasındaki oran, yüzde olarak verimi (η) verir [35].

$$\eta = \frac{P_{\text{ç}}}{P_{\text{g}}} 100 \quad (7.22)$$



Şekil 7.7. Alternatördeki kayıplar

Rotor kayıpları; uyarma sargısındaki bakır kayıplarından (p_{cu_f}), sürtünme ve vantilasyon kayıplarından (p_{stv}), kutup yüzeylerinde meydana gelen demir kayıplarından (p_{fey}) oluşmaktadır. Stator kayıpları ise; stator boyunduruğunda ve dişlerde meydana gelen demir kayıplarının toplamından (p_{fe}), stator sargısındaki kayıplardan (p_{cu}), ilave kayıplardan (p_{il}) oluşmaktadır [35].

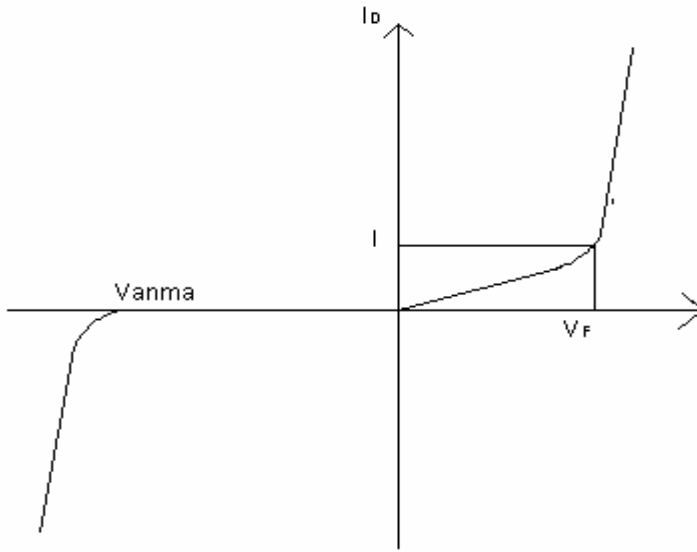
Deney aletinde kullanılan alternatörün, (p_{stv}) vantilasyon kaybını azaltmak için fan çıkarılmıştır.



Resim 7.17. Alternatörün bağlantısı

7.5. Diyot

Diyot ileri yönde kutuplandığında uçlarına ileri yönde uygulanan küçük bir gerilimle iletmeye başlar. Diyot ters yönde kutuplandığında yalnızca ihmal edilebilecek bir sızıntı akımı eleman üzerinden ters yönde devrilme gerilimine ulaşıncaya kadar akar [36].

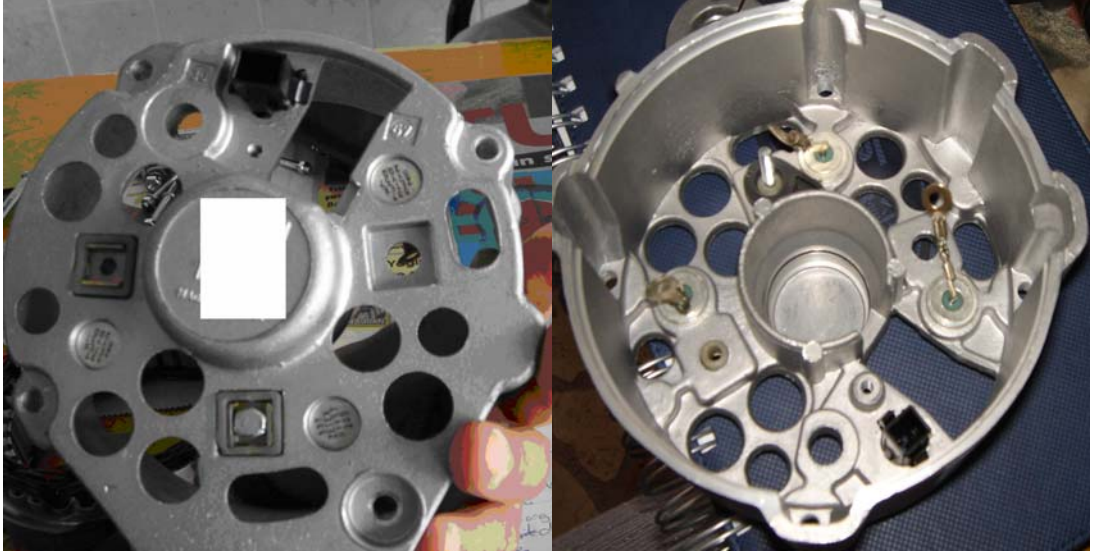


Şekil 7.8. Diyot V-I karakteristiği

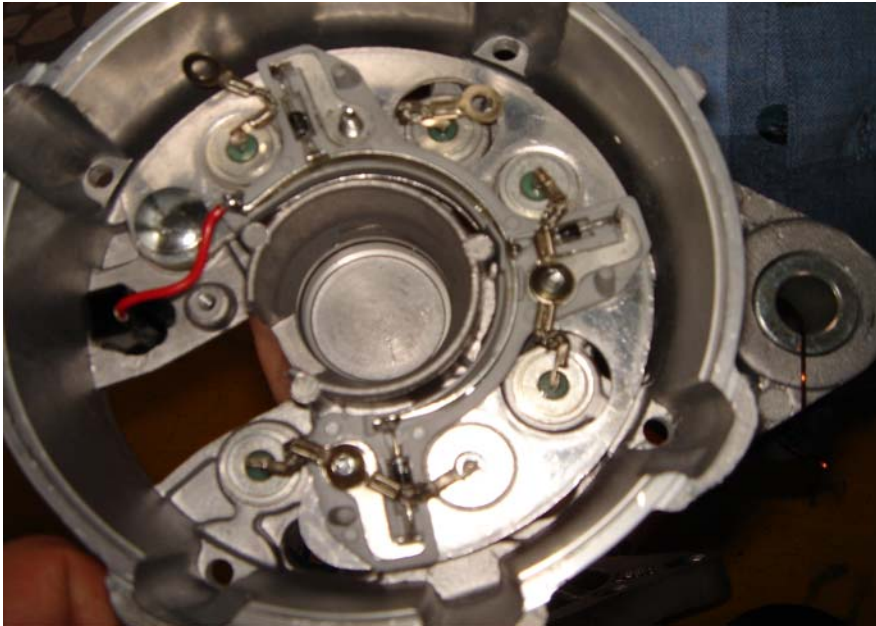
Alternatör içine yerleştirilmiş olan diyotların seri numaraları: 537 ZETEX BYY57 200, 537 ZETEX BYY58 200.



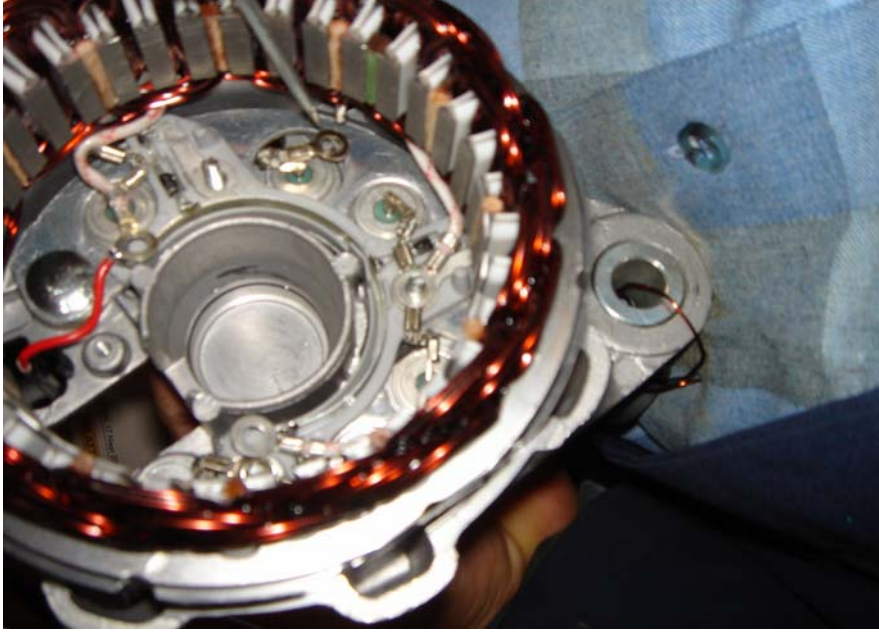
Resim 7.18. 537 ZETEX BYY58 200 kodlu diyotların önden ve arkadan görünüşü (+ diyotlar)



Resim 7.19. 537 ZETEX BYY57 200 kodlu diyotların önden ve arkadan görünüşü (- diyotlar)

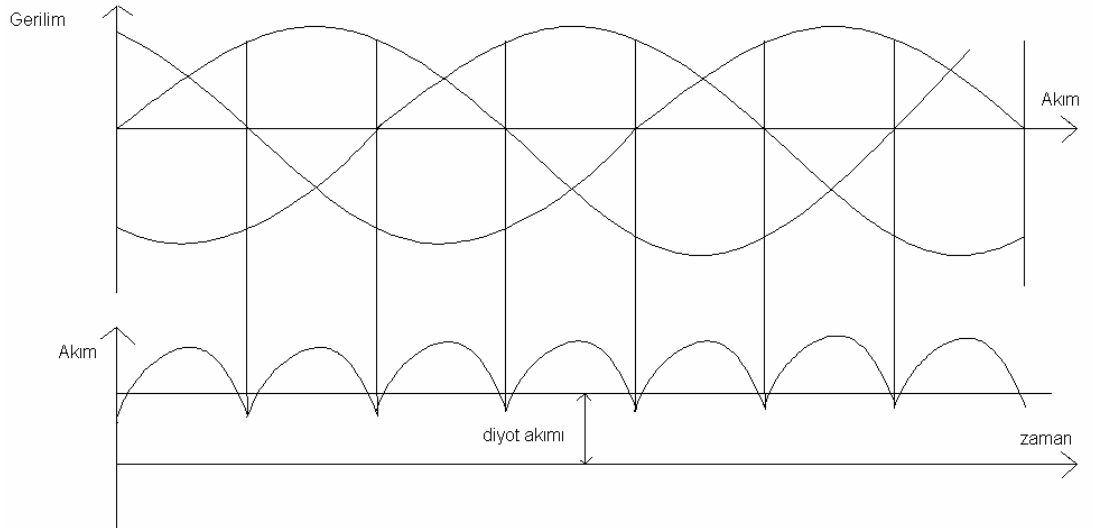


Resim 7.20. 6 adet diyottan tam dalga köprü devresi

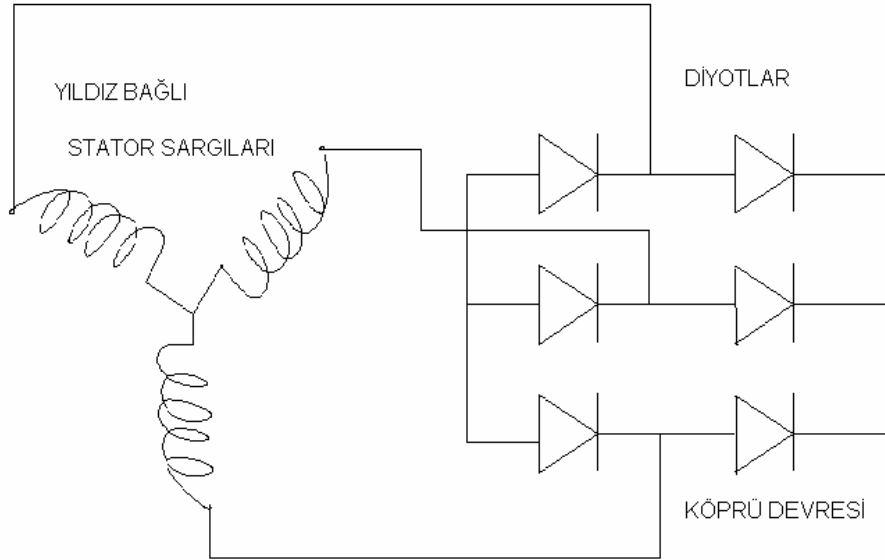


Resim 7.21. Stator sargısının bir fazı, negatif ve pozitif diyota bağlanır

Diyotların ters geriliminin tepe değeri 1500 V (delinme gerilimi), düz yöndeki akım maksimum 35 A, Uyarım gerilimi 1,15 V'tur.



Şekil 7.9. Üç fazlı köprü devresinde gerilim ve akım eğrileri



Şekil 7.10. Stator sargıları ile diyotların bağlantısı

Doğrultuculardan sağlanan doğru gerilim, uygulanan alternatif geriliminin aşağı yukarı % 130'dur [26].

7.6. Akümülatör

Akü, elektrik enerjisini kimyasal enerjiye çevirerek depolayan, depoladığı enerjiyi de tekrar elektrik enerjisine çeviren elemanlardır.

Akü alternatörün uyarı sargı uçlarına bağlanmıştır. Böylece uyarı akımı sağlamaktadır. Bunun için arabalarda kullanılan kurşunlu aküden (12V, 55 Ah) faydalanılmıştır.

Kurşunlu akü, kutusu dayanıklı bakalitten yapılmış olup, kurşun plakalar, separatörler, elektrolit sıvısı ve bağlantı parçalarından oluşmuştur. Kutunun içi akü gerilimine göre bir kaç bölmeye ayrılmıştır. Kutunun içine seyreltik sülfirik asit doldurulmuş ve kurşun plakalar bu sıvı içine daldırılmıştır. Her bölmede iki kurşun plaka ve bir kurşundioksit plakası mevcuttur. Plakaların birbirine

değmesini engelleyen ve bu karşın asit geçişini sağlayan separatörler aralara konmuştur. Bu separatörler asitin etkileyemeceği maddelerden (ahşap, plastik) yapılmıştır. İki adet kurşun plaka bölme içinde birbirine bağlanmıştır ve buradan dışarıya eksi kutup bağlantı ucu çıkarılmıştır. Kurşundioksit plaka ise tek olup, bunun da bağlantı ucu artı kutup halinde dışarıya çıkarılmıştır. Kurşunlu akünün bölme gerilimi 2 V kadardır. Daha yüksek gerilimler gerektiğinde, bölmeler seri bağlanarak amacına ulaşılır [26]

Pratikte akü şarj akımının saptanmasında akü üzerinde verilen kapasite değerinin % 10'u esas alınır [26]. Kullanılan akünün kapasitesi 55Ah'dir. Bu durumda akünün şarj akımı 5,5 A olmalıdır. Deney aletinde bu akımı elde edemediğimizden dolayı, akü şarj edilemiyor.



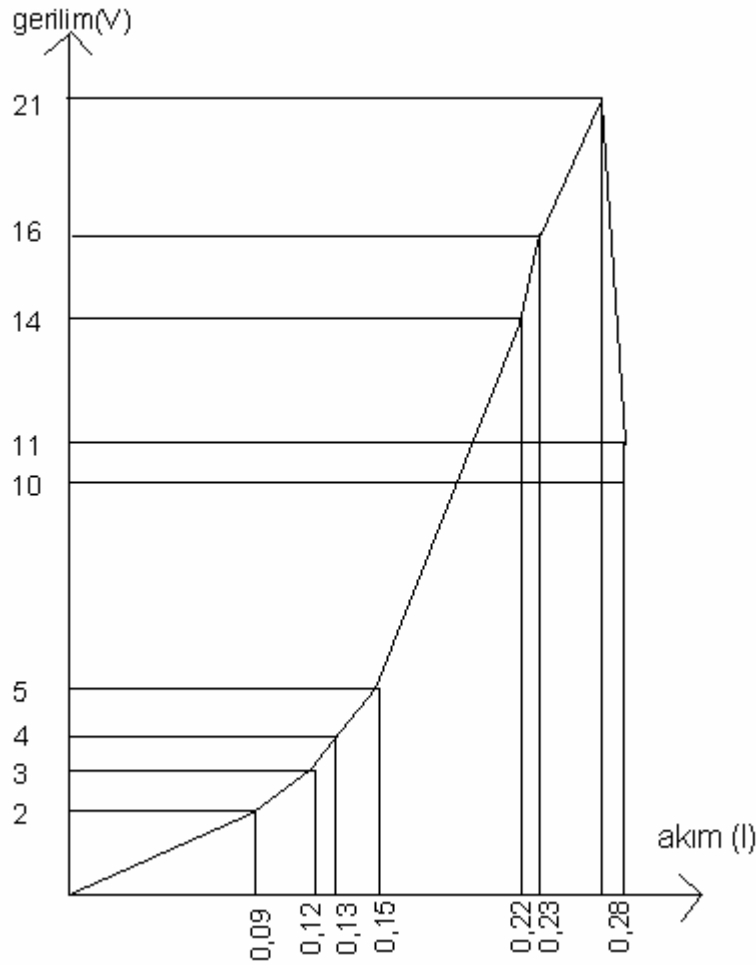
Resim 7.22. Akü

7.7. İkaz Lambası



Resim 7.23. İkaz lambası

12 V'luk 4 W'lık ampul kullanılmıştır. İkaz lambası doğrultucu çıkışına bağlanmıştır.



Şekil 7.11. Gerilim ve akımın değişimi

Çizelge 7.2. Akım gerilim değerleri

Akım(A)	0,09	0,12	0,13	0,15	0,22	0,23	0,27	0,28	0,28
Gerilim (V)	2	3	4	5	14	16	21	10	11

Rüzgar hızı sabittir ve digital anemometre ile ölçülmüştür. Rüzgar hızı 55 m/s'dir. Bu sistem, yüksek rüzgar hızı olan havalandırma kanallarında kullanılabilir. Alternatörün devri ise 1400 devir/dakikadır.

Elde edilen güç değerleri:

$$P=U.I$$

(7.23)

U= Gerilim (V)

I = Akım(A)

$P=2.0,09=0,18 \text{ W}$

$P=3.0,12=0,36 \text{ W}$

$P=4.0,13=0,52 \text{ W}$

$P=5.0,15=0,75 \text{ W}$

$P=10.0,28=2,8 \text{ W}$

$P=11.0,28=3,08 \text{ W}$

$P=14.0,22=3,08 \text{ W}$

$P=16.0,23=3,68 \text{ W}$

$P=21.0,27=5,67 \text{ W}$



Resim 7.24. Çıkış geriliminin ve akımının ölçülmesi



Resim 7.25. Rüzgar hızını ölçen anemometre

8.SONUÇ

Pelton tipi kanatlar 3 kanatlı modern rüzgar türbinlerinden oldukça geri kalmaktadır. Bu kanatlar ile aerodinamik esaslar göz ardı edilmektedir. Güç katsayısı ile kanatların alanı düşük olduğu için ve peltonların direncinden dolayı çok az bir enerji üretilir. Peltonlar genellikle hidro elektrik santrallerinde tercih edilmektedir. Rüzgardan elektrik üretmek için pelton tipi kanatlar günümüzde hiç kullanılmamaktadır. Eskiden peltonlar sulamada ve un değirmenlerinde kullanılmıştır. Bu kanatlar genellikle enerji üretmek yerine anemometrelerde rüzgar hızını ölçmek için kullanılmaktadır.

Sürtünme kuvvetinden yararlanan türbinlerde, rüzgara karşı bir yüzey tutulur ve rüzgar basıncından dönme hareketi oluşur. Örnek olarak; kepçe tipi anemometreler ve türbinler, Fars çarkı ve Savonius türbini gösterilebilir. Bu türbinlerde rüzgar iç bükey kanat üzerinde türbülanslı bir yol izler ve dönel akışlar oluşur. Bu dönel akışlar sözü edilen türbinlerin rüzgar çarkının performansını düşürür. Bu sebeple, sürtünme kuvvetinden yararlanan türbinler, pistonlu pompalar ile su pompalanması gibi yüksek moment gereken yerlerde kullanılırlar ve elektrik üretimi gibi yüksek güç gereken alanlarda kullanılmazlar.

KAYNAKLAR

1. Özgener, Ö., “Türkiye’de ve Dünyada rüzgar enerjisi kullanımı”, **DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik dergisi**, 4 (3): 159-173 (2002).
2. Şen, Z., “Temiz Enerji ve Kaynakları”, **Su Vakfı Yayınları**, İstanbul, 106,110-111,121,130 (2002).
3. İnternet: Danish wind İndustry association <http://www.windpower.org/en/-pictures/brush.htm> (2005).
4. İnternet:İllustrated history of wind power development <http://www.telosnet.net.com/wind/20th.html> (2005).
5. Tümerdem, O., “Rüzgar enerjisi teknolojisi ve Türkiye’nin rüzgar enerjisi potansiyeli”, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 4-7,46,49,52 (2002).
6. Nurbay, N., ve Çınar, A., “ Rüzgar türbinlerinin çeşitleri ve birbirleriyle karşılaştırılması”, **III. Yenilebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi**, Mersin, 164-167 (2005).
7. İnternet: Makine Mühendisler Odası <http://www.mmo.org.tr/muhendisma-kina/arsiv/2000/kasim/RUZGAR.htm> (2005).
8. Akgün, N., ve Öz.,Ş., “ Türkiye rüzgar analizi ve rüzgar atlası çıkarılması”, **Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu**, İstanbul, 92-103 (1993).
9. İnternet: Meteoroloji Genel Müdürlüğü <http://www.meteor.gov.tr/2005/sorular/ruzgar/kuvvetliruzgar.htm> (2005).
10. İnternet: Meteoroloji Genel Müdürlüğü <http://www.meteor.gov.tr/2005/arama/yenienerji/ruzgarnereden.pdf> (2005).
11. Akbıyık, B., “Türkiye’deki rüzgar enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kırıkkale , 10-15,17-20,25 (2004).
12. Kırım, S.,“Rüzgar enerjisi ve uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 14, 23-24 (2002).
13. İnternet: Doğa Araştırmaları, Sporları ve Kurtarma Derneği http://www.dask.org.tr/bilmek_istedikleriniz/meteoroloji/ruzgar/ruzgar.htm (2005).
14. İnternet: Toprak Forum Soil Science Community <http://www.toprakforum.org/content/view/51/0> (2005).

15. Yılmaz, L., “Yenilebilir enerji kaynakları açısından rüzgar enerjisinin Türkiye’deki kapasitesi”, **III. Yenilebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi**, Mersin, 179,183-185 (2005)
16. İnternet: Elektrik Mühendisleri Odası http://www.arsiv.emo.org.tr/Kartus-01/SEMPOZYUMLAR/Yeksem2003/bildiriler/oturum4/4_5.DOC (2005).
17. İnternet: Meteoroloji Genel Müdürlüğü <http://www.meteor.gov.tr/2005/arama/yenienerji/ruzgarhiz.pdf> (2005).
18. Muljadi, E., Nix, G., Bialasiewicz, J.T., “Analysis of the dynamics of a wind Turbine water-pumping system ” **IEEE Power Engineering Society Summer Meeting**, 4: 2506-2519 (2000).
19. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, “Rüzgar elektrik dönüşüm Sistemleri “ **EİE, Ankara**, 1-4 (2000).
20. Uyar, M., Gençoğlu, M., T., Yıldırım, S., “ Değişken hızlı rüzgar türbinleri için generatör sistemleri”, **III. Yenilebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi**, Mersin, 173-174 (2005).
21. Wilson, R.E., “Aerodynamic Behaviour of the Wind turbines”, Spera, D.A., **Asme Press**, New York, 223-224 (1998).
22. Kocaman, B., “Elektrik Enerjisi Üretim Santralleri”, **Birsen Yayınevi**, İstanbul, 109-110, 176-177,180,184-185,190, (2003).
23. Nayar, C.V., Islam S.M., Sharma, H., “Power Electronics For Renewable Energy Sources”, Rashid, M.H., **Asme Press**, USA, 562-563 (2001).
24. İnternet: Meteoroloji Genel Müdürlüğü <http://www.meteor.gov.tr/2005/arama/yenienerji/ruzgarturbin.pdf> (2005).
25. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, “ Rüzgar gücüyle elektrik Üretimi sistem tasarımı “ **EİE, Ankara**, 2-6(2000).
26. Erna, H., “ Pratik Elektrik ve Uygulamalarıyla Modern Elektroteknik”, **İnkılap**, İstanbul, 52-56,245-247,322-323,345-346,441 (1999).
27. İnternet: Elektrik mühendisleri odası http://www.emo.org.tr/eski/merkez/sempozyumlar/enerji_sempozyumu.htm#DUNDAR (2005).
28. Özyurt, M., Dönmez G., “ Alternatif enerji kaynaklarının çevresel etkilerinin değerlendirilmesi”, **III. Yenilebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi**, Mersin, 39 (2005).

29. İnternet: Türkiye Coğrafya Kurumu http://www.tck.org.tr/ruzgar_enerjisi.html (2005).
30. İnternet: Rüzgar enerjisi ve su santralleri iş adamları derneği <http://www.-ressiad.org.tr/makaleler.php?ID=21> (2005).
31. İnternet: Meteoroloji Genel Müdürlüğü <http://www.meteor.gov.tr/2005/aras-tirma/yenienerji/ruzgaratlas.htm> (2005).
32. İnternet: Lester Allan Pelton – Water turbines and the beginnings of Hydroelectricity http://invertors.about.com/library/invertors/bl_lester_pelton.htm?term=pelton (2005).
33. Johnson, M.R., Chow, J.H., Dillon, M.V., “ Pelton turbine deflector overspeed control for a small power system ” **IEEE Transactions on Power System**”, 19(2): 1032-1033 (2004).
34. Kurbanoglu, C., “Makine Bilgisi”, **Atlas**, İstanbul, 81-99 (2003).
35. Mergen, A.F., Zorlu S., “Elektrik Makineleri III Senkron Makineler”, **Birsan** İstanbul, 16-38,51, 237-238 (2006).
36. Mohan, N., Undeland, T.M., Robbins, W.P., “Güç Elektroniği”, Tuncay, N., Gökaşan, M., Boğosyan, S., **Literatür**, İstanbul, 18-19 (2003)

EKLER

EK-1 Teknik terimlerin ingilizce karşılıkları

Türkçe**İngilizce****Anemometre**

Anemometer

Cam elyafı

Fiberglass

Deflector

Saptırıcı

Deniz üstü

Offshore

Dişli kutusu

Gearbox

Döndürme momenti

Torque

Elektronik kontrolcü

Elektronic controller

Elektrik generatörleri

Electrical generator

Fırtına

Gale

Göbek

Hub

Hafif

Light

Izgara

Grid

İğne

Needle

Kaldırma

Lift

Kasırga

Strong gale

Kuvvetli

Strong

Kule

Tower

Anemometre

Anemometer

Makine yatağı

Nacelle

(Türbinin kule üstündeki kafa kısmı)**Mil**

Şaft

Rota mekanizması

Yaw mechanism

Rotor kanatları

Rotor Blades

Rüzgar çorabı

Wind sock

Rüzgar fırıldağı

Wind vane

Rüzgar ısrarlılığı

Insistence of wind

Rüzgar yönü

Wind direction

Sakin

Calm

EK-1 (Devam) Teknik terimlerin ingilizce karşılıkları

Türkçe	İngilizce
Sert rüzgar	Fresh
Sürüklenme	Drag
Tayfun	Hurricane
Uçak kanadı	Airfoil
Uç hız oranı	Tip speed ratio
Veri kaydedici	Data logger
Yonga	Chip

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖGER GÜRBÜZ, Özlem
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 09.06.1975 Kayseri
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (242) 334 69 04
 Faks : 0 (242) 237 0016
 e-mail : ozlem_oger@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Selçuk Üniversitesi /Elk.Elctr.Müh.	1996
Lise	Antalya Çağlayan Lisesi	1992
Ortaöğretim	Şanlıurfa Merkez Ortaokulu	1989

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1997-1999	Kepez Elektrik T.A.Ş.	Elektrik Müh.
2000-2005	MSB Ank.İnş.Eml.ve NATO Enf.Bşk.	Elektrik Müh.
2005-2006	Ant. Bayındırlık ve İskan Md.	Elektrik Müh.

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Bilgisayar teknolojileri, kitap okumak

