

**EL YAPIMI RÜZGÂR GÜLÜ TASARIMI
VE DENENMESİ**

**2013
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

Necati ÇELİK

EL YAPIMI RÜZGÂR GÜLÜ TASARIMI VE DENENMESİ

Necati ÇELİK

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitim Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2013**

Necati ÇELİK tarafından hazırlanan “EL YAPIMI RÜZGÂR GÜLÜ TASARIMI VE DENENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitim Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 18/06/2013

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Mehmet ÖZALP (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Ziyaddin RECEBLİ (KBÜ)

.../.../2013

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Necati ÇELİK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

EL YAPIMI RÜZGÂR GÜLÜ TASARIMI VE DENENMESİ

Necati ÇELİK

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitim Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

Haziran 2013, 45 Sayfa

Bu çalışmada, rüzgâr enerjisinden elektriksel güç üreten rüzgâr gülü imal edilerek performans deneyleri yapılmıştır. Rüzgâr gülü çok kanatlı olarak 0,8 m ve 1 m çaplarında galvanizli metal sacdan imal edilmiş, her bir metal kanat sac şekillendirme makineleriyle biçimlendirilmiş ve kanatlar alternatörle birleştirilen bir rotora monte edilmiştir. Osmaniye ilinin Bahçe ilçesinde yüksek bir tepede (Gökçe Tepe) yapılan deneyler sonucunda, kanat sayısı azaldıkça devir sayısının arttığı tespit edilmiştir. En düşük rüzgâr hızı 4 m/sn'de rüzgâr gülünden 10 dev/dk ile 36 W güç elde edilirken, en yüksek rüzgâr hızı 10 m/sn'de rüzgâr gülünden 97 dev/dk ile 296 W güç elde edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Rüzgâr enerjisi, rüzgâr türbini.

Bilim Kodu : 914.1.038

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

DESIGN AND TEST OF WIND ROSE HAND MADE

Necati CELİK

Karabuk University

The Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Education

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

June 2013, 45 Pages

This study was made windmill generates electrical power from wind energy performance standards. In a multi-bladed windmill diameter of 0.8 m and 1 m made of galvanized sheet metal, sheet metal forming machines, each forming a metal blade and the rotor blades are mounted in a combined alternator. High on a hill in the garden district of Osmaniye (Gokce Hill) as a result of the experiments, the wing has been found that the fewer the number of cycles. The lowest wind speed of 4 m / s wind rose from 10 d / d and 36 W of power is obtained, the maximum wind speed of 10 m / s wind rose from 97 d / d were obtained with a 296 W power.

Key Words : Wind power, wind turbine.

Scientific Code : 914.1.038

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmamın, planlanmasında, tasarımında ve uygulanmasında desteğini esirgemeyen çok değerli danıőman hocam Doç. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK'a, imalatı esnasında yardımlarını esirgemeyen değerli, Hasan SOLAK, Hanefi BOLAT, Naim KAYNAR'a ve Mustafa ÖKSÜZ dostlarıma yardımlarından dolayı teşekkür ediyorum. Sevgili eőim Nazan ÇELİK'e ayrıyeten KAYA ve ÇELİK ailelerine manevi desteklerinden dolayı őükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. RÜZGÂR ENERJİSİ.....	5
1.1.1. Rüzgâr Nedir?	5
1.1.2. Rüzgâr Enerjisinin Tarihçesi	7
1.1.3. Dünyada Rüzgâr Enerjisi.....	9
BÖLÜM 2	13
RÜZGÂR TÜRBİNİ TİPLERİ VE KULLANILDIKLARI YERLER	13
2.1. YATAY EKSENLİ RÜZGÂR TÜRBİNLERİ (YERT)	13
2.1.1. Rüzgârı Önden Alan Makineler	14
2.1.2. Rüzgârı Arkadan Alan Makineler	15
2.1.3. Tek Kanatlı Rüzgâr Türbinleri.....	15
2.1.4. Çift Kanatlı Rüzgâr Türbinleri.....	16
2.1.5. Üç Kanatlı Rüzgâr Türbinleri	16
2.1.6. Çok Kanatlı Rüzgâr Türbinleri:	17
2.2. DİKEY EKSENLİ RÜZGÂR TÜRBİNLERİ (DERT).....	18

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 3	19
KANAT MODELLEMESİ VE İMALATI	19
3.1. RÜZGÂR ÖLÇERLER (ANEMOMETRE).....	25
3.2. ALTERNATÖRLERİN ÇALIŞMA PRENSİBİ.....	26
3.3. ELEKTRİKSEL GÜÇ HESABI	28
3.3.1. Rüzgar Türbini Gücü:.....	29
BÖLÜM 4	31
DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA.....	31
BÖLÜM 5	42
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	42
KAYNAKLAR.....	43
ÖZGEÇMİŞ.....	45

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1.	Dünya yakıt ihtiyacı ve sıvı/gaz fosil yakıtları.....	1
Şekil 1.2.	Türkiye rüzgâr atlası.	6
Şekil 1.3.	Türkiye rüzgar enerjisi kurulu gücünün yıllara göre dağılımı.	7
Şekil 2.1.	Yatay eksenli rüzgar türbini(YERT).	13
Şekil 2.2.	Rüzgarı önden alan makineler.	14
Şekil 2.3.	Rüzgarı arkadan alan rüzgar türbini.	15
Şekil 2.4.	Yatay eksenli rüzgar gülü kanat sayılarına göre türbinler.	17
Şekil 2.5.	Çok kanatlı rüzgar türbini.	17
Şekil 2.6.	Dikey eksenli rüzgar türbini.	18
Şekil 3.1.	Dörtgen kanatlı rüzgâr gülü kanatı tasarımı.	19
Şekil 3.2.	Dörtgen kanatlı rüzgar gülü tasarımı çizimi.	20
Şekil 3.3.	Rüzgâr gülü kanat imalat aşamasından bir görüntü.	21
Şekil 3.4.	Beşgen kanat çizim tasarımı.	21
Şekil 3.5.	Beşgen rüzgâr türbini kanat tasarım görüntüsü.	22
Şekil 3.6.	Rüzgar gülü kanat imalat aşamasından bir görüntü.	22
Şekil 3.9.	Rüzgâr gülü sekizgen konstrüksiyonu.	24
Şekil 3.10.	Rüzgâr gülü Gökçe Tepe görüntüsü.	24
Şekil 3.11.	Yaygın olarak kullanılan tipik analog rüzgâr ölçer (anemometre).	25
Şekil 3.13.	Alternatörün çalışma prensibi.	27
Şekil 3.14.	Üç fazlı bir alternatörün endüvi ve çıkıntılı kutup sargılarının açılımı ve üç fazlı gerilim eğrisi.	28
Şekil 4.1.	Kanat devir sayısının rüzgâr hızına göre değişimi.	32
Şekil 4.2.	Dört kanatlı rüzgar gülünde devir sayısının rüzgar hızına göre değişimi.	33
Şekil 4.3.	Beşgen kanatlı rüzgar gülü devir sayısının rüzgar hızına göre değişimi.	34
Şekil 4.4.	Altıgen kanatlı rüzgar gülü devir sayısının rüzgar hızına göre değişimi.	35
Şekil 4.5.	Sekizgen kanatlı rüzgar gülü devir sayısının rüzgâr hızına göre değişimi.	36

Sayfa

Şekil 4.6. Kanatlar arasında güç değişimi.	37
Şekil 4.7. Dörtgen kanatlı rüzgâr güç değişimi.	38
Şekil 4.8. Beşgen kanatlı rüzgâr güç değişimi.	39
Şekil 4.9. Altıgen kanatlı rüzgâr güç değişimi.	40
Şekil 4.10. Sekizgen kanatlı rüzgâr güç değişimi.	41

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Türkiye karaları için orta-mükemmel arası rüzgar kaynağı	20
Çizelge 1.2. Türkiye denizleri için (50 m derinliğe kadar) orta-mükemmel arası rüzgâr kaynağı	20
Çizelge 4.1. Deneylelerin sonuçları	47
Çizelge 4.2. Dört kanat devir sayısının rüzgâr hızına göre deneyi	48
Çizelge 4.3. Beşgen kanatlı devir sayısının rüzgar hızına göre deneyi	49
Çizelge 4.4. Altıgen kanat devir sayısının rüzgar hızına göre deneyi	51
Çizelge 4.5. Sekizgen kanatlı devir sayısının rüzgar hızına göre deneyi	52
Çizelge 4.6. Güç deneyleri	53
Çizelge 4.7. Dörtgen kanatlı rüzgâr güç deneyi	54
Çizelge 4.8. Beşgen kanatlı rüzgâr güç deneyi	55
Çizelge 4.9. Altıgen kanatlı rüzgâr güç deneyi	56
Çizelge 4.10. Sekizgen kanatlı rüzgâr güç deneyi	57

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

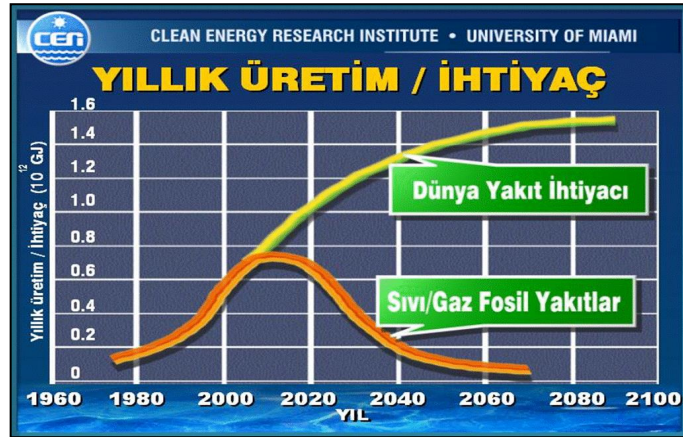
SİMGELER

m	: Metre
kW	: Kilowatt
Al	: Alüminyum
\$: Dolar
TW	: Terawatt
km ²	: Kilometre kare
MW	: Megawatt
P _o	: Rüzgârın teorik gücü
ρ	: Hava yoğunluğu
A	: Rüzgârın ilerleme yönüne dik kesit alanı
V	: Rüzgâr hızı
λ	: Kanat uç hız oranı
Hz	: Saniye başına düşen devir sayısı
σ	: Normal gerilme
σ_c	: Tek eksenli basınç dayanımı
AC	: Alternatif akım
DC	: Doğru akım
RT	: Rüzgar türbini
N	: Devir sayısı
E	: Enerji
M	: Kitle
N	: Kuzey Kutup
S	: Güney kutup
σ_p	: Kutup Adımı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynakları çevreyi kirleten fosil kökenli yakıtların tükenme eğilimine girmesi ile daha da önem kazanmış ve bu konudaki çalışmalara hız verilmiştir. Dünya atmosferine salınan karbondioksit düzeyinde bir azalma sağlanması, rüzgar enerjisi üretiminin en önemli çevresel yararlarıdır. Karbondioksit, felaket boyutlarındaki küresel iklim değişikliği etkilerine yol açan sera etkisinin büyük ölçüde artıran en önemli gazdır. Rüzgâr enerjisine geçmekle milyon tonlarca CO₂'in atmosfere geçişi önlenecektir. İklim değişikliğine neden olan sera gazlarını azaltmak için dünya ülkeleri 1997 yılı Kyoto Protokolünü imzalamışlardır. Dünya yakıt ihtiyacı ve sıvı/gaz fosil yakıtları Şekil 1.1' de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Dünya yakıt ihtiyacı ve sıvı/gaz fosil yakıtları.

Türkiye’de son yıllarda gittikçe artan enerji darboğazı, üretimin sabit kalması ya da çok az artması, tüketimin ise çok büyük bir hızla artması karşısında, gelecekte de büyüyecek bir sorun olarak karşımızda durmaktadır. Bu durum karşısında ülkemizin doğal kaynaklarından yararlanarak alternatif enerji sistemlerinin uygulanması, soruna genel ve kesin olmayan, ancak gelecek için umut verici bir çözüm olması nedeniyle gün geçtikçe artan bir önem kazanmaktadır. Bu enerji kaynaklarından rüzgar,

ülkemizde de çok iyi değerlere sahip olması, sınırsız, temiz, çevreyi kirletmeyen bir enerji kaynağı olması dolayısıyla öne çıkmaktadır. Rüzgâr enerjisi kullanımının dünyadaki örneklerine baktığımızda iki kısımda incelenmesi gerektiği görülür. Küçük türbinler olarak adlandırabileceğimiz, kişisel kullanıma yönelik sistemler ve büyük türbinler adını alan endüstriyel kullanıma yönelik sistemler. Büyük türbinler, rüzgar çiftliği olarak adlandırılan diziler halinde kurulmaktadır. Bir rüzgâr çiftliğinin toplam gücü 1–150 MW arasındadır. Tek bir türbinin gücü 50 kW'tan 2 MW'a kadar olabilir. Ancak günümüzde ekonomik şartlar açısından 500 kW'tan küçük türbinler çok fazla kullanılmamaktadır. Büyük türbinler yatırım amaçlı olarak kurulmaktadır. Üretilen enerji şebekeye verilmektedir. Bu yüzden yatırımdan önce yapılması gerekli olan bazı çalışmalar vardır. Öncelikle bölgenin rüzgâr açısından durumunun belirlenmesi gerekir.

Yapılan ayrıntılı ve en az bir yıl süreli teknik rüzgâr ölçümleriyle, rüzgar hızı ortalamaları, günlük, mevsimlik ve yıllık dağılımlar ile yaklaşık rüzgar enerjisi değerleri belirlenir. Bunun ardından yapılacak olan fizibilite çalışmaları sonucunda, kurulacak olan santralin büyüklüğü, türbinlerin yerleri ve güçleri, üretilecek enerjinin maliyeti gibi sonuçlara ulaşılır. Bu çalışmalarda, bölgesel elektrik kurumlarıyla ve devletle yapılacak olan anlaşmalar, alınacak özel izinler, çevre halkının yaklaşımı, bölgedeki konvansiyonel elektriğin maliyeti, yıllık harcama miktarı, arazinin fiziksel yapısı, finansman ve kredi politikası gibi parametreler önemli rol oynar. Büyük türbinlerden elde edilen elektriğin maliyeti yukarıda da sayılan birçok parametreye bağlıdır. İyi rüzgâr sahalarında ortalama uygun şartlarda, rüzgardan elde edilen elektrik enerjisinin maliyeti 5 cent/kW-saat değerine kadar düşmektedir. Termik, hidroelektrik vs. konvansiyonel kaynaklardan elde edilen elektrik enerjisinin maliyetinin bu değerden yüksek olması ve yıllık harcamanın 100.000 kW-saat'i aşması durumunda rüzgâr enerjisi üretimi ekonomik bir çözüm olarak düşünülebilir. Ancak bunun için bölgedeki rüzgâr potansiyelinin uygun olması gerekir. Büyük türbinlerin üretime başlaması için gereken rüzgâr hızlarını bir yaklaşım olarak değerlendirirsek, bölgedeki ortalama rüzgâr hızının 5-7 m/sn (18-25 km/saat) civarında olması gerektiği söylenebilir. Tabi ki bu kesin bir sonuç değildir. Yatırımın ekonomik olup olmadığının belirlenmesi için tüm yıla yayılan bir dağılımın çıkarılması şarttır. Büyük türbinlerden oluşan rüzgâr çiftliklerinin yatırım maliyeti

kabaca bir yaklaşımla 1000 \$/kW' dır. Yıllık bakım masrafı ise yatırımın %1–1,5'i olarak gerçekleşir. Bu şartlar altında kurulacak türbinlerden elde edilen elektrik enerjisi, şebekeye; maliyeti düşük, çevreyi kirletmeyen, güvenli ve yenilenebilir bir kaynaktan üretilmiş olarak verilir. Küçük türbin, genellikle şebekenin olmadığı ya da ulaştırmanın ekonomik olmadığı, ya da sorunlu olduğu yerlerde uygulanır. Şehir dışı yerleşimler, çiftlik evleri, telekomünikasyon aktarıcıları, radyo ve orman kuleleri, askeri tesisler, demiryolu sinyalizasyonu, balık çiftlikleri, seralar, maden ocakları, deniz vasıtaları ve bazı fabrikalarda küçük türbinler oldukça uygun kullanım alanları bulmaktadır. Üretilen enerjinin depolanmasıyla güvenilir enerji sağlanır. Küçük türbinlerin güç değerleri, 0,05-20 kW arasındadır. En fazla 4 adet hareketli parçadan oluşan bu tip türbinler bakımsız, ya da çok az bakımlı olarak dizayn edilmişlerdir. İşletme giderleri neredeyse yoktur. Her türlü çevre şartlarına dayanabilecek şekilde dizayn edilirler.

Otomatik kontrol mekanizmaları, sistemi aşırı şarjdan koruyan kontrol sistemleri vardır ve ayrıca çok yüksek rüzgâr hızlarında otomatik korunmalı dizayn edilmişlerdir. Şebekeye elektrik enerjisinin verildiği büyük türbinlerin aksine, küçük türbinlerde bu sistem uygulanamaz. Akü şarjı esasına göre çalışan küçük türbinlerle, üretilen enerji, ihtiyaca göre seçilen akü bankasına şarj edilerek kullanılır. Güçleri 50 W ile 20 kW arasındadır. Bu güç değerleri, türbinin maksimum hızda dönmesi durumundaki gücü gösterir. Daha düşük hızlarda ise türbin elektrik üretmeyi daha düşük bir güçte sürdürür. Akü bankasının yeterli seviyede seçilmesi durumunda depolanmış enerjiye ihtiyaç duyulan güçte aküden çekilebilir. Rüzgâr türbini jeneratörünün çıkışına bağlanan elektronik şarj kontrol ünitesi ile AC çıkışı, DC'ye çevrilerek aküler şarj edilir. 500 W'dan küçük türbinlerde bu ünite türbinin içine monte edilmiş olarak bulunur. Elektronik şarj kontrol ünitesi, aküleri aşırı şarjdan korur. Bunun için akülerin tam dolu olması durumunda rüzgâr hala esmeye ve türbini döndürmeye devam ediyorsa, türbinden gelen fazla enerji yük direncine aktarılır. Bu direnç hava ısıtan bir dirençtir. İsteğe bağlı olarak aynı değerlerde su ısıtan dirençler de kullanılabilir. Gerekli olan akü bankası sistemin kurulduğu yerin şartlarına bağlıdır. Akülerin uzun ömürlü olmaları için şarj akımı, akü kapasitesinin %10'undan fazla olmamalıdır. Örneğin 600 Ah bir akü bankası 60 A'in üzerinde bir akımla şarj edilmemelidir. Ayrıca, kapasitenin %40'ının altına incek kadar da

aküler boşaltılmamalıdır (1.75 3 V/hücre). Akü bankasının büyüklüğü, rüzgârsız geçecek 3-5 güne yetecek kadar olmalıdır. Bunun için günlük harcama miktarının iyi belirlenmesi ve seçimin buna göre yapılması gerekir. Daha az enerji harcayan cihazlar, örneğin elektronik dengeli ampuller kullanılarak güç ihtiyacının azaltılıp azaltılamayacağı değerlendirilmelidir. Alternatif akım (AC) yükler için uygun kapasitede bir invertere gerek vardır. Piyasada mevcut olan inverterler genel olarak, 12, 24, 48, 96 ya da 120 V DC girişlidir. İnverterin gücü devamlı ihtiyaç duyulacak maksimum güç kadar olmalıdır. İnverter kendi maksimum gücünün 2-3 katı kadar anlık güçleri karşılayabilmelidir. En ucuz inverterler trapez dalga ile çalışırlar. Aşağı yukarı bütün ev aletleri bu dalga biçiminde elektrikle çalışır. Fakat bazı özel durumlarda, örneğin ölçme aletlerinde ve hassas ev aletlerinde tam sinüs akıma ihtiyaç duyulmaktadır. Doğru akımla çalışan cihazlar kullanmak daha verimlidir. Genel olarak, 12 veya 24 VDC ile çalışan ev aletleri bulunmaktadır. Fakat hem 220 VDC ile çalışanlara göre daha pahalıdırlar, hem de seçenek azdır.

Küçük rüzgâr türbinleri, çeşitli nedenlerle dizel sistemlerle birlikte kullanılabilirler. Mevcut bir dizel jeneratör varsa, yakıt sarfiyatını azaltmak için böyle bir çözüme gidilebilir. Ya da rüzgâr türbini ana ihtiyacı karşılamak için kullanılabilir; dizel jeneratör de arada bir devreye sokularak daha yüksek güç ihtiyaçlarında ya da düşük rüzgâr zamanlarında sisteme destek olmak amacıyla kullanılabilir. Amerika Birleşik Devletleri'nde rüzgâr çiftliklerinin toplam kurulu gücü 2004 yıllarında 1700 MW dolaylarındadır. Yıllık üretim miktarı ise 3 milyar kW-saat kadardır. İyi rüzgâr sahalarının bulunduğu Hollanda, Danimarka, Almanya gibi ülkelerde de rüzgâr enerjisi konusunda önemli atılımlar yapılmış, üretim ve kurulu güç açısından bu ülkeler dünya çapında oncu konumuna gelmişlerdir. Ülkemizin rüzgâr potansiyelleri göz önüne alındığında elimizdeki sınırsız ve dünya çapında oldukça iyi durumda olan rezervleri kullanmadığımızı görüyoruz. Özellikle kıyı bölgelerimiz olmak üzere rüzgâr ve arazi bakımından oldukça iyi bir durumda olan Türkiye'de ne yazık ki bugüne kadar rüzgâr enerjisi üzerinde yapılan çalışmalar çok düşük seviyede kalmış, böylece çok üstün bir teknoloji gerektirmeyen bir enerji kaynağından yıllardır mahrum kalmıştır. Avrupa Topluluğu tarafından öngörülen, gelecekte yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin toplam üretime oranı olan %2'lik değere ulaşılması için hızlı bir şekilde çalışmaların ilerletilmesi gerekmektedir. Ülkemizde

henüz çok yeni ve tanınmamış bir kaynak olan rüzgâr enerjisinin tanıtımı ve yaygınlaştırılması için konuyla ilgili tüm kişi, kuruluş ve örgütler ile medyaya ve devlete de büyük iş düşmektedir. Özellikle yerli kaynak, malzeme, teknik bilgi ve işgücü kullanılarak üretilecek türbinler, iç pazarda olduğu kadar dış pazarlarda da rekabet edebilecek düzeyde olmalıdır. Yakın gelecekte bu tip çalışmaların artmasıyla, büyük yerleşim birimlerinin elektriğini sağlayan, büyük türbinlerden oluşan rüzgar çiftliklerinin kurulması, Türkiye'nin enerji darboğazından kendi çabalarıyla kurtulup enerji ihraç eden bir ülke konumuna gelmesine yardımcı olacaktır .

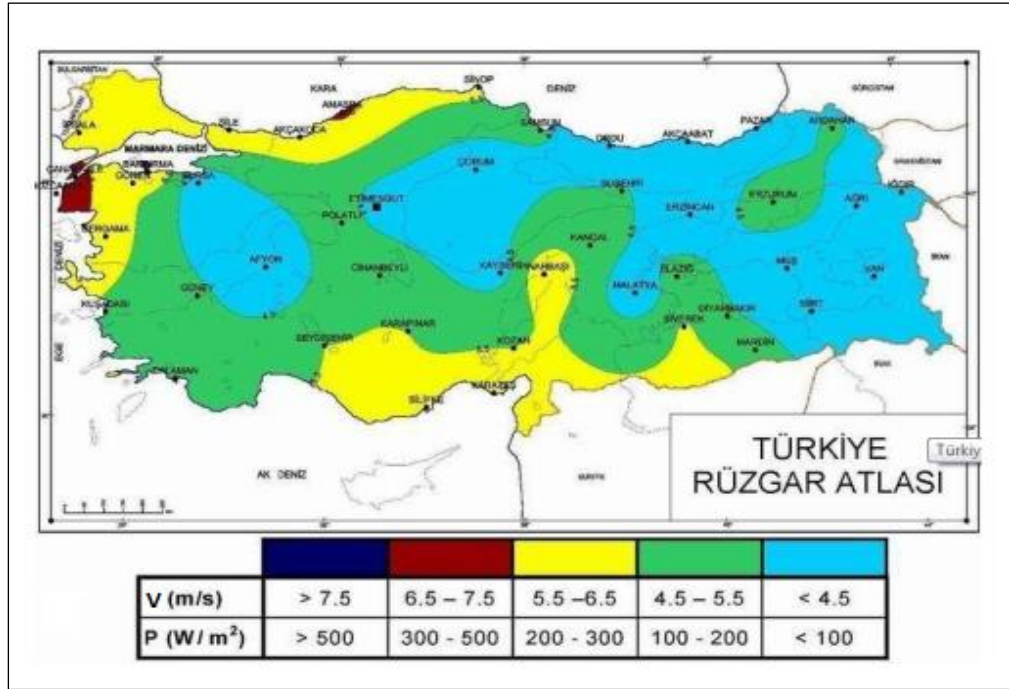
1.1. RÜZGÂR ENERJİSİ

1.1.1. Rüzgâr Nedir?

Rüzgâr enerjisi, güneş radyasyonunun yer yüzeylerini farklı ısıtmasından kaynaklanır. Yer yüzeylerinin farklı ısınması, havanın sıcaklığının, neminin ve basıncının farklı olmasına, bu farklı basınç da havanın hareketine neden olur. Güneş ışınları olduğu surece rüzgâr olacaktır. Rüzgâr güneş enerjisinin dolaylı bir ürünüdür. Dünyaya ulaşan güneş enerjisinin yaklaşık %2 kadarı rüzgâr enerjisine çevrilir. Dünya yüzeyi düzensiz bir şekilde ısınır ve soğur, bunun sonucu atmosferik basınç alanları oluşur ve hava yüksek basınç alanlarından alçak basınç alanlarına akış yapar. Bir tropikal ada üzerindeki rüzgârlar (ticaret rüzgâr) gündüz ve gece boyunca hemen hemen sabit bir rüzgâr akışına bağlıdır. Ne yazık ki, dünyanın her bölgesinde ticaret rüzgârları yoktur ve hava sistemleri bir kaç gün süresinde hareket eder. Rüzgâr hızında, durgun bir havadan bir fırtınaya kadar çok farklı değişimler vardır. Elektrik enerjisi kullanımı zamana bağlı olduğu için rüzgârdaki günlük ve mevsimsel değişimlerin önemli bir göstergedir [1].

Tüm dünyada yaşanan bu gelişmelerle beraber, rüzgâr enerji kaynaklarına yönelim arttığı gibi ülkemizde de bu kaynaklara yönelme gözlenmekte ve kullanılması konusunda araştırmalar yapılmaktadır.

Dünyada rüzgâr enerji potansiyeli, 50° kuzey ve güney enlemleri arasındaki alanda 26.000 TWh/yıl olduğu ve ekonomik ve diğer nedenlerden dolayı 9.000 TWh/yıl kapasitenin kullanılabilir olduğu tahmin edilmektedir. Türkiye'nin de rüzgâr potansiyeli haritası çıkarılmış (Şekil 1.2) ve Türkiye'nin kara ve denizlerdeki rüzgâr kaynakları Çizelge 1.1 ve Çizelge 1.2'de gösterilmiştir. Buna göre, Türkiye rüzgâr enerji yıllara göre artış göstermektedir.



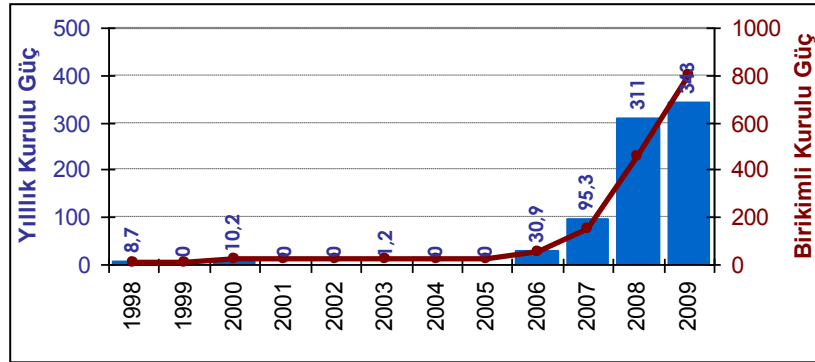
Şekil 1.2. Türkiye rüzgâr atlası [2].

Çizelge 1.1. Türkiye karaları için orta-mükemmel arası rüzgâr kaynağı, EİE.

Rüzgâr Kaynak Derecesi	50 m'de Rüzgâr Gücü (W/m ²)	50 m'de Rüzgâr Hızı (m/sn)	Toplam Alan (km ²)	Rüzgârlı Arazi Yüzdesi	Toplam Kurulu Güç, (MW)
Orta	300 – 400	6.8 – 7.5	16.781,39	2,27	83.906,96
İyi	400 – 500	7.5 – 8.1	5.851,87	0,79	29.259,36
Mükemmel	500 – 600	8.1 – 8.6	2.598,86	0,35	12.994,32
Mükemmel	600 – 800	8.6 - 9.5	1.079,98	0,15	5.399,92
Mükemmel	> 800	> 9.5	39,17	0,01	195,84
Toplam			26.351,28	3,57	131.756,40

Çizelge 1.2. Türkiye denizleri için (50 m derinliğe kadar) orta-mükemmel arası rüzgar kaynağı, EİE.

Rüzgâr Kaynak Derecesi	50 m'de Rüzgâr Gücü (W/m ²)	50 m'de Rüzgâr Hızı (m/sn)	Toplam Alan (km ²)	Rüzgârlı Arazi Yüzdesi	Toplam Kurulu Güç (MW)
Orta	300 – 400	6.8 – 7.5	1.385,98	9,26	6.929,92
İyi	400 – 500	7.5 – 8,1	1.026,64	6,86	5.133,20
Mükemmel	500 – 600	8.1 – 8,6	688,96	4,60	3.444,80
Mükemmel	600 – 800	8.6 - 9,5	348,51	2,33	1.742,56
Mükemmel	> 800	> 9.5	28,54	0,19	142,72
Toplam			3.478,64	23,25	17.393,20



Şekil 1.3. Türkiye rüzgar enerjisi kurulu gücünün yıllara göre dağılımı.

1.1.2. Rüzgâr Enerjisinin Tarihçesi

Rüzgâr enerjisi kullanımı M.Ö. 2800 yıllarında Orta Doğu da başlamıştır. M.Ö. 17. Yüzyılda Babil kralı Hammurabi döneminde Mezopotamya'da sulama amacıyla kullanılan rüzgâr enerjisinin, aynı dönemde Çin'de de kullanıldığı belirtilmektedir. Yel değirmenleri, ilk olarak İskenderiye yakınlarında kurulmuştur. Türklerin ve İranlıların ilk Yel değirmenlerini M.S. 7. yüzyılda kullanmaya başlamalarına karşın, Avrupalılar yel değirmenlerini ilk olarak Haçlı seferleri sırasında görmüşlerdir.

Rüzgâr enerjisinin ilk kullanımı denizciler tarafından deniz sandallarında olmuştur. Onlar bu durumun fiziksel çalışmasını, neyin nasıl çalıştığını bilmeseler de eski denizciler rüzgârın kaldırma gücünü kullanabiliyorlardı. İlk rüzgâr türbininin geliştirilmesi, değirmen ve su pompalamak amacıyla yapılan dikey eksenli sistemdir. Bu sistem 500–900 yılları arasında İran'da geliştirilmiştir ve su pompalamakta kullanılmıştır. Fakat yapısı hakkında detaylı bir yazılı metin veya bilgi mevcut değildir. Çalışma şekli döküman olarak günümüze ulaşan ilk rüzgâr türbini İran rüzgâr türbinidir. Tahtadan ve de kanatları bezden yapılmıştır [3].

Fransa ve İngiltere'de yel değirmenlerinin kullanılmaya başlanması 12. yüzyılda olmuştur. Avrupa, Haçlı Seferlerinde kazandığı bu teknoloji ile Roma İmparatorluğunun kaçırdığı bir serveti yakalamıştır. Roma İmparatorluğu gücünün zirvesindeyken para basmak için gereken altın ve gümüşü Avrupa dışındaki eyaletlerden sağlamaktaydı. Bu eyaletleri kaybettikten sonra Avrupa'daki fakir madenlerin işletilmesi denenmiş, ancak bu madenlerin yüzeysel kapasiteleri hızla tüketilip, derinlere inildikten sonra galerilerden su çıktığından, madenler terk edilmiştir. Giderek artan para ve ekonomik bunalımla birlikte, o dönemin yüksek hızlı enflasyonu Roma İmparatorluğunun sonunu getirmişti. Çünkü; Romalıların terk ettikleri madenlerin yeniden işletmeye açılması olduğu söylenir. Avrupalılar bunu yel değirmenleri yardımı ile galeri diplerindeki suları dışarı pompalayarak, yani rüzgâr enerjisini kullanarak başarmışlardır. 18.Yüzyılın sonunda yalnızca Hollanda'da 10.000 yel değirmeni bulunuyordu. Buhar makinesinin yapılması ve odun, kömür gibi yakıtlardan kesintisiz enerji üretimine başlanması ile rüzgâr enerjisi önemini yitirmiştir. Bununla beraber, rüzgâr türbini denilen ve elektrik üretiminde kullanılan ilk makineler 1890'ların başlarında Danimarka'da yapılmıştır. Aynı dönemde, bu makinelerin geliştirilmesi için Almanya'da da önemli çalışmalar yapıldığı bilinmektedir. Rüzgâr kuvvet makineleri yerlerini yakıtlı kuvvet makinelerine bırakırken, rüzgâr enerjisi kullanımının sürmesi için yeni bir teknoloji de başlıyordu. Ancak 19.yüzyılda geliştirilen ilk rüzgâr türbinlerinin verimleri düşüktü. 1961 yılında Roma'da birleşmiş milletler tarafından düzenlenen "Enerjinin Yeni Kaynakları Konferansı"nda ele alınan üç kaynaktan biri rüzgâr enerjisi idi. Böylece çok eskiden bu yana tanınan rüzgâr enerjisi, teknolojik gelişmelerle ele alınıyor, yeni ve yenilenebilir kaynaklar arasına sokuluyordu. 1961–1966 yılları

arasında Almanya’ da rotor çapı 35 m olan 100 kW’lık bir modelin geliştirilmesi üzerinde durulmuştur. 1970’lerde Danimarka’daki Gedser türbini, gücü 650 kW olan büyük türbinlerle değiştirilmiştir. Bu dönemde rüzgâr jeneratörleri üzerinde İsviçre, Avusturya ve İtalya’da da teknolojik çalışmalar yapılmıştır. Amerika’da 1970’lerde büyük tip yatay eksenli makineler üzerinde yeniden çalışılırken, dikey eksenli Darrieus tipi makineler üzerinde de çalışmalar başlatılmıştır. Ucuz petrol döneminde güncellik kazanamayan rüzgar enerjisi, 1974–1978 yılları arasındaki yapay petrol bunalımlarının ardından, gündeme daha çok girmiştir. Avrupa’da rüzgâr enerjisindeki gelişmeler II. Dünya savaşıdan sonra olmuştur. Danimarka’da 200 kW’lık Gedser rüzgâr türbini inşa edilmiş ve 1960’lara kadar başarı ile işletmede kalmıştır. Bu türbin, kompleks bir yapıya sahip olmamakla birlikte 3 kanatlı olarak yapılmıştır. Stall kontrol prensibine göre çalışan Gedser türbininde, ayrıca aerodinamik uç freni bulunmakta idi. Bu sistem günümüzde kullanılan stall kontrolü türbinlerinde hala bulunmaktadır [4]. Rüzgâr enerjisinin gelişimine, 1980’li yıllarda Uluslararası Enerji Ajansı eşgüdümünde yürütülen araştırma geliştirme çalışmalarının büyük etkisi olmuştur. Artık, eski tip rüzgâr jeneratörleri yerine modern ve çağdaş rüzgâr enerjisi çevrim sistemleri kurulmaktadır. Ayrıca, rüzgâr türbini ile beraber, dizel motor ve güneş fotovoltaik jeneratörü içeren rüzgâr-dizel hibrid sistemlerde geliştirilmiştir. Bir tüketiciyi besleyecek tek makine yerine, birden çok türbin içeren rüzgâr çiftlikleri ile elektrik şebekeleri için üretim yapılır olmuştur. ABD, Danimarka, Hollanda, İngiltere ve İsveç’in katkıları sonucunda, deniz üstünde, kıyıda uzakta rüzgâr santralleri kurulmuştur. Günümüzde şamandıra üzerine yerleştirilen rüzgâr türbinleri de vardır.

1.1.3. Dünyada Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerjisi yenilenebilir enerjiler arasındaki en gelişmiş ve ticari açıdan en elverişli enerji türüdür. Tamamıyla doğa ile uyumlu olup hem çevreye zarar vermeyen hem de tükenme ihtimali olmayan bir enerji kaynağıdır. Çevresel avantajları açısından da pek çok ülke, resmi teşviklerle rüzgâr enerjisini desteklemektedirler. Tüm bunların amacı, pazarı harekete geçirmek, maliyetleri düşürmek ve resmi teşviklerle şu an fosil yakıtların sahip olduğu haksız üstünlüğü ortadan kaldırmaktır. Çeşitli ülkelerde pazarı harekete geçirmeye yönelik farklı

politikalar izlenilmektedir. Rüzgâr teknolojisinin araştırma ve geliştirme girişimlerine verilecek destek bu teknolojinin elektrik enerjisi pazarında adil olarak rekabet edebilmesi ve son yıllardaki başarısını sürdürmesi için son derece önemlidir. Dünyada rüzgâr santrallerinin kurulu gücü hızlı bir artış göstermektedir.

Avrupa'da en büyük kurulu güç Almanya'da olup, onu İspanya, Danimarka, Hollanda, İngiltere, İtalya, Yunanistan ve İsveç izlemektedir. Amerika kıtasında en büyük kurulu güç Amerika Birleşik Devletleri'nde olup onu çok geriden Kanada takip etmektedir. Asya'da Hindistan, Çin ve Japonya rüzgâr santrallerine önem vermektedir. Son on beş yıldır Amerika'da yeni bir rüzgâr endüstrisi doğmuştur. 1996–2009 yılları arası California'da yaklaşık 15000 rüzgâr türbini kurulmuştur. 370 MW gücündeki Kenetech Rüzgâr Çiftliği dünyanın en büyük rüzgâr santralidir. 8160 hektar alan kaplayan bu çiftlikte 100 kW 'lık 3500 adet ve 300–400 kW 'lık 40 adet türbin bulunmaktadır. Ancak 3 yılda bu türbinlerden daha modernleri geliştirilmiştir. Avrupa'da rüzgâr teknolojisi hızla gelişmektedir. 1995 yılında yeni türbinler 600 kW güçte iken 1998 geliştirilen türbinlerin gücü 2 MW' tır. Almanya yaptığı atakla 1998 sonunda rüzgâr kurulu gücünü 2875 MW'a çıkarmış, kurulu gücü 1820 MW 'ta kalan ABD yi geçmiş ve birinciliği elde etmiştir. Avrupa'da 2010 da 12 MW 'lık deniz üstü rüzgar santrali çalışır durumdadır ve deniz üstü kurulu gücün kısa zamanda 180 MW 'a çıkarılması planlanmıştır. 2030 yılında rüzgâr kurulu gücünün deniz üstü payının %25'den az olmayacağı beklenmektedir. Teknolojik gelişimle rüzgâr türbinlerinin ünite güçleri arttırılırken son beş yıl içerisinde fiyatları düşürülmüştür. Karada kurulan türbinlerin birim fiyatları 1600– 1800 dolar/kW' kadar çıkabilmekte ise de ABD iç piyasasında 750 dolar/kW düzeyine inildiği belirtilmektedir.

1.1.4. Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi

Türkiye'deki rüzgâr enerjisi kaynakları teorik olarak Türkiye'nin elektriğinin tamamını karşılayabilecek yeterliliktedir. Fakat rüzgâr enerjisinin sisteme girişinin tutarlı bir biçimde gerçekleşmesini kolaylaştırmak üzere gerekli altyapı tasarlanmalıdır. Türkiye'nin teknik potansiyeli 83.000 MW dır. Bu, Türkiye'nin biran önce kullanması gereken önemli bir rüzgâr enerjisi potansiyeli olduğunu göstermektedir. Türkiye'nin Anadolu ve Rumeli kısımlarına dengeli bir dağılımla

seçilen 20 meteorolojik istasyon çevresinde Türkiye Rüzgâr Atlası çalışmaları Dr. Tanay Sıdkı Uyar ve çalışma arkadaşları tarafından 1989 yılında tamamlanmıştır. Bu çalışma meteoroloji istasyonlarında toplanan verilerin rüzgâr enerjisinden yararlanmak amacıyla yapılacak çalışmalarda kullanılabilecek düzeyde temsili olmadığını kanıtlamıştır. Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği TUREB' in kuruluşundan sonra yatırımcılar, akademisyenler, imalatçılar ve diğerleri Türkiye'de rüzgâr enerjisi gelişimini desteklemek üzere bir araya gelmişlerdir. 1996 yılında da Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB)'nin Türkiye'de rüzgâr enerjisi kullanımına ilişkin politikası pek iyimser değildi. Resmi açıklamalar Türkiye'de rüzgâr enerjisi gelişimine çok şans tanımıyorlardı. Son üç yıldır, TUREB'nin çabaları ve Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) ile Elektrik İşleri Etüt İdaresinin (EİEİ) TUREB çalışmalarına katılımı sonrası Türkiye'deki rüzgâr enerjisi potansiyeli kabul görmeye başlamıştır.

1973–1978 yılları arasındaki petrol krizinden sonra Tarım Bakanlığı tarafından yapılan kırsal enerji makineleri envanterinde kullanılıp kullanılmadığına bakılmaksızın, 871 adet su çıkarma ve 23 adet elektrik üretim amaçlı rüzgâr türbini olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu rüzgâr makineleri güçleri 1 kW'ın altında güce sahip olup yerli olanları ilkel yapıydı. Türkiye'de rüzgâr enerjisi üzerinde yapılan bilimsel çalışmalar 1960'larda Ankara Üniversitesi, 1970'lerde Ege Üniversitesi daha sonraki yıllarda ODTU'de yapılmış olup, 1980'li yıllarda TÜBİTAK-MAM da bünyesinde bazı çalışmalar yapılmıştır. MAM'da ilk rüzgar atlası çalışması başlatılmıştır. Gebze-Özbek tepede pompa çalıştırma ve elektrik üretim amaçlı çeşitli rüzgâr türbinleri kurularak denenmiştir [5]. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na bağlı Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE), 1981 yılından bu yana, rüzgâr enerjisi çalışmaları yapmaktadır. 1989 yılında bu kurumda rüzgâr Enerjisi Şube Müdürlüğü oluşturulmuştur. Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesi ve tespit edilmesi amacıyla Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü istasyonlarında yapılmış uzun dönemli ölçümlere dayalı istatistikler, EİE idaresi tarafından 1984'de tamamlanan “Türkiye Rüzgâr Enerjisi Doğal Potansiyeli” çalışmasında değerlendirilmiştir. Türkiye'de rüzgâr enerjisinin gelişiminin önündeki sorunları belirlemek üzere 2008 yılında İbre otel Sarıverme Park Ortaca' da Kocaeli Üniversitesi Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Teknolojileri Araştırma

Birimi tarafından 3 adet Uluslararası Rüzgâr Enerjisi Atölye Çalışması düzenlenmiştir. Bu atölye çalışmalarına katılanlar daha sonra uzun süreli ortaklıklar kurmuş ve Türkiye’de rüzgâr enerjisi kullanımı çalışmaları yaygınlaşmıştır. Kocaeli Üniversitesi YEKAB birimi tarafından 2008 yılında İstanbul’da koordinasyonu ve tasarımı yapılan 2 adet uluslararası enerji teknolojileri fuarı kamuoyu ve karar vericilere modern rüzgâr türbinlerinin gelişmişliğini göstermiştir [6].

BÖLÜM 2

RÜZGÂR TÜRBİNİ TİPLERİ VE KULLANILDIKLARI YERLER

Tarih boyunca çeşitli evrimler geçiren rüzgâr makinelerinde (RT) kullanılan türbinler farklı tiplerdedir. Şimdiye kadar değişik nitelikte ve tipte geliştiren bu RT'lerden bazıları günümüzde ticari hale gelmiştir. RT'ler dönme eksenine göre üç gruba ayrılırlar:

- a) Yatay eksenli rüzgâr türbinleri
- b) Dikey eksenli rüzgâr türbinleri
- c) Eğik eksenli rüzgâr türbinleri

2.1. YATAY EKSENLİ RÜZGÂR TÜRBİNLERİ (YERT)

Bu türbinlerde dönme eksenini rüzgâr yönüne paralel, kanatlar rüzgâr yönüne diktir. Şekil 2.1'de yatay eksenli bir rüzgar türbini gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Yatay eksenli rüzgar türbini (YERT).

Bu türbinlerde rotor kanatların sayısı azaldıkça rotor daha hızlı dönmektedir. Bu türbinlerin verimi yaklaşık %45'tir. YERT genel olarak yerden 20-30 m yüksekte ve çevredeki engellerden 10 m yüksekte olacak şekilde yerleştirilmelidir. Rüzgâr hızının, rotor kanadı uç hızına bölünmesi ile elde edilen orana kanat uç hız oranı (λ) denir.

Eğer;

$\lambda= 1-5$ Çok kanatlı rotor,

$\lambda= 6-8$ Üç kanatlı rotor,

$\lambda= 9-15$ İki kanatlı rotor,

$\lambda>15$ Tek kanatlı rotor kullanılır.

YERT, farklı sayıda rotor kanadına sahip olan ve rüzgârı önden alan veya rüzgârı arkadan alan sistemler olarak da çeşitlilik gösterirler [7].

2.1.1. Rüzgârı Önden Alan Makineler

Yıllardır yaygın olarak kullanılan bu makinelerde rotor yüzü rüzgâra dönüktür. En önemli üstünlüğü kulenin arkasında olacak rüzgâr gölgeleme etkisine çok az maruz kalmasıdır, yani rüzgâr kuleye eğilerek varır. Kule yuvarlak ve düz olsa bile kanadın kuleden her geçişinde türbinin ürettiği güç biraz azalır. Bu nedenle rüzgâr çekilmesinden dolayı kanatların sert yapılması gerekir ve kanatların kuleden biraz uzakta yerleştirilmesi gerekir. Ayrıca, önden rüzgârlı makineler, rotoru rüzgâra karşı döndürmek için yaw (türbinin yatay hareketi) mekanizmasına gerek duyarlar Şekil 2.2'de rüzgarı önden alan bir grup rüzgar türbin örneği gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Rüzgarı önden alan makineler.

2.1.2. Rüzgârı Arkadan Alan Makineler

Bu makinelerin rotorları kule arkasına konur. Bunların önemli üstünlüğü rüzgâra dönmek için “Yaw” mekanizmasına gerek duymayışlarıdır. Eğer nicelle (kol estetiği) ve rotor uygun tasarlanırsa, nicelle rüzgârı 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 rüzgârlı makinelere göre daha hafif yapılması sonucu kule yükünün azalmasıdır. Ancak, kanat kuleden geçerken meydana gelen güç dalgalanması, türbine önden rüzgârlı makinelere göre daha çok zarar verir. Şekil 2.3’de rüzgârı arkadan alan bir rüzgar türbini gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Rüzgârı arkadan alan rüzgar türbini.

2.1.3. Tek Kanatlı Rüzgâr Türbinleri

Tek kanatlı RT'nin yapılmasının sebebi, kanat sayısına göre dönme hızının yüksek olması ve bu sayede makine kütlesini ve rotorun döndürme momentinin azalmasıdır. Ek olarak rotor kanadı, kanat üzerindeki yapısal yükleri azaltacak mekanizma ve kanat mekanizma hareketinin düzgün olabilmesi için tek menteşe ile sabitleştirilip karşı ağırlıkla dengelenmelidir. Diğer taraftan tek kanatlı rotorlarda, ilave yüklerden ortaya çıkan aerodinamik balanssızlık ve mekanizma hareketinin kontrol altında tutulması için sağlam monte edilmelidir. En önemli ticari dezavantajı, 120 m/sn civarındaki kanat uç hızının sebep olduğu rotorun aerodinamik gürültü seviyesidir.

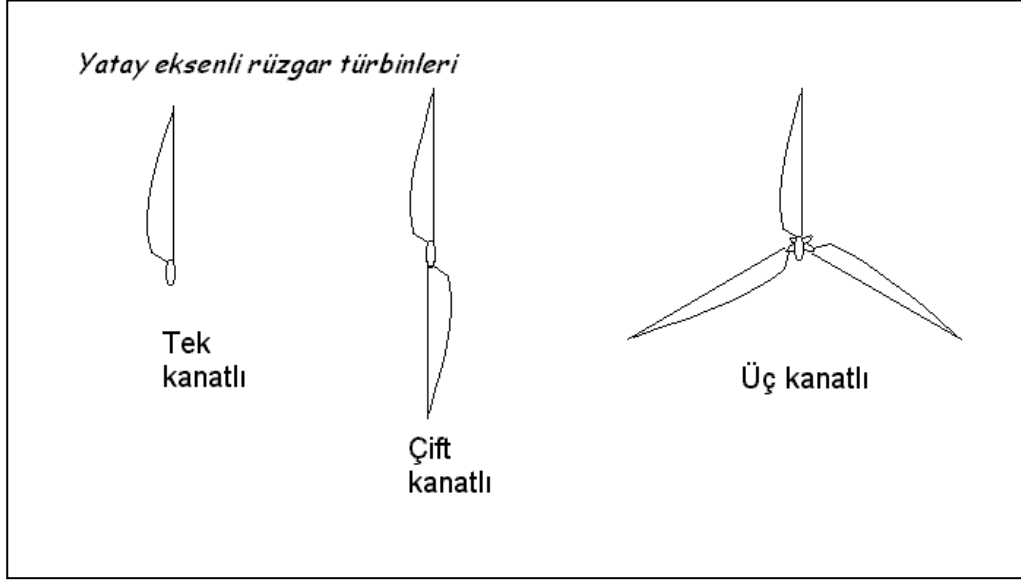
Bir kanatlı RT'nin kanat uç hızı, üç kanatlı RT ile karşılaştırıldığında iki kat daha yüksektir ve daha fazla gürültü üretmektedir. Tek kanatlı rüzgar türbini şekil 2.4'te gösterilmiştir.

2.1.4. Çift Kanatlı Rüzgâr Türbinleri

Üç kanatlı türbinlere göre rotor maliyetinin azaltılmak istenmesi bu türbin fikrini doğurmuştur. Birçok ülkede 10 m ile 100 m rotor çapı ölçülerinde RT'ler tasarlanıp 1996 Avrupa ve ABD'de çalışmaya başlamıştır. Bu ticari RT'lerden sadece birkaç tanesi prototip durumundan seri üretime geçebilmiştir. İki kanatlı rotorun balansı, bir kanatlı rotora göre daha düzgündür. Fakat iki kanatlı rotorun sebep olduğu dinamik hareketleri önlemek için ilave teknik güç maliyetin daha fazla artışına sebep olmaktadır. Kanadın yerden yüksekliğinin (Hub'ın) titreşimini azaltmak için rotora kadran sistemi ilave edilir. Bu kadran, rotor şaftına dikey ve iki rotor kanadına dik yerleştirilir. Üç kanatlı rotorla karşılaştırıldığında en büyük avantajı kanat uç hızlarının yüksek olmasıdır. Bu tip RT'nin gürültü seviyesinin yüksek olması ve düşük rüzgâr hızlarında (3 m/sn) çalıştırılması dezavantajdır. İki kanatlı rüzgar türbini Şekil 2.4'te gösterilmiştir.

2.1.5. Üç Kanatlı Rüzgâr Türbinleri

Üç kanatlı modern türbinler, günümüzde 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, hub içinde titreşimi önleyici pahalı parçalara gerek yoktur. Kanat uç hızı 70 m/sn'nin altında olduğundan gürültünün düşüklüğü, sarsıntısız döndükleri için göz estetiğini bozmamaları önemli avantajları olup halk tarafından kabulünü sağlamıştır. Küçük güçlü RT'lerde, üç kanatlı rotor kullanıldığında güç problemleri ortaya çıkar. Bu problemin çözümü için düşük devirde dönen rotorun devir sayısını $1/n$ oranında arttıran dişliler kullanılır ve "Cut in" olarak adlandırılan hız değerine ulaşmaya kadar, jeneratör boşa çalıştırılır.



Şekil 2.4. Yatay eksenli rüzgar gülü kanat sayılarına göre türbinler.

2.1.6. Çok Kanatlı Rüzgâr Türbinleri:

Çok Kanatlı RT'ler (rüzgârgülleri), 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 artım gösterir. Rüzgârgülleri, rüzgârgülü pervane düzleminin rüzgâr hız vektörünü her zaman dik olarak alabilmesi için de, Rüzgâr gülü yönlendiricisi taşımaktadırlar. Çok kanatlı bir rüzgar gülü Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Çok kanatlı rüzgar türbini.

2.2. DİKEY EKSENLİ RÜZGÂR TÜRİNLERİ (DERT)

Dönme eksenleri rüzgâr yönüne dik ve düşey olan bu türbinlerin kanatları da düşeydir. DERT rüzgârı her yönden kabul edebilme üstünlüğüne sahiptir. Bu türbinler rüzgârı sürükler veya kaldırır. İlk harekete geçişleri güvenilir değildir. Bu türbinlerin verimi yaklaşık %35'tir Türbinlerin üreteç ve vites kutusu toprak seviyesinde kurulabildiğinden kuleye gerek duymazlar. Bu yüzden düşük rüzgâr hızlarında çalışmak zorunda kalırlar ve Yaw mekanizmasına ihtiyaçları yoktur. Düşük rüzgâr hızları ve az miktarda su pompalamak için tasarlanmışlardır. Kanat sayısının artması malzeme ağırlığını da beraberinde getirdiğinden, yüksek rüzgâr hızlarında verimsiz çalışırlar. Şekil 2.6'da dikey eksenli rüzgar türbini gösterilmiştir [8-11].

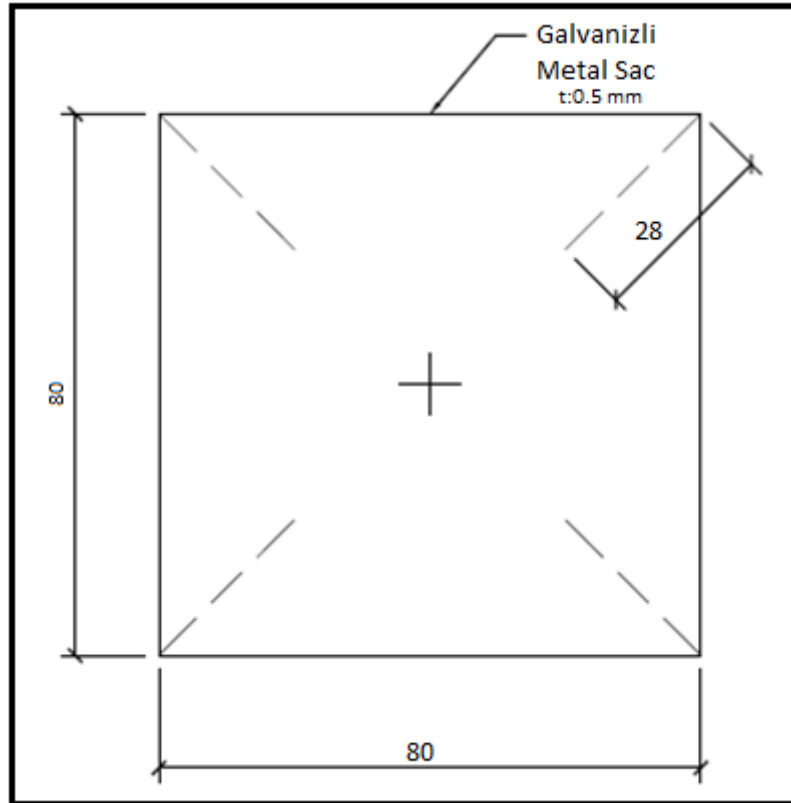


Şekil 2.6. Dikey eksenli rüzgar türbini.

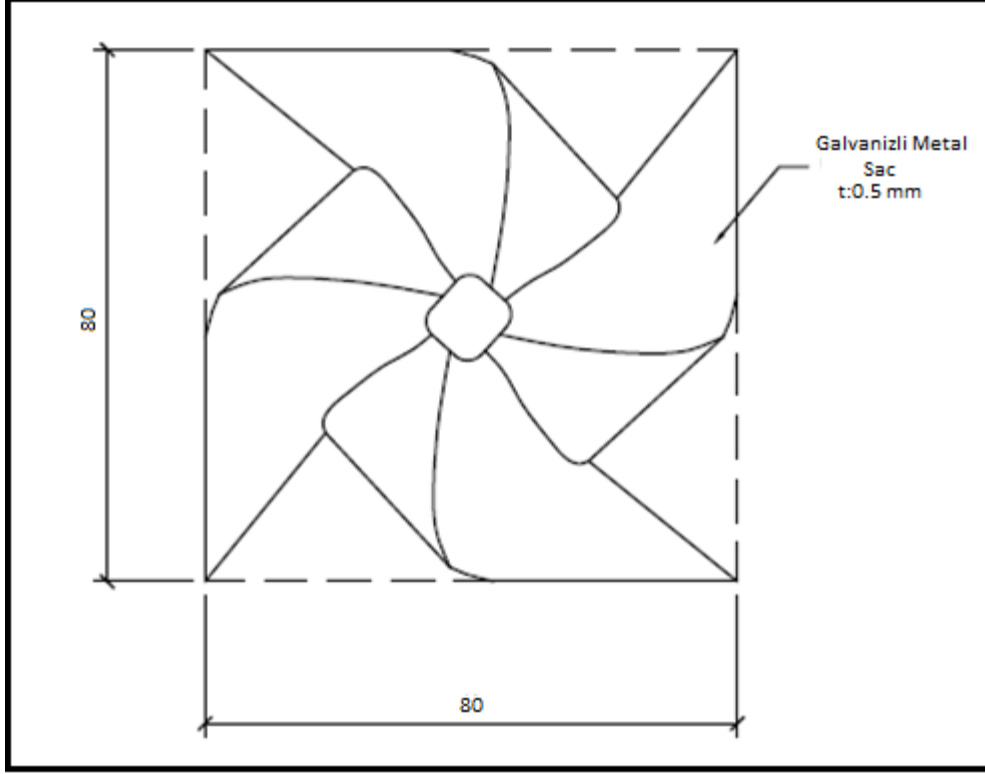
BÖLÜM 3

KANAT MODELLEMESİ VE İMALATI

Tasarımı yapılan rüzgâr türbininde hava turbülansları en aza indirilmiş ve elektrik üretimindeki ivme sabitlenerek, sinüzoidal dalgalanması minimuma düşürülmüştür. Kanat yatay ve düşey eksenli çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. Ancak dikey eksenli rüzgâr türbini imal edilecektir. Havanın dik bir şekilde kanat yüzeyiyle buluşmasını her yere yayabilmek için tasarımı klasik rüzgâr türbinlerinden farklı helezonik şeklinde tasarlanmıştır. Dörtgen kanatlı rüzgar gülü kanadı tasarlanıp ölçüleri hesaplanarak Şekil 3.1'deki gibi çizilmiştir.



Şekil 3.1. Dörtgen kanatlı rüzgâr gülü kanadı tasarımı.



Şekil 3.2. Dörtgen kanatlı rüzgar gülü tasarımı çizimi.

Bu kanat tasarımının amaçları kısaca şu şekilde özetlenebilir.

- Elektrik üretimindeki akım ve gerilim ivmelenmelerini elektronik olarak değil mekanik olarak çözümlenmek.
- Kanat ağırlığını galvanizli metal sac sayesinde minimuma indirmek.

Sac kalınlığı 0,5 mm olarak kullanılan galvanizli sacın avantajları aşağıda sıralanmıştır:

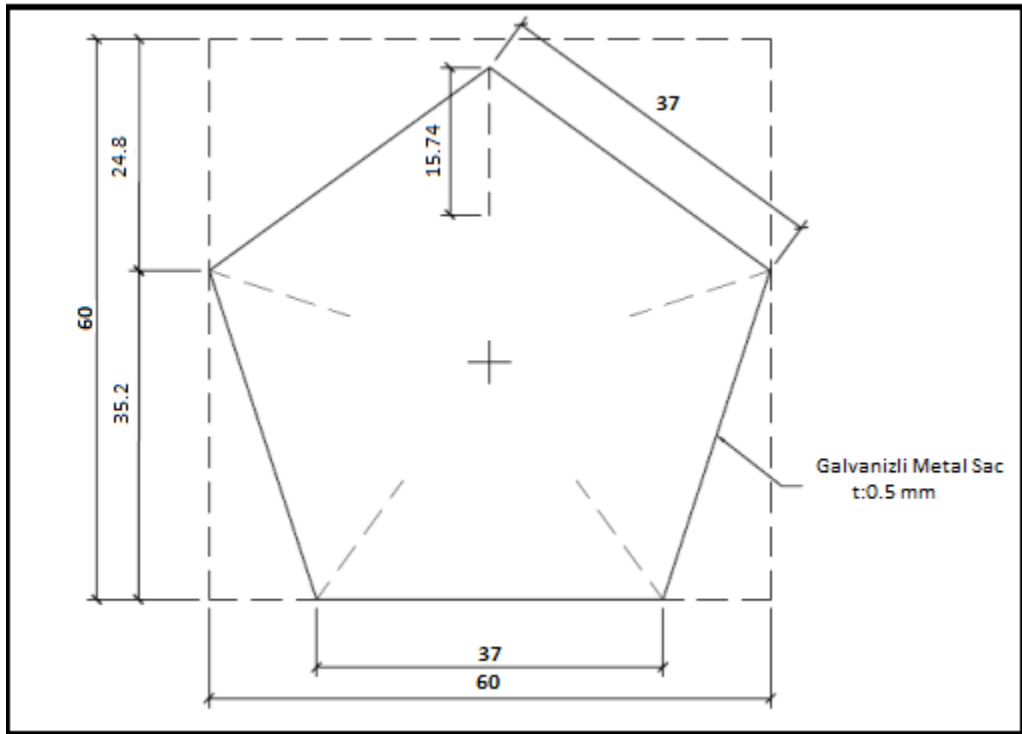
- Darbelere karşı dayanımının yüksek olması.
- Sac şekillendirme işlemlerine imkan sağlaması.
- Paslanmaz bir kimyaya sahip olması.

Sac üzerinde gerekli ölçülerde çizimler yapılarak ilgili kısımlar sac makası yardımı ile kesilmiştir. Uygun açılarda ilgili yerlerinden saca MIG kaynak yapılmıştır.

Bükülen yerin ucundan MIG kaynağı yapılarak daha sağlam hale gelmiş kanatlar oluşturulmuştur. Deneyler Osmaniye'nin Bahçe ilçesinde (Gökçe Tepe) yapılmıştır.



Şekil 3.3. Rüzgâr gülü kanat imalat aşamasından bir görüntü.



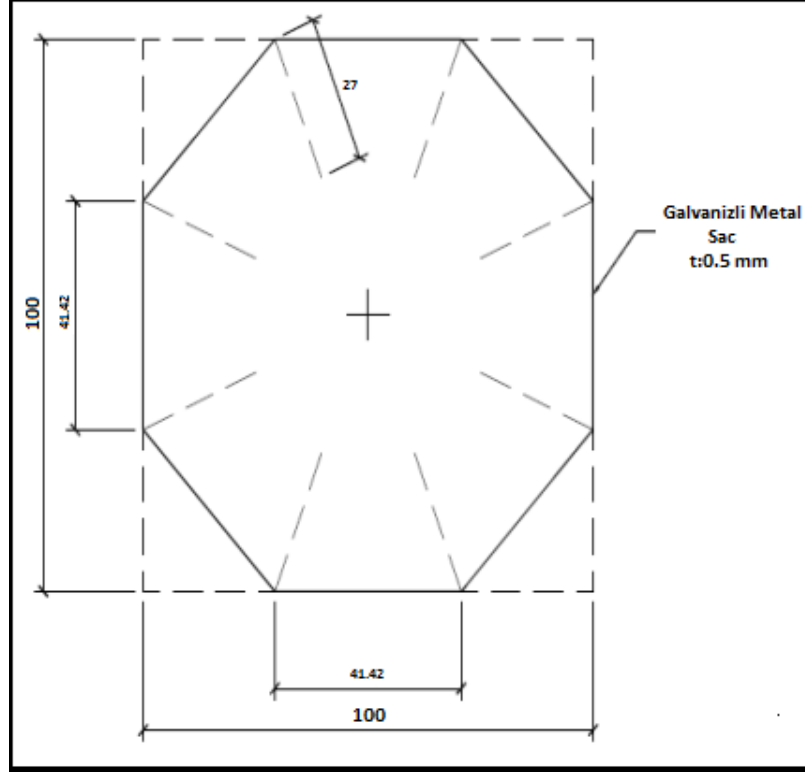
Şekil 3.4. Beşgen kanat çizim tasarımı.



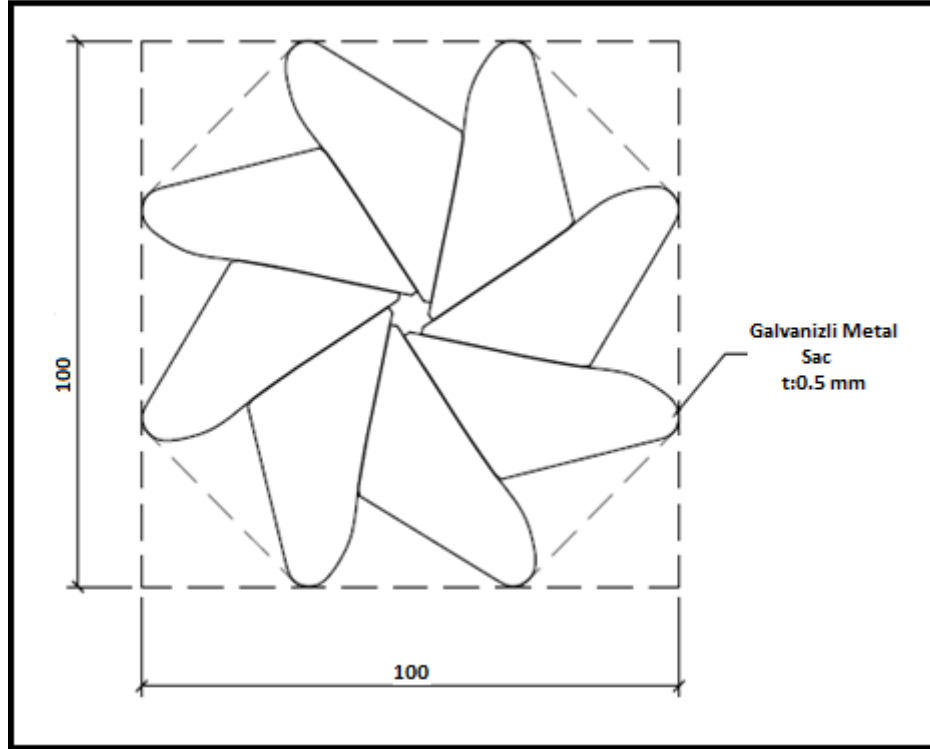
Şekil 3.5. Beşgen rüzgâr türbini kanat tasarım görüntüsü.



Şekil 3.6. Rüzgar gülü kanat imalat aşamasından bir görüntü.



Şekil 3.7. Sekizgen kanat çizim tasarımı.



Şekil 3.8. Rüzgâr gülü sekizgen çizimi tasarımı.



Şekil 3.9. Rüzgâr gülü sekizgen konstrüksiyonu.

Şekil 3.10’da altı kanatlı rüzgâr türbinin Gökçe Tepe’den (Osmaniye’nin Bahçe ilçesi) görünüşü yer almaktadır.



Şekil 3.10. Rüzgâr gülü Gökçe Tepe görüntüsü.

3.1. RÜZGÂR ÖLÇERLER (ANEMOMETRE)

Anemometre bilindi üzere rüzgâr /hava hızını ölçen bir cihazdır. Bu cihazlar rüzgâr ölçer olarak da bilinir. Havalandırma sistemlerinde ve Meteoroloji istasyonlarında kullanılır. Şekil 3.11’de de görüldüğü gibi, bir dikey eksene ve rüzgârı tutan uç fincana sahipler. Dakikadaki devir sayıları elektronik olarak kaydedilir. Anemometreler fincanlar yerine pervanelerle de donatılabilirler ama bu yaygın değildir. Bunların dışında sesin fazla yükselmesi ve hava moleküllerinden yansıyan coherent ışığını tespit eden ses üstü ve lazer anemometreleri de vardır. Sıcak kablo anemometreleri rüzgâr ve rüzgâr karşı yerleştirilen kabloların arasında meydana gelen dakikalık sıcaklık farkından dolayı rüzgâr hızını tespit ederler. Mekanik olmayan anemometrelerin avantajı buzlanmaya karşı daha az hassas olmalarıdır. Bununla beraber uygulamada fincan anemometreleri her yerde kullanılmakta olup elektrikle ısıtılan mil ve fincanlı özel modeller kutuplarda da kullanılmaktadır.



Şekil 3.11. Yaygın olarak kullanılan tipik analog rüzgâr ölçer (anemometre).

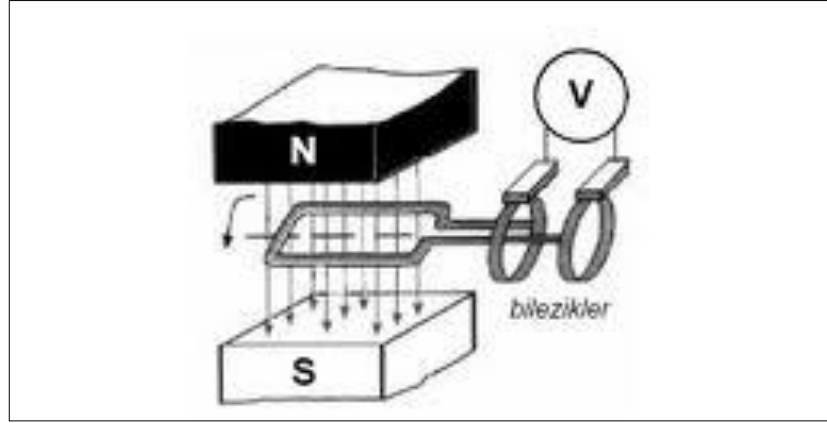


Şekil 3.12. Elektronik rüzgâr ölçer (anemometre).

Şekil 3.12’de bilgisayar girişli ve hafızalı elektronik bir anemometre yani rüzgâr ölçer gösterilmiştir. Rüzgâr enerjisi üretiminde doğru rüzgâr değerlerinin elde edilmesi çok önemlidir. Çünkü enerji potansiyeli tespit edilecek bölgenin rüzgâr karakteristikleri bu bölge için seçilecek türbin elemanlarının seçimini, yerleşimini önemli ölçüde etkiler.

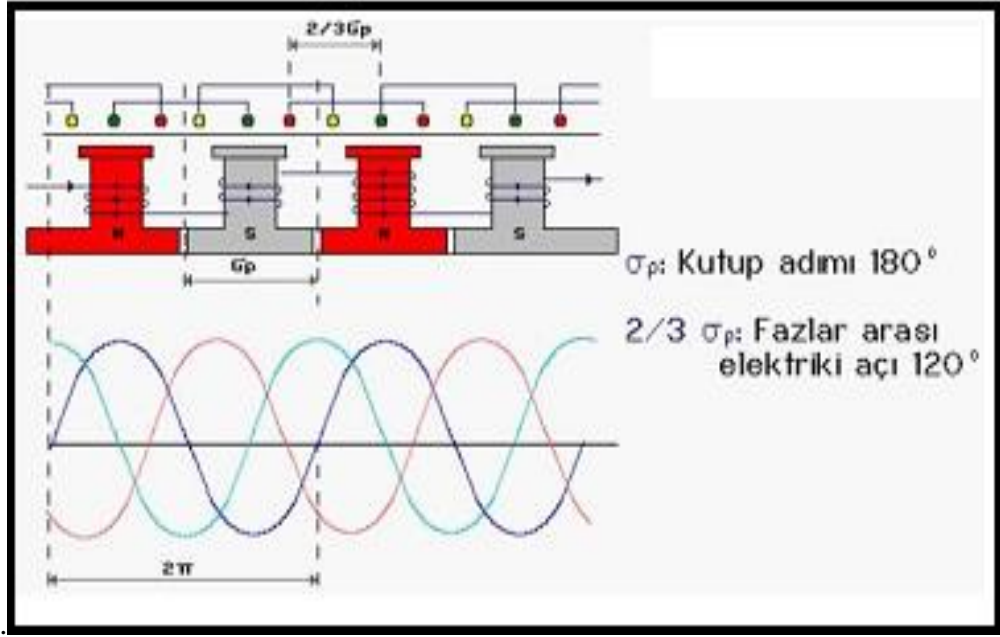
3.2. ALTERNATÖRLERİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Alternatörler kendisine verilen mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren bir elektrik makinesidir. Mıknatıs alanı içinde dönen bir iletkende endüksiyon yolu ile bir elektro motor kuvveti (e.m.k) oluşması prensibine göre çalışır.



Şekil 3.13. Alternatörün çalışma prensibi.

Alternatörün çalışması, bir doğru akım jeneratörünün çalışmasına benzer. Ancak kollektör kaldırılmış yerine bilezikler konulmuştur. Şekil 3.13’de alternatörün çalışma prensibi şematik olarak gösterilmiştir. Bu şekilde kutuplar sabit, endüvi hareketlidir. Bu prensip küçük güçlü alternatörlerde uygulanır. Büyük güçlü alternatörlerde kutuplar hareketli endüvi ise sabittir. Döner kutuplardaki sargıların bir mıknatıs alanı oluşturması için bu sargılara fırça ve bilezikler yolu ile doğru akım uygulanır. Böylece endüvi sargılarında endüksiyon yolu ile bir emk. oluşması sağlanır. Endüvide oluşan bu emk. fırça ve bileziklere gerek kalmadan doğrudan doğruya dış devreye alınır. Şekil 3.14’de üç fazlı bir alternatörün endüvi ve endüktör sargılarının açılımı ile bu alternatörde tam bir devirde endüklenen gerilimin şekli gösterilmiştir [12,13].



Şekil 3.14. Üç fazlı bir alternatörün endüvi ve çıkıntılı kutup sargılarının açılımı ve üç fazlı gerilim eğrisi.

3.3. ELEKTRİKSEL GÜÇ HESABI

Akım ve gerilim değerleri her an değişeceğinden, güç değeri de değişecektir. Bu yüzden alternatif akım devrelerinde “ortalama güç”ten bahsedilir. Bir alternatif akım devresinde akımın etkin değeri I_e , potansiyel farkının etkin değeri V_e , akım ile gerilim arasındaki faz farkı ϕ ise, güç:

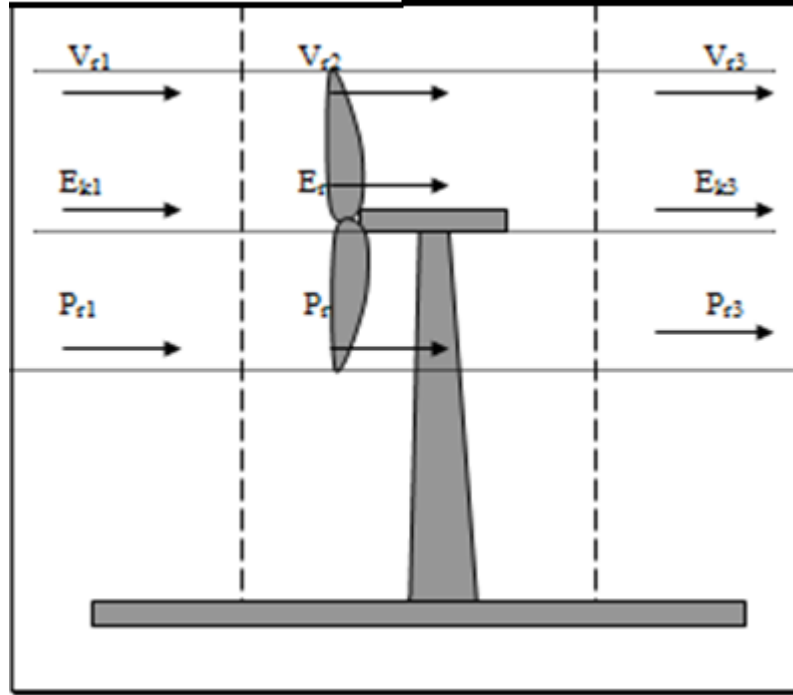
$$P = I_e \cdot V_e \cdot \cos\phi$$

şeklinde ifade edilir.

Evlerde kullandığımız elektrik sayaçları şehir şebekesinden çektiğimiz güçle orantılı olarak dönen bir disk esasına göre çalışır. Böylece sonuç kilowatt-saat (kWh) olarak numaratörde görünür. Enerji değerleri kilovolt-amper-saat (KVAh) olarak da verilebilir. Bu kWh’e eşit değildir.

3.3.1. Rüzgâr Türbini Gücü

Sabit (V_r) hızla esen rüzgâr, kinetik enerjisinin bir kısmını rüzgâr pervanesi (rotor) yardımıyla rüzgâr türbinine aktarır. Türbindeki enerji türbin öncesi rüzgâr enerjisi ile türbin sonrası farkına eşittir. Şekil 3.15’de rüzgâr türbininin öncesindeki rüzgâr türbini düzlemindeki ve sonrasındaki hız, enerji ve güç değerleri şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Rüzgâr türbini.

$$E_{rt} = E_{r1} - E_{r3} \quad (W_s) \quad (3.1)$$

Rüzgâr Gücü:

$$P_{rt} = P_{r1} - P_{r3} \quad (W) \quad (3.2)$$

Bağıntısıyla ifade edilir. Gerekli cebirsel işlemler yapılırsa,

$$P_{rt} = \frac{1}{2}mV_{r1}^2 - \frac{1}{2}mV_{r3}^2 \quad (3.3)$$

Rüzgar Gücü

Sabit hızla (V_r) esen rüzgarın birim kütledeki kinetik enerji:

$$E_{kr} = \frac{1}{2}mV_r^2 \quad (3.4)$$

Bağıntısıyla ifade edilir. Kinetik enerjinin zamana göre türevi alınır, rüzgar gücü elde edilir:

$$P_r = \frac{d(E_{kr})}{dt} = \frac{d\left(\frac{1}{2}mv_r^2\right)}{dt}, \quad (V_r = \text{sabit}) \quad (3.5)$$

Buradan da rüzgâr gücü

$$P_r = \frac{1}{2}mV_r^2 \quad (3.6)$$

Olacaktır. Burada $m = \rho AV_r$ kütleli debisi yerine konulursa, A alanlı bir kesitten geçen rüzgârdaki güç,

$$P_r = \frac{1}{2}\rho AV_r^3 \quad (3.7)$$

elde edilir. Burada $A = \pi R_{\sigma_{cr}}^2$ yerine konulursa, rüzgardan elde edilen güç:

$$P_r = \frac{1}{2}\rho \pi R_{\sigma_{cr}}^2 V_r^3 \quad (W) \quad (3.8)$$

olarak olur.

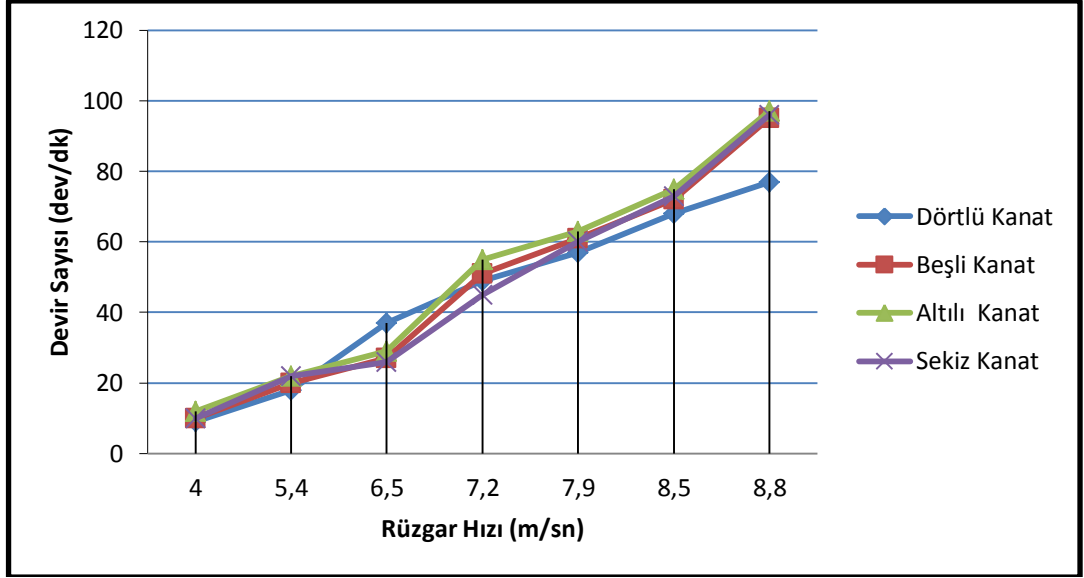
BÖLÜM 4

DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Deney düzeneği Osmaniye'nin Bahçe ilçesindeki yüksek bir tepeye (Gökçe Tepe) çıkılarak hazırlanmış ve deneyler burada yapılmıştır. Rüzgâr hızı değişken olduğundan, rüzgâr hızının en fazla olduğu anlarda sonuçlar kaydedilmiştir. Dolayısı ile tablolardaki sonuçların tamamı anlık değerlerdir. Yapılan deney sonuçları değerlendirildiğinde daha önce ki galvanizli metal sac, rüzgâr güllerine dört farklı kanadın kanat sayısı, fazla olanın az olanına göre yakın sonuçlar alındığı gözlemlenmiştir. Rüzgâr hızı 4 m/sn ile 10 m/sn arasında belirlenirken devir sayısının 9 (dev/dk) ile 97 (dev/dk) elde edildi. Rüzgâr hızları 4 m/sn ile 10 m/sn olan kanatlardan 36 W ile 296 W'lık güç olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.1. Deneylerin sonuçları.

	4. kanatlı	5.kanatlı	6.kanatlı	8.kanatlı
Giriş hızı	dev/dk	dev/dk	dev/dk	dev/dk
m/sn				
4	9	10	12	10
5	18	20	22	22
6	37	27	29	26
7	57	51	55	60
9	68	72	75	73
10	77	95	97	96



Şekil 4.1. Kanat devir sayısının rüzgâr hızına göre değişimi.

Şekil 4.1’de kanat devir sayısının rüzgâr hızına göre değişimi gösterilmiştir. Rüzgâr hızı 4 m/sn den sonra kayda değer devir sayısı oluşmuştur. Daha az rüzgâr hızının olduğu anlardaki devir sayısının dikkate alınmadığı belirtilmelidir.

Çizelge 4.2. Dört kanat devir sayısının rüzgâr hızına göre deneyi.

Devir (dev/dk)	Rüzgâr (m/sn)
9	4,2
18	5
37	6,3
49	7
57	7,2
68	7,4
77	8,1

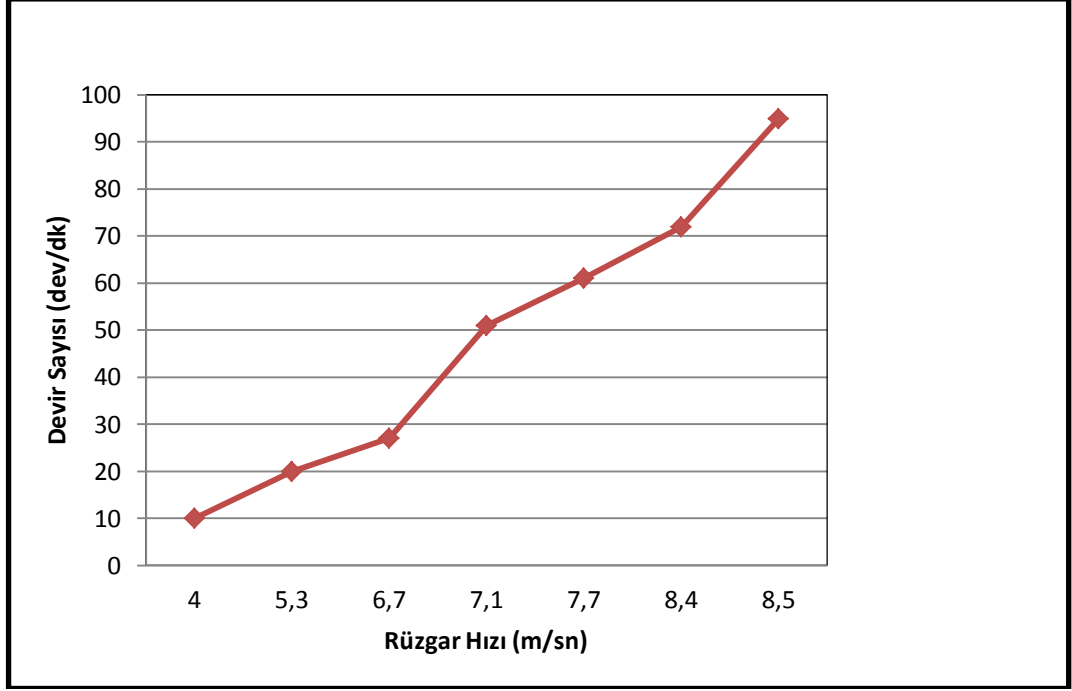


Şekil 4.2. Dört kanatlı rüzgar gülünde devir sayısının rüzgar hızına göre değişimi.

Şekil 4.2’de dört kanatlı rüzgar gülünün devir sayısının rüzgar hızına göre değişimi gösterilmiştir. Yüksüz halde 4,2 m/sn rüzgar hızında 9 dev/dk dönüş yapan türbin yüklü halde iken 5 m/sn ye kadar dönüş hareketi yapamamıştır. Bunun sebeplerinden biri kanat ağırlığı ve kayış - kasnak arasındaki sürtünmelerdir. Burada yüklü durumda rüzgar hızı 5 m/sn’ye kadar ulaştığında kanat dönüşünün yavaş yavaş gerçekleştiği görülmüştür. Bu, kayış-kasnak arasındaki sürtünme ve elektrik üretimi esnasında alternatördeki kutuplar ile gövde sargıları arasında bir çekim kuvveti olduğundan kaynaklanmıştır.

Çizelge 4.3. Beşgen kanatlı devir sayısının rüzgar hızına göre deneyi.

Devir (dev/dk)	Rüzgâr (m/sn)
10	4
20	5,3
27	6,7
51	7,1
61	7,7
72	8,4
95	8,5

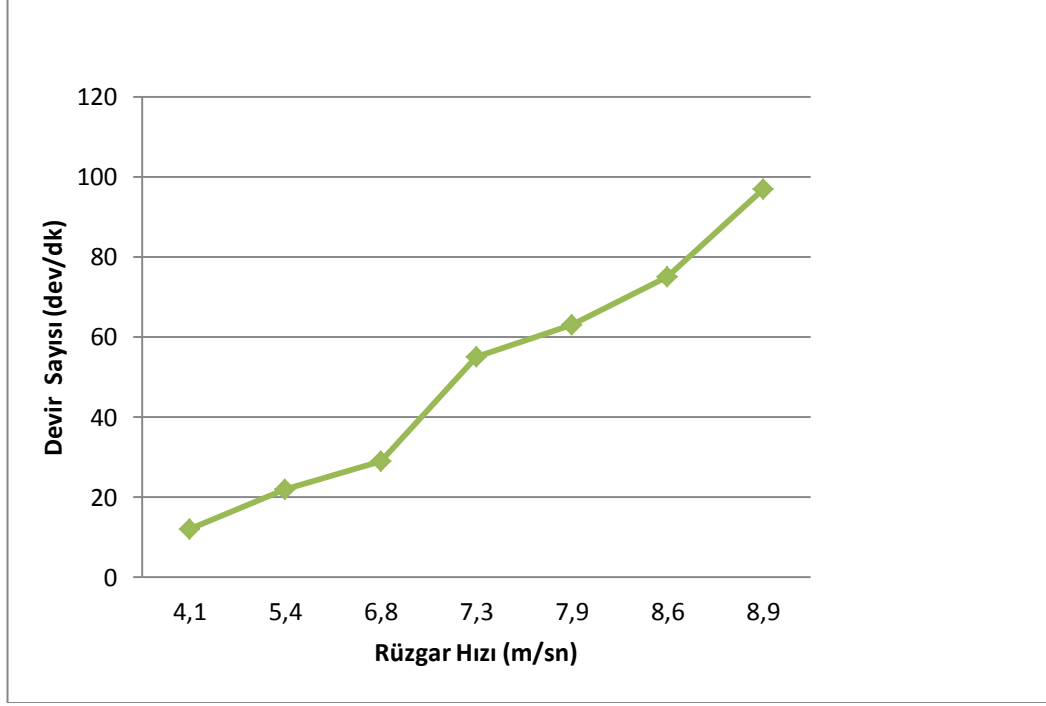


Şekil 4.3. Beşgen kanatlı rüzgar gülü devir sayısının rüzgar hızına göre değişimi.

Şekil 4.3’de beş kanatlı rüzgar gülünün devir sayısının rüzgar hızına göre değişimi gösterilmiştir. Yüksüz halde 4 m/sn rüzgar hızında 10 dev/dk dönüş yapan türbin yüklü halde iken 5.3 m/sn ye kadar dönüş hareketi yapamamıştır. Bunun sebeplerinden biri Şekil 4.2’de olduğu gibi kanat ağırlığı ve kayış - kasnak arasındaki sürtünmelerdir. Bu, kayış-kasnak arasındaki sürtünme ve elektrik üretimi esnasında alternatördeki kutuplar ile gövde sargıları arasında bir çekim kuvvetinden kaynaklanmış olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.4. Altıgen kanat devir sayısının rüzgar hızına göre deneyi.

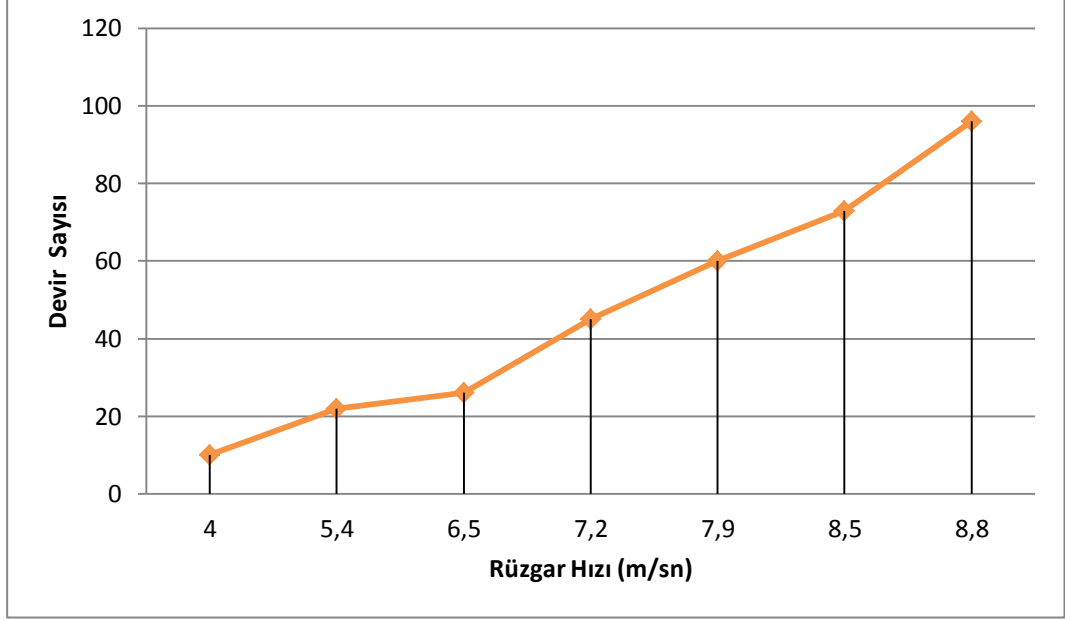
Devir (dev/dk)	Rüzgâr (m/sn)
12	4,1
22	5,4
29	6,8
55	7,3
63	7,9
75	8,6
97	8,9



Şekil 4.4. Altıgen kanatlı rüzgar gülü devir sayısının rüzgar hızına göre değişimi.

Çizelge 4.5. Sekizgen kanatlı devir sayısının rüzgar hızına göre deneyi.

Devir (dev/dk)	Rüzgâr (m/sn)
10	4
22	5,4
26	6,5
45	7,2
60	7,9
73	8,5
96	8,8

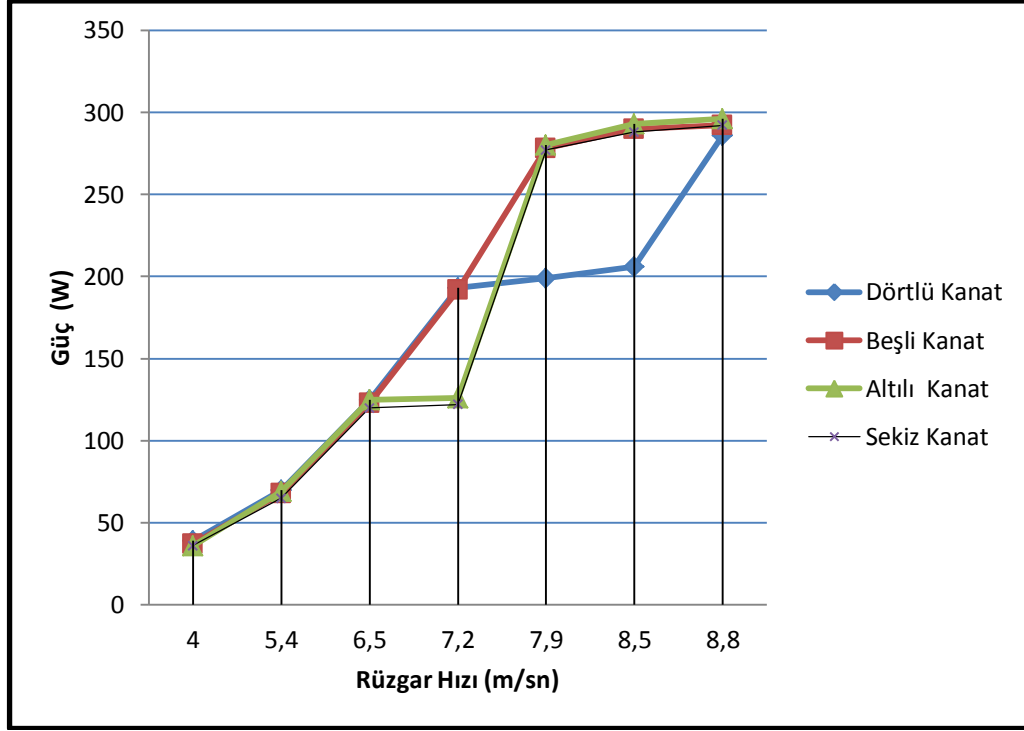


Şekil 4.5. Sekizgen kanatlı rüzgâr gülü devir sayısının rüzgâr hızına göre değişimi.

Şekil 4.1, Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de ise çeşitli rüzgâr hızlarına göre yüklü durumdaki türbinden elde edilen devir sayısı gösterilmiştir. Kanat ağırlığı ve kayış - kasnak arasındaki sürtünmeye dikkat edilmiştir. Bu, kayış-kasnak arasındaki sürtünme ve elektrik üretimi esnasında alternatördeki kutuplar ile gövde sargıları arasında bir çekim kuvveti olduğundan kaynaklanmış olduğu görülmüştür

Çizelge 4.6. Güç deneyleri.

	4.kanatlı	5.kanatlı	6.kanatlı	8.kanatlı
Giriş hızı	Güç (W)	Güç (W)	Güç (W)	Güç (W)
m/sn				
4	39	37	36	36
5,4	70	68	69	65
6,5	125	123	125	125
7,2	193	192	188	186
7,9	285	280	277	276
8,5	292	290	293	288
8,8	299	295	294	292



Şekil 4.6. Kanatlar arasında güç değişimi.

Çizelge 4.7. Dörtgen kanatlı rüzgâr güç deneyi.

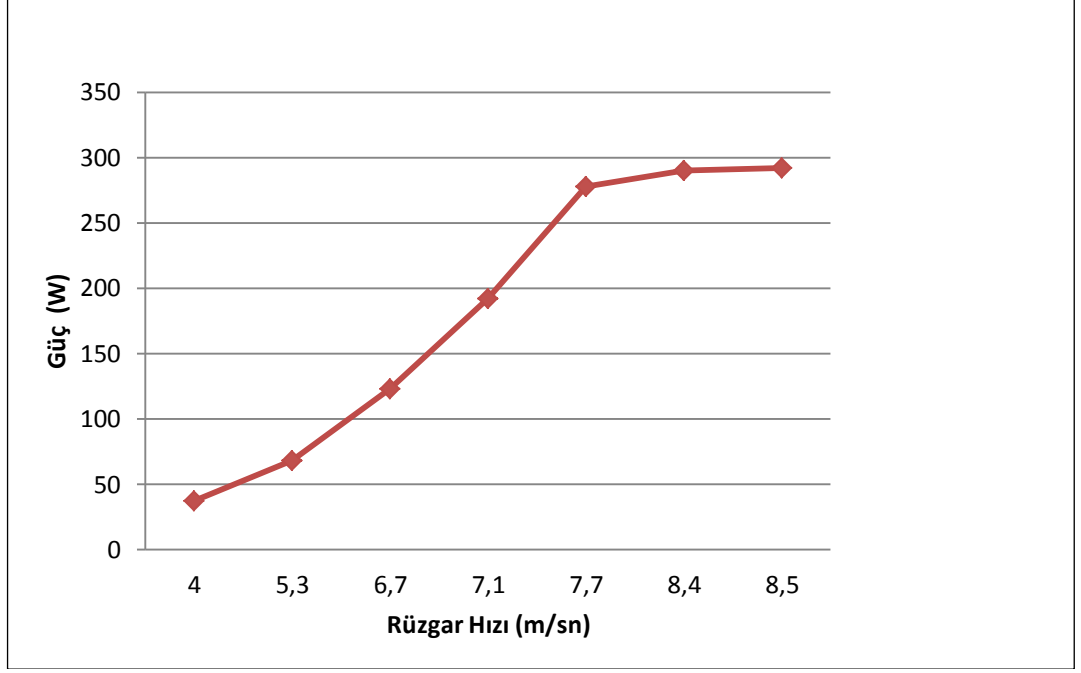
Güç (W)	Rüzgâr (m/sn)
39	4,2
70	5
125	6,3
193	7
199	7,2
193	7,4
286	8,1



Şekil 4.7. Dörtgen kanatlı rüzgâr güç değişimi.

Çizelge 4.8. Beşgen kanatlı rüzgâr güç deneyi.

Güç (W)	Rüzgâr (m/sn)
40	4
68	5,3
123	6,7
192	7,1
278	7,7
290	8,4
292	8,5



Şekil 4.8. Beşgen kanatlı rüzgâr güç değişimi.

Çizelge 4.9. Altıgen kanatlı rüzgâr güç deneyi.

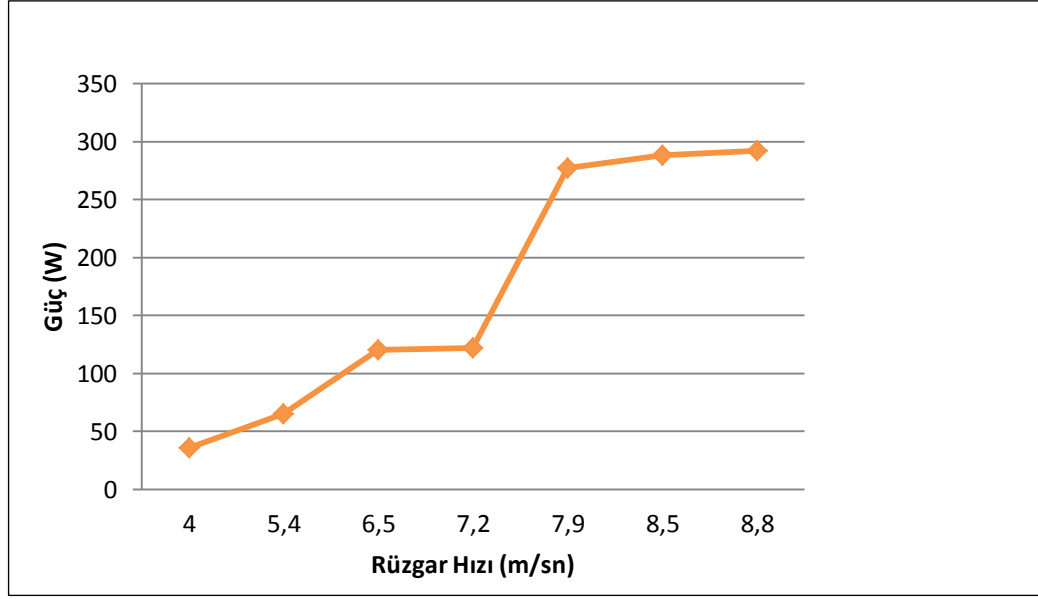
Güç (W)	Rüzgâr (m/sn)
36	4,1
69	5,4
125	6,8
126	7,3
280	7,9
293	8,6
296	8,9



Şekil 4.9. Altıgen kanatlı rüzgâr güç değişimi.

Çizelge 4.10. Sekizgen kanatlı rüzgâr güç deneyi.

Rüzgâr (m/sn)	Güç (W)
4	36
5,4	65
6,5	120
7,2	122
7,9	277
8,5	288
8,8	292



Şekil 4.10. Sekizgen kanatlı rüzgâr güç değişimi.

Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da ise çeşitli kanat sayılarından rüzgâr hızlarına göre yüklü durumdaki türbinden elde edilen güç gösterilmiştir. Rüzgâr hız 4 m/sn ile 10 m/sn arasındaki rüzgâr gücü ile elde edilen minimum güç ile 36 W elde edilirken, 10 m/sn maksimum hızla için 296 W olmuştur. Bunun sebebi ise rüzgar hızı artıkça kanadın devir sayısının artmış olmasıdır [14].

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Rüzgâr gülü kanat tiplerinden dört farklı model tasarlanmıştır. Rüzgâr gülü kanat sayısına, kanat tiplerine göre avantajlı ve dezavantajlı durumlar incelenmiştir. Her bir kanat için belli ölçüler hesap makinesiyle hesaplanarak istenen ölçülere getirildi. Metal sac kesme makası ile kesilip rotora monte edildi. Rotor alternatörle birleştirildi. Deney hazır hale gelmiş oldu. Bundan sonra istenen deney çalışması yapıldı. Rüzgâr hızı yardımı, devir sayısı ile güç elde edilmeye başlanılmış oldu. Bu çalışmada, rüzgâr enerjisinden faydalanılarak rüzgâr gülü imal performansı, deneyleri ve elektrik enerjisi üretimi yapılmıştır. 0,8 m ve 1 m çaplarında çok kanatlı türbin ile deneyler yapılmıştır. Rüzgâr hızları 4 m/sn ile 10 m/sn arasında iken devir sayısı 10 (dev/dk) ile 97 (dev/dk) elde edilmiştir. Burada etkin parametre kanat sayısı ve en önemlisi ise rüzgâr hızıdır. Kanatlardan elde edilen rüzgâr hızına bağlı olarak güçte artmakta veya azalmakta buna bağlı güç ise 36 W ile 296 W arasında güç elde edilmektedir.

Bu çalışmadan sonra yapılacak benzeri çalışmalarda şunları öneririz:

1. Kademelerin rüzgâr tutma kapasiteleri artırılması,
2. Rüzgâr gülünün rüzgârın akış hızının fazla olduğu yerlere konunmalı,
3. Sac şekillendirme işlemlerine imkan sağlaması,
4. Darbelere karşı dayanımının yüksek olması,
5. Paslanmaz bir kimyaya sahip olması.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Türkiye Elektrik Etüd İdaresi, “2013 Türkiye Ruzgar Atlası”, http://www.eie.gov.tr/turkce/ruzgar/ruzgar_en_hak.html (2013).
2. İnternet: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, “Türkiye Rüzgar Atlası”, <http://www.mgm.gov.tr/arastirma/yenilenebilir-enerji.aspx?s=ruzgaratlası> (2013).
3. Shepherd, D. G., “Historical development of the windmill”, Wind Turbine Technology, *Asme Press*, New York, 1-43 (1998).
4. Altındis, A., “Yenilenebilir enerji kaynaklarından; Rüzgâr enerjisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-27 (2001).
5. Irabu, K. and Nath, R. J., “Characteristics of wind power on Savonius rotor using a guide-box tunnel”, *Faculty of Mechanical Engineering University of the Ryukyus Experimental Thermal and Fluid Science*, 32: 580-586 (2006).
6. Ersoy, H. “Türkiye’nin yenilenebilir enerji kaynaklarının dünü bugünü incelenerek elektrik enerjisine olan katkının araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 50-53 (1997).
7. Menet, J. L., “Adouble-step Savonius rotor for local production of electricity: a design study”, *Renewable Energy*, 29 (11): 1843-1862 (2004).
8. Murai, Y. and Nakada, T., “Particle tracking velocimetry applied to estimate the pressure field around a Savonius turbine”, *Meas. Sci. Technol*, 18 (8): 2491–2503 (2007).
9. Hayashit, T., Hara, Y. and Li, Y., “Wind tunnel tests on a different phase three-stage savonius rotor”, *International Journal*, 48 (1): 9-16 (2005).
10. Eriksson, S., Bernhoff, H. and Leijon, M., “Evaluation of different türbine concepts for wind power”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28: 58-66 (2006).

11. Kishinamia, K., Taniguchib, H.,Suzukia, J., Ibanoc, H., Kazunoud, T. and Turuhamie, M., “Theoretical and experimental study on the aerodynamic characteristics of a horizontal axis wind turbine”, *Energy*, 30: 2089–2100 (2005).
12. Kose, F. ve Ozgoren, M., “Ruzgar enerjisi potansiyeli olcumu ve rüzgâr turbini secimi”, *Mühendis ve Makine*, 46: 548-551 (2005).
13. Ozgener, O, “A review of structures of SWTs in the Aegean Region and performance analysis”, *Elsevier Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 5 (12): 128-136 (2003).
14. Şen, C., “Gokçeada’ nın elektrik enerjisi ihtiyacının rüzgar enerjisi ile karşılanması”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 57-71 (2003).

ÖZGEÇMİŞ

NECATİ ÇELİK 1981 yılında OSMANİYE’de doğdu; İlk ve orta öğrenimini MERSİN’de tamamladı. Adana Merkez Teknik ve Endüstri Meslek Lisesinin Elektrik Bölümünden mezun olduktan sonra 2002 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Tesisat Öğretmenliği bölümünü kazandı. Mezun olduktan sonra Cizre Teknik ve Endüstri Meslek Lisesinde görev yaptı. Şu an da Düziçi 75.Yıl Teknik ve Endüstri Meslek Lisesinde görev yapmaktayım.

İLETİŞİM BİLGİLERİ

E-posta: numan_3380@hotmail.com

Tel : (542) 520 3380 (mcb)