

**RÜZGÂR TÜRİNİNDE OPTİMİZE EDİLMİŞ
KANAT PROFİLİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

**2019
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

Adem SARIKAYA

**RÜZGÂR TÜRBİNİNDE OPTİMİZE EDİLMİŞ KANAT PROFİLİNİN
DENEYSEL İNCELENMESİ**

Adem SARIKAYA

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

KARABÜK

Eylül 2019

Adem SARIKAYA tarafından hazırlanan “RÜZGAR TÜRBİNİNDE OPTİMİZE EDİLMİŞ KANAT PROFİLİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. İsmail ESEN
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 27/09/2019

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. İsmail ESEN (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr.Üyesi Mehmet Akif KOÇ (SUBÜ)

.../.../2019

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

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü V.



“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.”

Adem SARIKAYA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

RÜZGÂR TÜRBİNİNDE OPTİMİZE EDİLMİŞ KANAT PROFİLİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Adem SARIKAYA

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. İsmail ESEN

Eylül 2019, 72 sayfa

Bu çalışmada ülkemizin 5-10 m/s rüzgâr hızına sahip bölgeleri için uygun olacağı düşünülen küçük bir rüzgâr kanat tasarımı yapılmıştır. Bu konuda yapılan tezler incelenmiş olup, uygun bulunan kanat geometrisi üzerinde detaylı bir analiz yapılmıştır. Tasarım öncesinde gerekli hesaplamalar yapılmış ve sistemin tasarlanmasında SOLİDWORKS programı kullanılmıştır. Tezin birinci bölümünde, rüzgâr enerjisi hakkında yapılan çalışmalar incelenmiştir. İkinci bölümde, rüzgâr enerjisinin tanımı yapılmış, türkiye'nin rüzgâr enerji potansiyeli hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde rüzgâr türbinlerinin yapıları, çeşitleri ve türbin kontrol sistemleri hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde rüzgâr türbini tasarımı için gerekli hesaplamalar yapılmış ve tasarım gerçekleştirilmiştir. Beşinci bölümde türbin deney sistemi kurulum çalışmaları anlatılmış, ve yeni kanat kesit geometrisi oluşturulmuştur. Altıncı bölümde Ansys Composite Prep (ACP) programı kullanılarak STD-810 testi ile rüzgâr yükü analizi yapılmıştır. Tork değerleri

bulunmuştur. Kullanılan kanat geometrisinin bilgisayar verileri ve deney verileri karşılaştırılmıştır. Bu çalışmalar neticesinde şu sonuçlara varılmıştır;

1. ACP çalışmalarında kanat kesit geometrilerinde yapılan değişikliklerle daha iyi aerodinamik performansa sahip kanat kesitlerinin elde edilebileceği görülmüştür.
2. Bu çalışmada kullanılan kanat kesitinde 173 devirden sonra elde edilen güç önemli bir oranda artmaktadır.
3. Tork miktarında meydana gelen değişim küçük oranlarda değişim göstermektedir.

Anahtar Sözcükler : Rüzgâr türbini, Türbin kanat profil tasarımı, Aerodinamik, Hesaplamalı akışkanlar dinamiği.

Bilim Kodu : 928.1.038

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF OPTIMIZED WING PROFILE IN WIND TURBINE

Adem SARIKAYA

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Energy Systems Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. İsmail ESEN

September 2019, 72 pages

In this study, a small wind turbine blade has been designed expected suitable for the region of our country with 5-10 m/s average wind speed. The theses on this subject have been examined and a detailed analysis has been made on the wing geometry which is found suitable. The necessary design calculations made prior to the design of the system has been used as a SOLIDWORKS program. In the first part of the thesis, the studies on wind energy were examined. In the second chapter, provides information about the wind energy potential of Turkey. In the third chapter the structures of wind turbines, types and turbine control systems are given. In the fourth chapter the calculations required for the design of wind turbine and the design was made. In the fifth chapter, turbine test system installation works are explained and new wing section geometry is created. In the sixth chapter, wind load analysis was performed by using STD-810 test using Ansys Composite Prep (ACP) program. Torque values were found. Computer data and experimental data of wing geometry

used were compared. As a result of this study, the following conclusions have been reached;

1. In ACP studies, it was found that wing sections with better aerodynamic performance can be obtained with changes in wing section geometries.
2. In the wing section used in this study, the power obtained after 173 revolutions increases significantly.
3. The change in the torque amount is small.

Key Word : Wind turbine, Turbine blade profile design, Aerodynamic, Computational fluid dynamics.

Science Code : 928.1.038

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Doç. Dr. İsmail ESEN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Simülasyon deneylerinin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen, Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi öğretim üyesi Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK'a teşekkür ederim.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

Bu alıőma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: KBÜ-BAP-16/2-YL-071

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI	4
2.1. HİDROLİK GÜÇ ENERJİSİ	5
2.2. GÜNEŞ ENERJİSİ.....	5
2.3. JEOTERMAL ENERJİ	6
2.4. BİOKÜTLE ENERJİSİ	6
2.5. HİDROJEN ENERJİSİ.....	6
2.6. DENİZ ENERJİSİ	7
2.7. RÜZGÂR ENERJİSİ.....	9
2.7.1. Rüzgârın Oluşumu	9
2.7.2. Rüzgâr Çeşitleri	11
2.7.3. Küresel Rüzgârlar	13
2.7.4. Yüzey Rüzgârları.....	14
2.7.7. Deniz Rüzgârları.....	15
2.8. TÜRKİYE’DE RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYEL DURUMU	15
2.9. DÜNYANIN RÜZGÂR ENERJİ POTANSİYELİ.....	17

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 3	19
RÜZGÂR TÜRBİNLERİ VE YAPILARI.....	19
3.1. BETZ LİMİTİ	20
3.2. RÜZGÂR GÜCÜ HESABI.....	20
3.3. SINIFLANDIRMA	21
3.3.1. Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri	21
3.3.1.1. Tek Kanatlı Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri	22
3.3.1.2. İki Kanatlı Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri	23
3.3.1.3. Üç Kanatlı Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri.....	23
3.3.1.4. Çok Kanatlı Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri.....	24
3.3.2. Düşey Eksenli Rüzgâr Türbinleri	25
3.3.2.1. Darrieus Tipi Düşey Eksenli Rüzgâr Türbinleri	26
3.3.2.2. Savonius Tipi Düşey Eksenli Rüzgâr Türbinleri	27
3.4. RÜZGÂR ENERJİSİNİN ELEKTRİK ENERJİSİNE DÖNÜŞÜMÜ.....	28
3.5. RÜZGÂR TÜRBİN ELEMANLARI.....	29
3.5.1. Anemometre	30
3.5.2. Kanatlar	30
3.5.12. Kule	34
BÖLÜM 4	36
4.1. TASARIM DEĞERLERİNİN BULUNMASI.....	36
4.1.2. Kanat Sayısı Ve Rotor Devir Sayısı Arasındaki İlişkiler	37
4.1.3. Türbin Çarkının Çevresel Hızı	38
4.1.4. Rotor Çevresi.....	38
4.1.5. Rotor Devri	39
4.1.6. Süpürme Alanı	39
4.1.7. Rotorda Oluşan m ² Başına Güç	40
4.1.8. Rotorda Oluşan Giriş Gücü	42
4.1.9. Jeneratör Çıkış Gücü	42
4.1.10. Eğilme Momenti	43
4.1.11. Bileşik Moment	44
4.1.12. Mukavemet Momenti	45

	<u>Sayfa</u>
4.1.13. Rotor Mili Çapı.....	45
4.1.14. Yapılan Hesaplara Göre Tasarımda Dikkate Alınan Değerler	45
BÖLÜM 5	47
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	47
5.1. TÜRBİN DENEY SİSTEMİNİN KURULMASI	47
5.1.1. Türbin ve Direk Sistemi	47
5.1.2. Kontrol Ünitesi Sistemi	50
5.1.3. Deneysel Analiz Verilerinin İnverter Yardımıyla Elde Edilmesi.....	51
5.2. KANAT GEOMETRİSİNİN BELİRLENMESİ VE TASARIM	52
5.2.1. Standart Kanat Kesitleri.....	53
5.2.2. Deneysel Kanat Kesit Geometrisinin Oluşturulması.....	53
BÖLÜM 6	58
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	58
6.1. KANAT GEOMETRİSİ ANALİZ SONUÇLARI.....	58
6.1.1. Kanat Static Basınç Değerleri.....	58
6.1.2. Kanat Rüzgâr Yükü Analizi	58
6.1.3. Kanat Tork Değerlerinin Bulunması	60
BÖLÜM 7	64
SONUÇLAR	64
KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ	73

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişimi ve gelecekte kullanılması	4
Şekil 2.2. Dalga enerjisinin çalışma prensibi	8
Şekil 2.3. Karada ve denizde kurulan rüzgâr türbinleri.....	9
Şekil 2.4. Rüzgâr enerjisinin kullanıldığı yerler.....	11
Şekil 2.5. Türkiye rüzgâr atlası.	17
Şekil 2.6. Global rüzgâr enerjisi pazarındaki ilk on ülke.	18
Şekil 3.1. Sürüklenme ve kaldırma kuvvetleri.	19
Şekil 3.2. Rüzgâr türbinindeki enerji kayıpları ve elde edilen enerji miktarı.	20
Şekil 3.3. Yatay eksenli rüzgâr türbini.	21
Şekil 3.4. Yatay eksenli rüzgâr türbini.	22
Şekil 3.5. İlk rüzgâr türbini.	25
Şekil 3.6. Düşey eksenli Darrieus tipi bir rüzgâr türbini.....	27
Şekil 3.7. Savonius tipi rüzgâr türbini	28
Şekil 3.8. Rüzgâr enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümü.	28
Şekil 3.9. Rüzgâr türbin iç yapısı.	29
Şekil 3.8. Modern bir rotor göbeğinin iç yapısı.	34
Şekil 4.1. Rotorun süpürme alanı.	40
Şekil 4.2. Rotor milini etkileyen kuvvetlerin oluşturduğu momentler.....	43
Şekil 4.3. Burulma, eğilme ve bileşik momentleri.	44
Şekil 5.1. Türbin direk montajı için yapılan çalışmalar.	48
Şekil 5.2. Türbin direk montajı için yapılan beton döküm çalışması.....	49
Şekil 5.3. Türbin direk montajı için yapılan çalışmalar..	50
Şekil 5.4. Türbin sisteminden elektrik enerjisi elde edilmesi.....	51
Şekil 5.5. Türbin sistemi kontrol ünitesi.	51
Şekil 5.6. Türbin sistemi enerji ölçüm veri ünitesi.....	53
Şekil 5.7. Kanat kesit geometrisinde tanımlar.....	54
Şekil 5.8. Kanat geometrisi.	55
Şekil 5.9. Kanat sap geometrisi.	55
Şekil 5.10. Kanat plane düzlemleri.	56

	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.11. Twist axial.....	57
Şekil 5.12. Kanat profiline döndürülmesi.	57
Şekil 5.13. Kanat profillerinin oluşturulması..	57
Şekil 5.14. Kanat tasarımı yapılmış son durumu.....	58
Şekil 6.1. MB02 kanadına ait static basınç değerleri.	59
Şekil 6.2. MB02 kanadına ait rüzgâr yükü analizi önden görünüşü.....	60
Şekil 6.3. Maksimum gerilimin oluştuğu kısım..	60
Şekil 6.4. Maximum gerilimin oluştuğu bölge.....	61
Şekil 6.5. Akü ve akım şiddeti grafiği.....	62
Şekil 6.6. Devir ve tork grafiği.....	63
Şekil 6.7. Güç ve tork grafiği.	63
Şekil 6.8. Güç ve devir grafiği	62
Şekil 6.5. Akü ve akım şiddeti grafiği.....	62
Şekil Ek A.1. Rüzgâr türbini ve kanat montaj çalışması.....	71

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Beaufort (BOFOR) rüzgâr skalasının karadaki durumu	12
Çizelge 2.2. Beaufort (BOFOR) rüzgâr skalasının denizdeki durumu.	13
Çizelge 2.3. Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyeli.	16
Çizelge 4.1. Kanat sayısı ile hız katsayısı arasındaki ilişki.....	38
Çizelge 4.2. Deniz seviyesinde 15 °C standart atmosferik basınçta 1.225 kg/m ³ yoğunluktaki kuru havada rüzgârın gücü.....	41
Çizelge 4.3. Deniz seviyesinde, standart atmosferik basınçta havanın yoğunluğu....	42
Çizelge 5.1. Kanat profiline (airfoil) cord uzunluğu ve dönme açısı.	48
Çizelge 6.1. Rüzgâr türbin verileri.....	62
Çizelge Ek A.1. Rüzgâr türbini ve kanat montaj çalışması.....	71

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

A_s	: süpürme alanı
W	: mukavemet momenti
D	: çap
E_k	: kinetik enerji
r	: rotor yarıçapı
g	: yer çekimi
λ	: hız katsayısı
M_d	: burulma momenti
M_e	: eğilme momenti
m_h	: hava kütlesi
P	: güç
n_R	: rotorun devri
ρ	: havanın yoğunluğu
L_φ	: türbin çarkının çevresi
V_φ	: türbin çarkının çevresel hızı
ϑ	: hız
S	: emniyet katsayısı
η	: enerji verimliliği
d_R	: güç aktarma mili çapı
F_1	: mili eğilmeye zorlayan kuvvet
F_2	: mili burulmaya zorlayan kuvvet
m_R	: rotorun toplam ağırlığı
L_1	: rotor merkezi ile yatak merkezi arasındaki mesafe
P_φ	: jeneratör çıkış gücü
η_t	: maksimum türbin verimi
P_a	: rotorda oluşan m^2 başına düşen güç

P_R : rotorda oluşan giriş gücü

σ_{emn} : emniyetli gerilme

σ_{ak} : kayma gerilmesi

KISALTMALAR

HAD : Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

CFD : Computational Fluid Dynamics

RİTM : Rüzgâr Enerjisini İzleme ve Tahmin Merkezi

DIN : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)

EN : European Norm (Avrupa Normu)

IIW : International Institute of Welding (Uluslararası Kaynak Enstitüsü)

BEM : Kanat Eleman Momentum

ITAB : Isı Tesiri Altında Kalan Bölge

TS : Türk Standardı

AC : Alternatif Akım

DC : Doğru Akım

REPA : Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlasına

YERT : Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri

DERT : Düşey Eksenli Rüzgâr Türbinleri

MKE : Makine Kimya Endüstrisi

NACA: Ulusal Havacılık Araştırma Birliği

MW : Megawatt

TWS : Tera watt-saat

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Ülke nüfusunun artmasıyla birlikte enerji kullanımına olan ihtiyaç artmaktadır. Bu ihtiyaç, küresel açıdan iki önemli sorun oluşturmaktadır: İlk olarak, küresel iklim değişikliğine sebep olan fosil yakıtların kullanımı, ikincisi ise ülke krizlerine yol açan enerji temini sorunudur.

Fosil yakıtların dünyada sınırlı olması, fosil yakıt elde edilmesinde yaşanan istikrarsızlıklar, ani fiyat kuru yükselişleri, çevre üzerindeki negatif etkileri, ülkelerin enerji politikalarını oluştururken, sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımını kaçınılmaz hale getirmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynakları, çevremizdeki enerji akımlarının nicelik ve nitelik özelliklerini bozmayacak şekilde kullanımı veya doğanın kendi değişimi içinde bir sonraki gün aynen kalabilen enerji kaynağı olarak ifade edilebilir. Bunlara örnek olarak, güneş, biyogaz, biyokütle, rüzgâr, hidrojen, jeotermal enerji ve gel-git enerjileri gösterilebilir. Kömür, linyit, petrol, nükleer kaynaklardan elde edilen enerji, tükenebilen, atmosferi kirleten enerjilerdir. Güneş, rüzgâr, dalga, jeotermal, biyokütle, gelgit olayı gibi kaynaklardan elde edilen yenilenebilir enerji ise temiz enerji kaynağıdır ve dünya var oldukça kullanımı sürekli olarak devam edecektir. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde rüzgâr enerjisi günümüze kadar gelişimi devam eden bir enerji türü olarak karşımıza çıkmaktadır.

Rüzgâr türbinleri yüksek basınç-alçak basınç sonucu oluşan rüzgârı, elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Rüzgâr türbinlerinin çalışması çevreye zararlı bir duruma neden olmadığından enerji geleceğimize ve küresel ısınmayı önlemede büyük bir role sahiptir. Geleneksel güç santrallerinin aksine, enerji güvenliği açısından yakıt maliyetlerini ve uzun dönemli yakıt fiyatı risklerini eleyen,

ekonomik, politik ve tedarik riskleri açısından diğer ülkelere bağımlılığı azaltan bir enerji kaynağıdır. Ancak rüzgâr türbinlerinin büyük alan kaplaması, gürültü kirliliği oluşturması ve üretilen elektriğin iletim ve sürekliliği gibi sorunları bazı olumsuzlukları da bulunmaktadır. Rüzgâr türbinlerinin tasarımı ile ilgili olarak yapılan bir çok ulusal ve uluslararası çalışmalar mevcuttur. Bu kısımda bunların bazılarında kısaca bahsedilmiştir.

Barış Önen ve Ali Çınar, NACA 4412 kanat kesitinin flaplı durumlarının aerodinamik performansını, Ansys Fluent bilgisayar paket programıyla araştırmışlardır. Flap uzunluğu ve açısının kaldırma kuvvetine etkilerini analiz etmişlerdir; flaplı kanatların aerodinamik performansı artırdığını görmüşlerdir. Sonuçta fazladan kaldırma kuvvetinin gerekli olduğu uçaklarda flaplı kanatların düşük hücum açısıyla kullanılabileceğini göstermişlerdir. Her ne kadar flap çalışmaları havacılık için önemli olsa da, rüzgâr türbinleri içinde bir fikir verebileceği düşünülerek bu çalışma okunmuş ve burada bahsedilmiştir [1].

Emrah Kulunk ve Nadir Yılmaz tarafından yapılan bir çalışma; yatay eksenli rüzgâr türbinleri için Kanat Eleman Momentum (BEM) teorisine dayalı bir tasarım metodunun geliştirilmesidir. Bu metotla, NREL S 809 kanat kesitini kullanarak 100 kw gücünde bir türbin tasarlamışlar ve bu türbinin performans analizini yapan bir bilgisayar programı geliştirmişlerdir [2].

Serhat Duran, yüksek lisans tezi olarak yatay eksenli rüzgâr türbin kanatlarının bilgisayar destekli aerodinamik tasarım ve performans analizini yapmıştır. Kanat kesit analizi için 'XFoil' paket programını, kanat tasarımı için ara yüz olarak 'matlab' paket programını kullanmıştır. Optimum geometri ölçülerini PEM Teorisine göre bulduktan sonra geometride bazı değişiklikler yapmıştır. Elde edilen yeni geometriye göre tasarlanan rüzgâr türbin kanadının aerodinamik performansını incelemiş ve güç azalmalarını telafi etmek için kanat boyu bu azalmayı telafi edecek şekilde arttırmayı tercih etmiştir [3].

K.R. Ajao ve J.S.O. Adeniyi, üç kanatlı, küçük, yatay eksenli bir rüzgâr türbininin teorik ve deneysel güç değerlerini karşılaştırmışlardır. Kanat uzunluğu 2,15 m,

tasarım hücum açısı 7 derece olan türbininin modelini yapmış 14,9 m yüksekliğindeki bir kulenin üzerine yerleştirmişlerdir. Minimum 3,5 m/s hızla çalışmaya başlayan bu türbinin ürettiği güç değerleri birer dakika aralıklarla ölçülmüştür. Aynı modelin bilgisayarda sayısal hesaplamasını Winmech model programıyla yapmışlardır. Sayısal hesaplamalar sonucunda elde edilen güç değeri 536 watt iken test sonuçlarına göre bu değer sadece 80 watt olarak tespit edilmiştir. Buldukları değerleri kullanarak teorik güç ve test güç değerlerini dördüncü dereceden polinom fonksiyonları ile ayrı ayrı ifade etmişlerdir. Ayrıca hava yoğunluğunun, güç değerleri üzerinde çok önemli etkiye sahip olmadığını test sonuçlarıyla göstermişlerdir [4].

Horia Dumitrescu ve Vladimir Cardoş, YERT'lerde rotor dönme hızının, rüzgâr hızının, kanat kesit geometrisinin ve kesit yüzey sürtünmesinin kanat kesitlerindeki sınır tabaka ayrılmalarına etkilerini incelemişlerdir. Kanadın kök kısmına yakın yerlerinde kanat kesitinin hücum kenarında oluşan kısa akış ayrılma baloncuklarının rotor açısal hızından kaynaklanan merkezci kuvvetlerin etkisi altında kanat boyunca hareket etmeleri, viskoz katsayısının kanat boyunca değişimi, sınır tabaka kalınlığı, akımın türbülans ve laminer oluşu, akışın reynold değeri gibi faktörler arasındaki ilişkileri matematiksel modellerle açıklamışlardır [5].

Hiroharu Suzuki ve diğerleri, NACA 63012 kanat kesit geometrisinin hücum kenarını alt yüzey tarafına doğru esneterek, farklı hücum açılarında laminer sürüklenme kuvvetinin azaldığını analitik ve sayısal analizleriyle göstermişlerdir. Kanat kesit geometrisindeki bu değişiklik, üst yüzeydeki akış ayrılmasının firar kenarına doğru kaydırılması ile laminer bölgedeki toplam sürüklenme kuvvetinin azaldığı görülmüştür [6].

Karadağ, yaptığı çalışmada, çevre enerji ilişkisine kapsamlı bir şekilde yer vermiştir. Rüzgâr enerjisinin ülkemiz için uygun bir kaynak olduğunu saptamıştır. Bir üretim tesisinin elektrik ihtiyacını karşılayabilecek şekilde rüzgâr türbini tasarımı yapmıştır. Kanat ile rüzgâr ilişkisini incelemiş Symlab programında kanat tasarımları yapmıştır. Bilgisayar ortamında, geliştirdiği kanat ile farklı bölgelerde oluşacak faydalar üzerinde durmuştur [7].

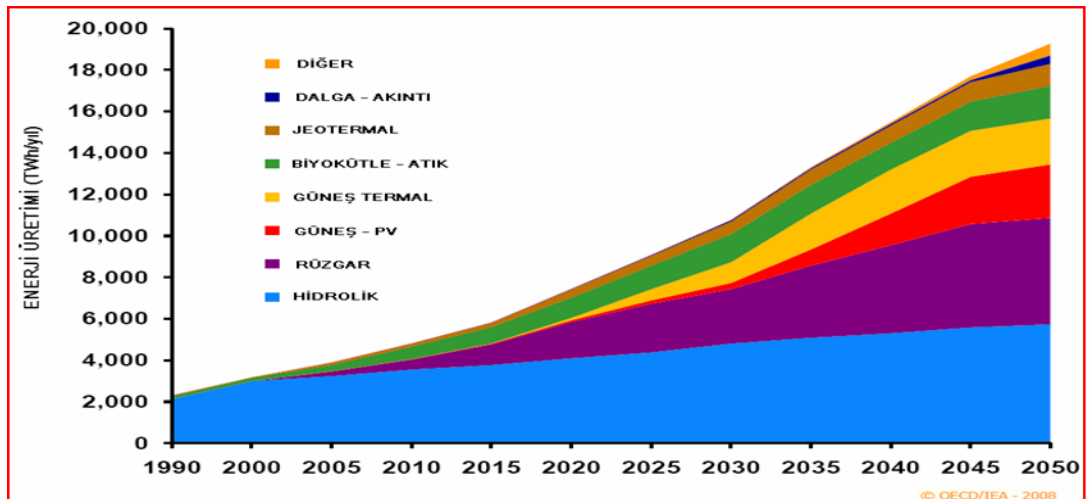
BÖLÜM 2

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Yenilenebilir enerji kaynaklarını şu şekilde sıralayabiliriz;

1. Hidrolik Güç Enerjisi,
2. Güneş Enerjisi,
3. Jeotermal Enerji,
4. Biokütle Enerjisi,
5. Hidrojen Enerjisi,
6. Deniz Enerjisi,
7. Rüzgâr Enerjisi.

Rüzgâr Enerjisini İzleme ve Tahmin Merkezi' nin (RİTM) dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişimini ve gelecekte kullanımını gösteren şekil aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Dünyada yenilenebilir enerji kaynakları gelişimi ve gelecekte kullanım [8].

2.1. HİDROLİK GÜÇ ENERJİSİ

Yenilenebilir enerji kaynağı olan hidrolik gücün dünyada her yıl üretimi artmaktadır. Günümüzde hidrolik güçten oldukça yararlanılmasına rağmen, kullanılmayan enerji potansiyelide bir o kadar çok olmaktadır. Hidrolik barajların ayrıca, büyük toprak alanlarını sular altında bırakması, ekolojik yapıda bitki ve hayvan türlerinin olumsuz olarak etkilemektedir.

İşletme masrafları oldukça düşük miktarlarda olan hidroelektrik enerji santralleri ülkemizde önemli bir potansiyele sahip olmasına karşın elektrik üretimi için daha çok doğalgaz kullanılmaktadır. Dikkat edilmesi gereken diğer bir konu da özellikle büyük hidroelektrik santrallerin ekolojik ve sosyo-ekonomik dengede oluşturduğu çevresel etki değerlendirmesi yapılarak belirlenecek olumsuz etkilerini azaltacak tedbirler alınmasıdır [9].

2.2. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş enerjisi, güneşin merkezinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan enerjidir. Güneş enerjisi, hidrojenin helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden kaynaklanmaktadır. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden çok daha fazladır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar 1970' lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi teknolojik olarak ilerlemesi ve maliyet bakımından düşme göstermiş, güneş enerjisi çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir [10].

Güneş enerjisi, kolektörler ve ısı pompaları yardımıyla ısı enerjisine, güneş pilleri yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Şimdilik güneş pilleri, elektrik şebekesinin olmadığı yangın söndürme kulelerinde, radyolink, TV ve cep telefonu baz istasyonu aktarıcılarında, deniz fenerlerinde vb. alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Türkiye'de güneş enerjisi, daha çok termal ısıtma amacıyla kullanılır [9].

2.3. JEOTERMAL ENERJİ

Jeotermal enerji günümüzde de cazip bir kaynak olmaktadır. Elektrik, sıcak su, gaz veya buhar kütlelerinin uygun sıcaklık şartlarında üretilmektedir. Dünyada toplam elektrik kurulu gücü 8275 MW iken ülkemizde ise bu güç yaklaşık 21 MW'tır. Türkiye, jeotermal enerji yönünden şanslı ülkeler arasında yer almaktadır. Sıcaklığı yer yer 1000 °C'ye varan 600'den fazla sıcak su kaynağının varlığı, Türkiye'nin önemli bir jeotermal enerji potansiyeli taşıdığını göstermektedir. Ölçülen en yüksek rezervuar sıcaklığı 2300 °C ile Germencik'tedir. Bu sahalarda sondaja dayalı elektrik üretimine uygun potansiyel 200 MW dolayındadır. Bu potansiyele rağmen, ülke genelindeki tek santral, Denizli-Kızıldere'de olup, 20 MW kurulu güce sahiptir. Bu santralin verimi ise, teknik nedenlerden dolayı % 75 civarındadır [9].

2.4. BİOKÜTLE ENERJİSİ

Son yıllarda biyo-mas enerjisi yardımıyla yani hayvansal, bitkisel atıkların ve çöplerin değerlendirilmesi sonucunda elektrik enerjisi elde edilmesi, dünyanın birçok ülkesinde yaygın hale gelmektedir. Klasik ve Çağdaş olmak üzere, iki grupta incelenir. Klasik yöntemde, ormanlardan elde edilen bitki, odun, hayvan atıkları yakacak olarak kullanılır. Çağdaş yöntemde ise, ağaç endüstrisi, hayvansal atıklar ve kentsel atıklar kullanılır. Çöplerin depolanması sonucunda elde edilen ve "landfill" gaz olarak adlandırılan çöp gazı, % 60 oranında metan ihtiva etmekte olup önemli ölçüde bir enerji kaynağıdır [9].

2.5. HİDROJEN ENERJİSİ

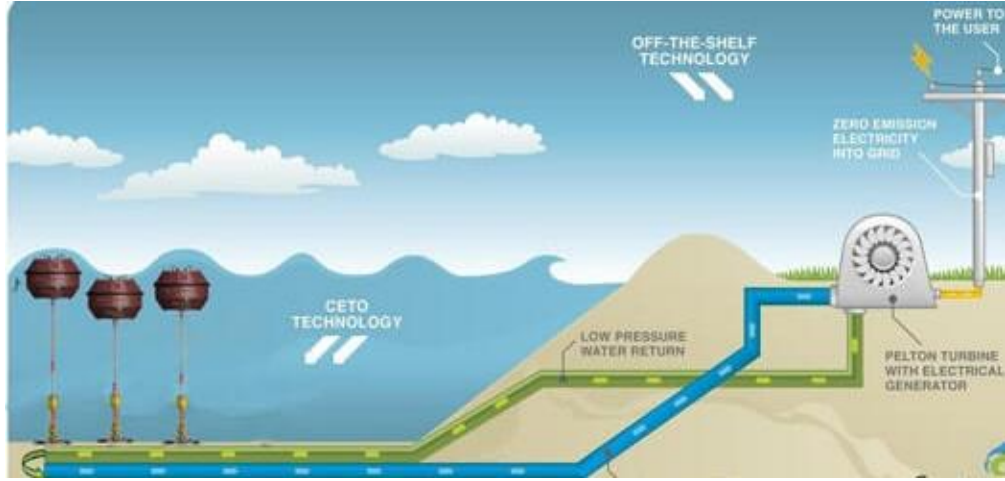
Fosil kökenli yakıtların teknolojisinin gelişmesi ve aşırı kullanımın etkisiyle hızla tükenmesi, bilim adamlarını alternatif yakıt arayışına itmiştir. Sudan elde edilebilirliği sayesinde sonsuz bir enerji kaynağı olan hidrojen günümüz teknolojisi ile motorlu taşıtlarda yakıt olarak kullanılabilme durumuna gelmiştir. Hidrojenin çevre dostu olması ve geleneksel yakıtlara göre avantajlarının bulunması, yakın gelecekte en gözde enerji kaynağı olmasını sağlamaktadır. Bir takım işletim

problemleri bulunsa da yapılacak çalışmalarla bu problemler giderilebileceği düşünülmektedir.

Çevre kirliliğine sebep olan önemli etkenlerden birisi de içten yanmalı motorlardan kaynaklanan egzoz emisyonlarıdır. Fosil kaynaklı yakıtların aşırı kullanımı sonucu azalması ve artan çevre kirliliği, çevre bilincine uygun ve yenilenebilir alternatif yakıtların araştırılmasını gündeme getirmiştir. Araştırılacak alternatif yakıtın içten yanmalı motorun performansını fazla düşürmemesi ve egzoz emisyonlarını olumlu yönde etkilemesi gerekmektedir. Ayrıca bu yakıtın elde edilebilirliği, maliyetinin düşük olması, kullanılabilirliği, bulunabilirliği ve motorda fazla değişiklik gerektirmeden kullanılması da önem taşımaktadır. Yüksek verim, çevre sorunları ve fosil yakıt rezervlerinin azalması gibi sorunlar 21. Yüz yıl enerji tercihinin elektrik ve hidrojen taraflı olması sonucunu doğurmaktadır. Bu iki alternatif yakıt birbirine dönüştürülebilmektedir. Ayrıca hidrojen elektrikten daha iyi depolanabilmekte ve uzun mesafelere taşınabilmektedir. Bu özelliği hidrojenin motorlu taşıtlar ve uçaklar içinde yakıt olarak kullanılabilmesini sağlamaktadır [11].

2.6. DENİZ ENERJİSİ

Deniz enerjileri deniz dalga, boğaz akıntıları, med-cezir ve deniz sıcaklık gradyenti gibi çeşitlidir. Türkiye’de bunlardan sadece deniz dalga ve boğaz akıntıları olanakları vardır. Bu alanda yapılan çalışmaları incelediğimizde özellikle dalga enerjisi alanında yapılan çalışmalar dikkat çekmektedir. Şekil 2.2’de dalga enerjisinin çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Dalga enerjisinin çalışma prensibi [13].

Deniz yüzeyinden 30 metre aşağı olacak şekilde bağlanmış yaklaşık 4 metre uzunluğunda olan bir mil üzerine yerleştirilen güçlü mıknatıslar dizisinin meydana getirdiği sistem, sabit mıknatıs doğrusal jeneratör şamandırası olarak adlandırılmaktadır. Milin etrafını dolanan bakır bobin, dalgalarla beraber yukarı ve aşağı yönde hareketi olan poliester bir şamandıra içinde bulunmaktadır. Aşağı yukarı doğru hareket eden bobin, milin manyetik alanında gidip gelme hareketi yaparak elektrik akımı oluşturmaktadır. Su kuvvetiyle veya hava basıncının uyguladığı etkiyle çalışan pompalara dayalı önceki düzeneklerin aksine bu şamandıra ile verimlilik oranı yaklaşık olarak % 90 seviyesine erişebilmektedir. Oluşturulan şamandıraların genel dağıtımın yapıldığı elektrik şebekesine bağlanarak 5 yıllık bir süre zarfında konutlara ve iş mekanlarına güç sağlayabileceği ön görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan dalga enerjisinin yenilenebilir diğer enerji türlerine kıyasla üstün olduğu belirgin özellikler bulunmaktadır. Dalgaların tahmin edilmesi rüzgâr olayının tahmin edilmesine göre çok daha kolay olabilmektedir. Bu enerji türü, rüzgâra kıyasla 50 kat daha fazla enerji yoğunluğu bulundurmaktadır. Kurulan şamandıra ağından iletilen düzenli olmayan alternatif akım voltajı, elektrik tellerinin birleştiği bir bağlantı kutusuna bağlanıp doğru akıma dönüştürülerek 12.000 volt seviyesine yükseltilebilir ve sonrasında kıyıya iletilerek bir güç istasyonunda yeniden alternatif akıma dönüştürülebilir [12].

2.7. RÜZGÂR ENERJİSİ

Rüzgâr enerjisi, dünyanın hemen hemen her bölgesinde yararlanılan bol, temiz, yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Yerden belli bir yükseklikte bulunan direklere sağlam bir şekilde yerleştirilen rüzgâr enerjisi, türbinlerce elektrik enerjisine çevrilir. Rüzgâr türbini, kurulduğu arazinin sadece bir kısmını işgal ettiğinden ve türbin kanatları yerden epeyce yüksekte olduğundan, kalan arazi diğer amaçlar için rahatlıkla kullanılabilir. Ayrıca deniz alanları daha büyük potansiyel gösterdiği için denizlerde denizüstü (off-shore) tipi rüzgâr santralleri de kurulmaktadır. İlk önceleri rüzgâr türbinleri ile enerji üretimi diğer enerji türlerine göre daha maliyetli iken bugün teknolojik gelişmelerle birlikte bu maliyet azalmıştır.



Şekil 2.3. Karada ve denizde kurulan rüzgâr türbinleri [14].

2.7.1. Rüzgârın Oluşumu

Güneş enerjisi, dünya üzerinde bulunan karalara, denizlere ve atmosfere eşit bir sıcaklık göndermediği için ortaya çıkan sıcaklık ve basınç farkları, bir doğa olayı olan rüzgârları meydana getirmektedir. Rüzgâr, yüksek basınç merkezinden, alçak basınç merkezine doğru yer değiştiren havanın, bağıl olarak gerçekleştirdiği hareketler olarak ifade edilmektedir.

Ekvator güneş ışınlarını ya 90° alır ya da 90° yakın bir açıyla alır. Dolayısıyla bu bölge dünya'nın diğer bölgelerine kıyasla daha çok ısınır. Ekvatorial bölgede ısınan hava 10 km'ye kadar yükseldikten sonra kuzey ve güney yönünde yayılma göstermektedir. Dünyanın dönme hareketini yapmadığı düşünülürse, ısınan hava Kuzeye ve Güneye yayıldıktan sonra kutba ulaşıp aşağıya hareket etmesi ve ekvatora dönmesi gerekirdi. Dünya döndüğünden dolayı, kuzey yarımkürede gerçekleşen her hareket saat yönünde meydana gelirken, güney yarımkürede ise saat yönünün tersinde gerçekleşmektedir [9].

Rüzgâr atmosferin içinde bol ve serbest olarak var olan, güvenilir bir enerji kaynağıdır. Bu enerji türü içerisinde kinetik enerji bulundurmaktadır. Hava özgül kütle olarak hafif olduğu için, rüzgârdan elde edilecek enerjinin oranı rüzgârın hızıyla doğru orantılıdır. Rüzgârın taşıdığı hız yüksekliğiyle, rüzgârdaki güç ise hızının küpü ile paralel artar. Rüzgârdan elde edilecek enerji gücü, esme süresine göre değişmektedir.

Doğada bulunan yenilenebilir enerji türlerinden olan rüzgâr, eski dönemlerde de kullanılan bir kaynaktır. Sanayi alanında kullanılabilirliğiyle ilgili araştırmalar sürmektedir. Bu amaç doğrultusunda hareketli havanın içinde bulunan kinetik enerji, bir eksen çevresinde hareket eden kanatlar aracılığıyla mekanik enerjiye dönüşmektedir. Temiz olması ve öteki enerji çeşitlerine rahatlıkla dönüştürülebilmeleri bu enerji türünün avantajları; zaman açısından değişken bir özellikte, düzensiz ve yoğunluk bakımından az olması durumları da bu türün dezavantajlarıdır. Rüzgâr enerjisinin nasıl elde edildiği ve hangi alanlarda bu enerji türünden yararlanıldığı ya da hangi enerji çeşitlerine çevrilebildiği Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Çoğunlukla rüzgârın içindeki kinetik enerji, bir mil üzerinde kanatlar aracılığıyla dönel harekete çevrilir. Söz konusu mil bir pompayı harekete geçirir. Pompa da kuyuda bulunan suyu daha yüksek bir depoya gönderir. Bu şekilde depodaki rüzgâr enerjisi sudaki potansiyel enerjisi şeklinde çevrilmiş olacaktır. Sulama ya da kullanıma yönelik oluşturulan bu sistem pompa ya da kompresör gücünde tasarruf oluşturacaktır. Başka bir kullanım biçimi de hareketli mil ucuna bir dinamo ya da jeneratör bağlayarak doğrudan Alternatif akım ya da Doğru akım

formunda elektrik üretmektedir. Elektrik üretimi bir akünün şarj edilmesi işleminde kullanılarak bir yere tutulur.

Akü ise evde yararlanılan araçlar ve başka cihazlar için elektrik kaynağı yerine geçecektir. Üretilen elektrikten suyun elektroliz işleminde yararlanılarak hidrojen üretiminde tercih edilebilir. Hidrojen üretimi ise depolanır. Hareketli mil ucuna bir kompresör takılırsa bir tanka gaz basılabilir. Bu şekilde ortaya çıkan enerji gaz üzerinde basınç potansiyeli olarak depolanacaktır [11].



Şekil 2.4. Rüzgâr enerjisinin kullanıldığı yerler [15].

2.7.2. Rüzgâr Çeşitleri

Yeryüzünde başlıca rüzgâr çeşitleri: yüzey rüzgârları, yerel rüzgârlar, dağ rüzgârları, deniz rüzgârları, küresel rüzgârlar olarak sayabiliriz. Rüzgâr hızı ile sınıflandırma yapıldığında ise kara ve deniz kriterleri karşımıza çıkmaktadır. Çizelge 2.1’de ve Çizelge 2.2’de rüzgâr hızının kara ve deniz kriterleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Beaufort (BOFOR) rüzgâr skalasının karadaki durumu [16].

No.	Adlandırma	Karadaki durum
1	Sakin	Dumanlar dikine yükselir.
2	Hafif Rüzgâr	Dumanlar meyilli yükselir.
3	Latif Rüzgâr	Rüzgâr yüzde hissedilir, yapraklar sallanır ve hışıldar.
4	Mutedil Rüzgâr	Yapraklar ve bayraklar devamlı sallanır.
5	Fırışka Rüzgâr	Yapraklı küçük dallar sallanır. Bayraklar düz durur. Durgun sularda dalgalar. Rüzgâr insanları rahatsız eder.
6	Kuvvetli Rüzgâr	Büyük dallar sallanır. Telgraf telleri ve saçaklar ses verir. Sularda köpüklü dalgalar belirir. Şemsiyeler güç kullanılır.
7	Mutedil Fırtına	Bütün ağaçlar sallanır. Rüzgâra karşı güçlkle yürünür.
8	Fırtına	Ağaçların dalları kırılır. Rüzgâra karşı yürümek imkânsızlaşır.
9	Kuvvetli Fırtına	Bazı binalarda hasarlar olur. Kiremitler uçar.
10	Büyük Fırtına	Ağaçları köklerinden söker, binalarda büyük hasar oluşur.
11	Bora	Yaptığı hasar çok geniştir. Karada pek rastlanmaz. Ardından bereketli yağmurlar getirir.
12	Kasırga	Tahribat yapar. Daha çok ekvatorial bölgelerde rastlanır.

Çizelge 2.2. Beaufort (BOFOR) rüzgâr skalasının denizdeki durumu [16].

No.	Adlandırma	Denizdeki durum
1	Sakin	Deniz çarşaf gibi düzdür.
2	Hafif Rüzgâr	Çok küçük dalgacıklar, az belirgin ve köpüksüz (su üstünde balık pulu gibi buruşuk).
3	Latif Rüzgâr	Küçük dalgacıklar kısa, fakat daha belirgindir. Dalga tepeleri düzgün görünüşlü, çatlamazlar.
4	Mutedil Rüzgâr	Dalgacıklar birleşir, tepeleri kırılmaya başlar ve köpüklenir (köpükler dağılmış koyunlara benzer).
5	Fırışka Rüzgâr	Küçük dalgalar genişlemeye başlar. Kırılan dalgaların köpükleri daha sık koyunlar gibidir.
6	Kuvvetli Rüzgâr	Orta dalgalar daha belirgin bir şekilde gelişir (Koyun sürüsü yayılışı). Hafif serpinti olasılığı vardır.
7	Mutedil Fırtına	Büyük dalgalar oluşmaya başlar, dalga tepelerinin köpükleri etrafı daha fazla kaplar. Biraz serpinti olabilir.
8	Fırtına	Ağaçların ince dalları kırılır. Rüzgâra karşı yürümek imkânsızlaşır. Deniz kabarmaya başlar.
9	Kuvvetli Fırtına	Bazı binalarda hasarlar olur. Kiremitler uçar. Uzun boylu, oldukça yüksek dalgalar, dalga tepelerinin kenarları rüzgâr tarafından kırılır, köpükler rüzgâr yönü boyunca savrulur.
10	Büyük Fırtına	Yüksek dalgalar; serpinti ve köpükler rüzgâr yönü boyunca daha yoğun bir hat oluşturur. Dalga tepeleri devrilmeye, yıkılmaya ve yuvarlanmaya başlar.
11	Bora	Uzun sorguçlu çok yüksek dalgalar; büyük parçalar halindeki köpük ve serpintiler rüzgâr yönü boyunca çok yoğun bir şekilde savrulur.
12	Kasırga	Büyük ve müthiş tahribat yapar. Daha çok ekvatorial bölgelerde rastlanır.

2.7.3. Küresel Rüzgârlar

Ekvator ve çevresi dünyanın diğer bölgelerine göre daha çok ısınır. Sıcak havanın yoğunluğu soğuk havaya göre daha az olduğundan, sıcak hava yerden 10 km kadar yükselerek kuzey ve güneye doğru yayılır. Dünya dönmeseydi, hava kuzey ve güney kutuplara kadar gider, oralarda soğur ve ekvatora geri dönerdi. Bu nedenle hakim

rüzgâr yönleri kuzey-güney doğrultusunda olurdu. Dünyanın dönmesiyle oluşan Coriolis kuvvetleri, 300 kuzey ve güney enlemlerine gelen sıcak havanın daha ileri gitmesini engeller ve soğuk hava alçalarak, sıcak havanın yükselmesi nedeniyle ekvatorda oluşan alçak basınç bölgesine doğru hareket eder. Böylece küresel rüzgârlar oluşur [9].

Yerel coğrafi koşullar küresel rüzgârları, dolayısıyla hakim rüzgâr yönlerini çok az etkiler. Çünkü küresel rüzgârlar 1000 metre ve üstü yüksekliklerde oluşurlar. Bu yükseklik rüzgâr türbini yüksekliğinden çok fazla olsa da, rüzgâr türbinleri yerleştirilirken hakim rüzgâr yönlerine az engel oluşturacak yönler seçilmelidir [11].

2.7.4. YüzeY Rüzgârları

YüzeY rüzgârları, 100 m yüKseğE kadar oluşAn ve yer yüzeyine yakınlaşAn rüzgârlara denir. Rüzgâr enerjisinin esas kaynağı bu rüzgârlardır. Bu rüzgârlar yer yüzeyinden çok etkilenirler; hızları ve yönleri değışir.

2.7.5. Yerel Rüzgârlar

Hakim rüzgâr yönlerini küresel rüzgârlar belirlese de, yerel iklim koşulları hakim rüzgâr yönlerini etkiler. Yerel rüzgârlar dağ rüzgârları ve deniz rüzgârları olarak iki başlık altında incelenebilir.

2.7.6. Dağ Rüzgârları

Isınan hava gündüzleri dağların eteğı buyunca yükselirken, geceleri ters yönde hareket etmektedir. Havanın bu şekilde hareketi ile oluşAn rüzgârlara “dağ rüzgârları” denmektedir. Zaman zaman çok kuvvetli olabilen bu rüzgârlara Kuzey yarım kürede dağların güneye bakan eteklerinde oluşAn vadi rüzgârları verilebilir. Güney yarım kürede ise tam tersi olarak dağların kuzey eteklerinde oluşmaktadır. Dağ rüzgârlarının en güçlü örneğı Rocky Dağlarındaki Chinook, Alplerdeki Foehn ve And Dağlarındaki Zonda rüzgârlarıdır [11].

2.7.7. Deniz Rüzgârları

Denizlere göre karalar daha çabuk ısınıp soğurlar. Bu sebepten dolayı gündüz vaktinde karadan yükselen sıcak havalar, yüzeyde alçak basınç bölgesi oluşturmakta ve soğumaktadırlar. Deniz üzerinde nispeten soğuk olan hava böylece karaya doğru çekilmekte ve deniz rüzgârlarını oluşturmaktadır.

Deniz ve kara arasındaki sıcaklık farkı akşama doğru azalma göstermektedir. Geceleri ise karalar daha çabuk soğumakta, bu nedenle de rüzgârlar karadan esmektedir. Ancak kara ile deniz arasındaki sıcaklık farkı geceleri daha az olduğu için gündüze göre rüzgârın hızı daha düşük olmaktadır. Muson rüzgârları, deniz rüzgârlarına bir örnektir [11].

2.8. TÜRKİYE'DE RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYEL DURUMU

Dünya'da rüzgâr enerjisinin önemi en çok 1973 yılında yaşanan petrol krizi ile anlaşılmıştır. Bu krizden sonra alternatif enerjiye olan talep artmıştır. Pek çok ülke güneş ve rüzgâr enerjisi üretimi alanında ciddi yatırımlar yapmaktadırlar. Son yirmi yılda yapılan mühendislik çalışmaları sonucunda, rüzgâr türbinlerinin daha düşük maliyetli elektrik enerjisi üretmeleri sağlanmıştır.

Türkiye'deki teorik rüzgâr enerjisi potansiyeli, Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA)'na göre 48000 MW dolaylarındadır. Elektrik şebekesine bağlanabilir rüzgâr enerjisi potansiyeli ise mevcut elektrik şebeke alt yapısı dikkate alındığında 10000 MW civarında hesaplanmıştır. Bununla birlikte orta vadede elektrik şebekesine bağlanabilir rüzgâr enerjisi potansiyelinin elektrik şebekesinde gerçekleştirilebilecek olası bir revizyon durumunda 20000 MW dolaylarına yükselmesi ihtimal görülmektedir. Türkiye'de kurulu rüzgâr gücünde 2020 yılına kadar 20000 MW dolaylarına ulaşılması beklenmektedir [8].

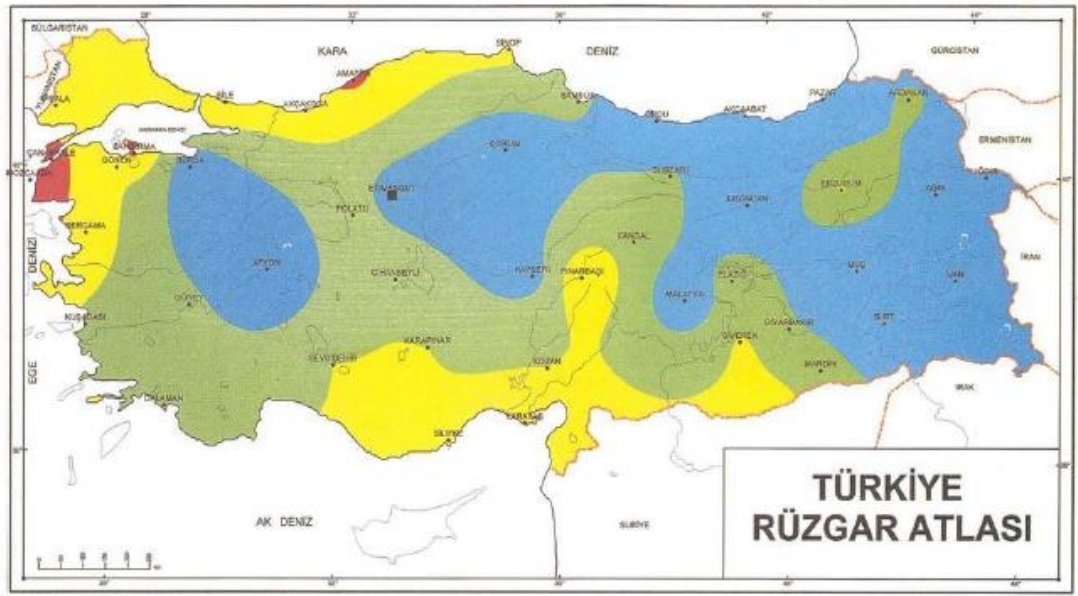
Ülkemizde 7.5 m/s üzeri rüzgâr hızına sahip ve yerden 50 metre yükseklikteki alanlarda kilometrekare başı 5 MW güce sahip rüzgâr santrali oluşturulabileceği kabul edilmektedir.

Bu bilgiler doğrultusunda oluşturulan REPA ile mikro-ölçekli rüzgâr akış modeli ve orta-ölçekli sayısal hava tahmin modeli kullanılarak üretilen rüzgâr kaynak bilgileri gösterilmektedir.

Türkiye'deki rüzgâr enerjisi potansiyelini göstermek için belirlenen miktar 48000 MW'dir. Türkiye yüz ölçümünün yaklaşık % 1.30'u bu potansiyele karşılık gelen toplam alan miktarıdır. rüzgâr ile elektrik üretimi 2014 yılında, Türkiye'deki toplam elektrik tüketiminin sadece % 3.27'sini karşılayabilmiştir. Rüzgârdan üretilen toplam elektrik miktarı 8367 GWh'dir. Tüketim karşılama oranı 2015'in ilk 11 ayında % 4.37 seviyesinde olmuştur. İşletmede olan rüzgâr enerji santrallerinin kurulu gücü ise 2015 Temmuz itibarıyla 4,192.8 MW olmuştur [8].

Çizelge 2.3. Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyeli [8].

Yıllık Ortalama Rüzgâr Hızı -50 m (m/s)	Güç Yoğunluğu – 50 m (W/ m²)	Kapasite (MW)
7.0 – 7.5	400 – 500	29.259,36
7.5 – 8.0	500 – 600	12.994,32
8.0 - 9.0	600 – 800	5.399,92
> 9.0	> 800	195,84
	Total	47.849



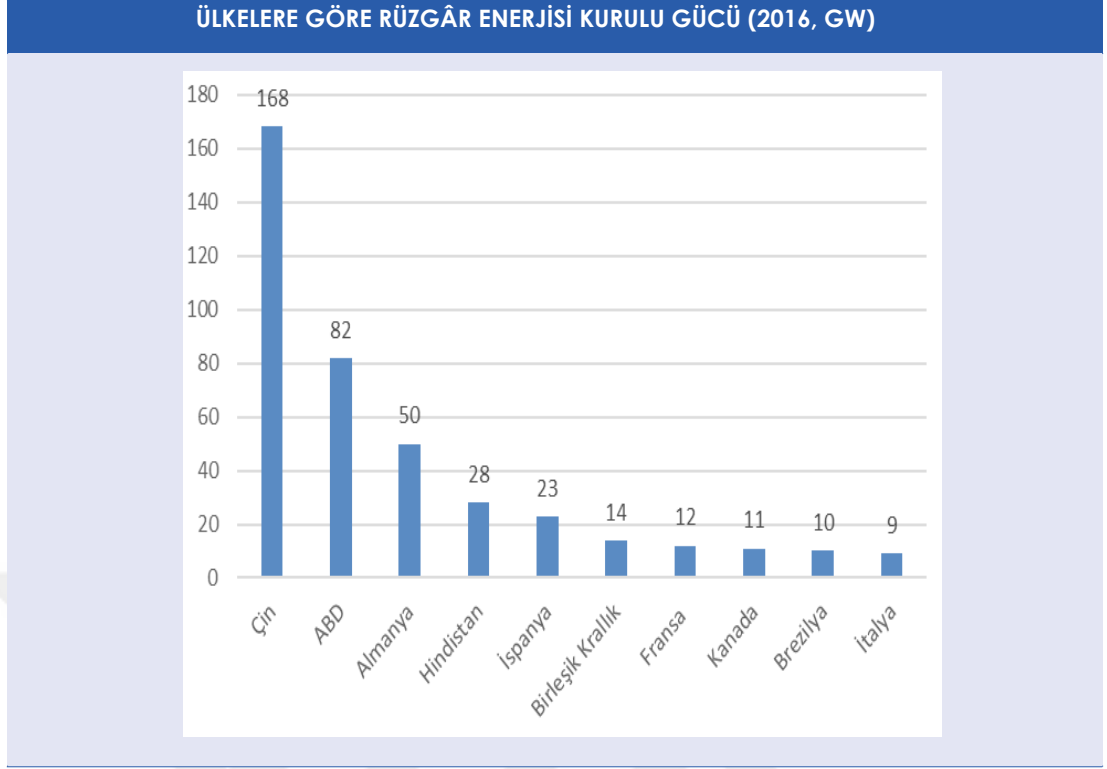
Beş farklı topografik durum için yer seviyesinden 50 m yükseklikteki rüzgâr potansiyelleri ¹									
Kapak Alanları ²		Açık Alanlar ³		Kıyılar ⁴		Açık Deniz ⁵		Tipe ve Bayrak ⁶	
m ²	W/m ²	m ²	W/m ²	m ²	W/m ²	m ²	W/m ²	m ²	W/m ²
> 6,0	> 200	> 7,5	> 800	> 8,5	> 700	> 9,0	> 800	> 11,5	> 1800
5,0 - 6,0	150 - 250	6,5 - 7,5	300 - 800	7,0 - 8,5	400 - 700	8,0 - 9,0	600 - 800	10,0 - 11,5	1000 - 1800
4,5 - 5,0	100 - 150	5,5 - 6,5	200 - 300	6,0 - 7,0	250 - 400	7,0 - 8,0	400 - 600	8,5 - 10,0	700 - 1000
3,5 - 4,5	50 - 100	4,5 - 5,5	100 - 200	5,0 - 6,0	150 - 250	5,5 - 7,0	200 - 400	7,0 - 8,5	400 - 700
< 3,5	< 50	< 4,5	< 100	< 5,0	< 150	< 5,5	< 200	< 7,0	< 400

1. Rüzgâr potansiyeli, rüzgârın gücünü temsil etmektedir. Rüzgâr türbini halihazırda potansiyelin % 20 ile % 30 luk bölümünü kullanabilir. Potansiyeli hesaplamaları; deniz seviyesinde 1 Atm'lik standart basınç ve 15 °C sıcaklıkta karşılık gelen 1,23 kg/m³ hava yoğunluğuna göre yapılmıştır.
2. Yeryüzüm alanları, araziler ve rüzgâr kucakları yoğun olduğu tanımlı alanları (pürüzlülük sınıfı 3)
3. Açık sahalarda rüzgâr kırılmaları olduğu açık alanlar (pürüzlülük sınıfı 1). İç bölgelerde en fazla tercih edilen alanlar genellikle bu sınıfa bulunmaktadır.
4. Düzgün kıyı alanları ve çok az sayıda rüzgâr kırma içeren kara yüzeyleri (pürüzlülük sınıfı 1). Eğer hakim rüzgâr yönü deniz tarafından ve sürekli ise, potansiyeli daha fazla olabilir. Tam hali durumunda ise potansiyeli daha az olabilir.
5. Kıyılardan en az 10 km uzaklıktaki açık denizler (pürüzlülük sınıfı 0).
6. Bütün sınıflarda % 90 ye varan bir hız artışı görülmektedir ve bu sonuç 400 m yüksekliğinde ve 4 km çapındaki sismik bir tepede yapılan hesaplamalarda elde edilmiştir. Rüzgâr hızı arttıkça, tepenin yüksekliğine, uzunluğuna ve yapısına bağlıdır.

Şekil 2.5. Türkiye rüzgâr atlası [17].

2.9. DÜNYANIN RÜZGÂR ENERJİ POTANSİYELİ

Teknolojik olarak gelişmiş birçok ülke, rüzgâr enerjisinden yararlanmaya yönelik birçok araştırma yapılmış ve önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Günümüz koşullarında geleneksel enerji üretim yöntemlerine nazaran bu potansiyelin bir kısmı ekonomik bir şekilde kullanılmaktadır. Teknolojideki ilerlemeler sebebi ile yenilenebilir enerji kaynakları arasında diğer kaynaklarla en rekabet edebilir kaynak durumuna gelen rüzgâr enerjisi; özellikle Çin’ de bir gelişim göstermiştir. Şekil 2.6’de global rüzgâr enerjisi pazarındaki ilk on ülke gösterilmiştir. Yapılan araştırmalar ve değerlendirmeler dünyanın rüzgâr kaynaklarının yeterli derecede fazla olduğunu göstermektedir. Bu araştırmalar doğrultusunda birçok ülke rüzgâr enerjine yönelmiş durumdadır. Teknik olarak yararlanılabilecek tüm rüzgâr kaynağının, 53000 TWs/yıl olduğu tahmin edilmektedir. Bu ise dünyanın 2020 yılında gereksinim duyacağı elektriğin iki katından fazladır. Bu nedenle, elektrik üretimi için rüzgâr gücü kullanımında kaynağın yetersizliğinin kısıtlayıcı bir faktör olması söz konusu değildir [12].



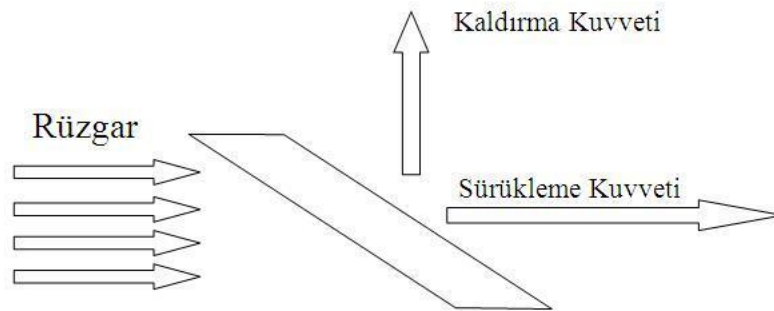
Şekil 2.6. Global rüzgâr enerjisi pazarındaki ilk on ülke [18].

BÖLÜM 3

RÜZGÂR TÜRBİNLERİ VE YAPILARI

Rüzgârda bulunan kinetik enerjiyi olarak mekanik enerjiye daha sonra da elektrik enerjisine dönüştürebilen sisteme “rüzgâr türbini” denmektedir. Bu sistemin çalışma mantığını anlayabilmek için iki önemli aerodinamik kuvvetin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu iki önemli kuvvet, kaldırma ve sürüklenme kuvvetleridir.

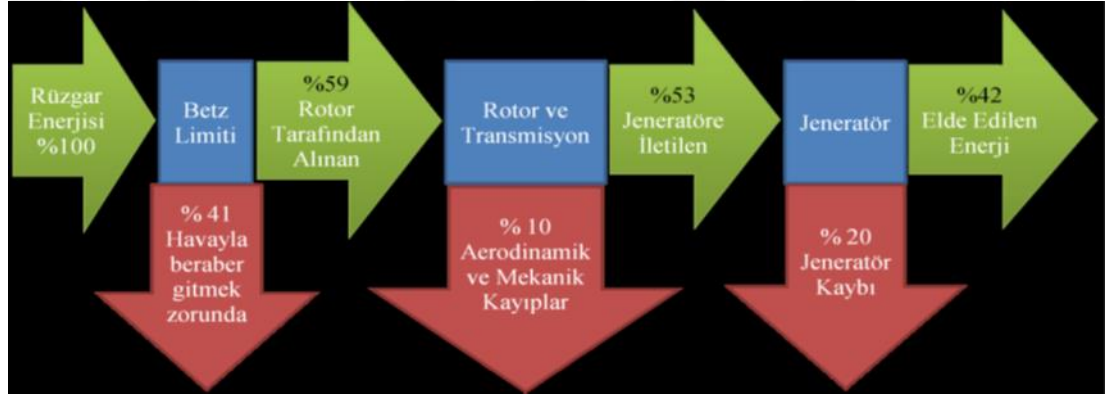
Bu kuvvetler Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Cisim üzerinde akış yönünde meydana gelen kuvvet “sürüklenme kuvveti”ni oluşturmaktadır. Örneğin düz bir plaka üzerinde oluşabilecek maksimum sürüklenme kuvveti, ancak hava akışının plaka üzerine dik geldiği durumda meydana gelmektedir. Minimum sürüklenme kuvveti ise hava akışının cismin yüzeyine paralel gelmesi durumunda oluşmaktadır. Akış yönüne dik olarak oluşan kuvvet ise kaldırma kuvvetidir. Bir uçağın havalanabilmesi için gerekli olduğu için bu ismi almıştır [17].



Şekil 3.1. Sürüklenme ve kaldırma kuvvetleri [17].

3.1. BETZ LİMİTİ

Rüzgârda bulunan enerjinin tamamı sürekli bir biçimde alınamaz. Çünkü enerjisini kaybeden hava durur. Türbinin sürekli olarak enerji üretebilmesi için havanın da sürekli olarak hareket etmesi gerekir. Bundan dolayı rüzgârdan elde edilebilecek maksimum enerji daha azdır. Bu konuda yapılan çalışmalar göstermiştir ki rüzgârın enerjisinin yararlanılabilecek kısmın teorik üst limiti % 59,3 tür. Bu değere Betz Limiti denir. Bugünkü şartlarda aşılamaz olan bu limit türbinle ilgili değildir. Güç kayıpları da dikkate alındığında türbinin ürettiği enerji rüzgâr enerjisinin şekil 3.2'de gösterildiği gibi yaklaşık % 42' si civarındadır [17].



Şekil 3.2. Rüzgâr türbinindeki enerji kayıpları ve elde edilen enerji miktarı [17].

3.2. RÜZGÂR GÜCÜ HESABI

Rüzgârın enerjisi hızının küpünün bir fonksiyonudur. Rüzgârın hızının iki kat artması durumunda rüzgârda bulunan enerji sekiz katına çıkar. Örneğin, 20 m/s hızındaki bir rüzgârdan elde edilebilecek enerji, 10 m/s hızdaki bir rüzgârdan elde edilebilecek enerjinin 8 katıdır ($20^3/10^3 = 8000/1000 = 8$) [17].

Rüzgârdaki güç miktarı denklem 3.1'de verilmiştir.

$$P = \frac{1}{2} * \rho * V^3 * C_p * A \quad (3.1)$$

3.3. SINIFLANDIRMA

Tip ve boyut açısından kullanımdaki rüzgâr türbinleri çeşitlilik göstermektedir. Bu türbinler daha çok dönme eksenine göre sınıflandırılmaktadır ve bu eksene göre iki çeşit rüzgâr türbini vardır. Bunlar "Düsey Eksenli Rüzgâr Türbinleri" (DERT) ve "Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri"dir (YERT) [17].

3.3.1. Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri

Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinlerinde dönme eksenini rüzgâr yönüne paralel, kanatları ise dik açıdır (Şekil 3.3). Rüzgârı alabileceği en iyi konuma yerleştirilmesi gereken rotor, bu nedenle döner bir tabla üzerine olmalıdır. Bu türbinlerde gücü oluşturan kuvvet kaldırma kuvvetidir [17].



Şekil 3.3. Yatay eksenli rüzgâr türbini [19].

Rüzgâr en iyi şekilde önden gelebileceği için bu türbinlerin çoğu, rüzgârı önden alacak tarzda tasarlanmaktadır. Arkadan alan türbinler de bulunmakla birlikte bunların kullanım alanı pek yaygın değildir. Kulenin oluşturmuş olduğu rüzgâr

gölgelenmesinden etkilenmemesi rüzgârı önden alan türbinlerin iyi tarafını oluştururken (Şekil 3.4). sürekli rüzgâra bakması için dümen sisteminin yapılması bu türbinlerin kötü tarafını oluşturmaktadır. Ayrıca kanatlar fazla esnek olmamalıdır. Rüzgârı arkadan alanlarda ise güçte titremeler olur. Ayrıca yorulma daha fazladır [17].

Bu türbinler kanat sayısına göre bir kanatlı, iki kanatlı, üç kanatlı ve çok kanatlı olarak sınıflandırılırlar.



Şekil 3.4. Yatay eksenli rüzgâr türbini [20].

3.3.1.1. Tek Kanatlı Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri

Bu türbinlerde dönme hızının yüksek olması ve kanat sayısının azlığı nedeniyle rotorun döndürme momenti ve makine kütlesi azalmaktadır. Kanat mekanizma hareketinin ve kanattaki yapısal yükleri azaltmaya yarayan mekanizmanın pürüzsüz olabilmesi için rotor kanadı, iki karşı ağırlıkla dengelenmeli ve tek menteşe ile sabitleştirilmelidir. Ayrıca mekanizma hareketinin kontrol altında tutulması ve ilave yüklerden ortaya çıkan aerodinamik balanssızlık nedeniyle tek kanatlı rotorlarda kanat bağlantı noktalarının çok iyi yapılması gerekmektedir. Üç kanatlı rüzgâr türbinlerine göre bir kanatlı rüzgâr türbinlerinin kanat uç hızı yaklaşık iki kat daha yüksektir. Bu da çalışma esnasında aşırı gürültü oluşturmaktadır [7].

3.3.1.2. İki Kanatlı Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri

Bu türbinler, rotor maliyetinin üç kanatlı türbinlere göre azaltılmak istenmesi sonucunda ortaya çıkmıştır. İlk olarak birçok ülkede 10 m ve 100 m rotor çap aralığı ölçülerinde türbinler tasarlanmıştır. Tasarlanan bu türbinler ABD ve Avrupa'da çalışmaya başlarken, bunlardan yalnızca birkaçı numune olmaktan çıkmış ve seri üretilmeye başlamıştır. Bir kanatlı rotora göre iki kanatlı rotorun balansı, daha düzgün yapıdadır. Ancak iki katlı rotorun neden olduğu dinamik hareketleri önleyebilmek için ek teknik güç kullanılmaktadır. Bu da maliyetin artmasına neden olmaktadır.

Rotora kanat bağlantı noktalarının titreşimi azaltabilmek için kadran sistemi eklenmiştir. Bu kadran iki rotor kanadına, dik rotor şaftına ise dikey bir şekilde yerleştirilmektedir. Bu tarz türbinlerin kanat uç hızlarının yüksek olması üç kanatlı rotorla kıyaslandığında en büyük avantajıdır. Dezavantajları ise düşük rüzgâr hızlarında (3 m/s) çalıştırılması ve seviyesinin yüksek olmasıdır [7].

3.3.1.3. Üç Kanatlı Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri

Bu türbin çeşidi dünyanın birçok bölgesinde kullanılmaktadır. Dönme momentinin daha düzgün olması üç kanat kullanımının temel sebebidir. Bu türbin çeşidinde atalet momenti yani türbinin yapısı üzerinde depolanan yükler nedeniyle salınım yapan bir sistem yoktur. Kanat bağlantı göbeğinin içerisinde titreşimi önleyen pahalı parçalar bulunmamaktadır. Bu sistemin avantajı sarsıntısız dönen kanatların göz estetiğini bozmamaları ve kanat uç hızının 80 m/s altında olması nedeniyle gürültünün düşük olmasıdır. Bu avantajları halk tarafından benimsenmesini sağlamıştır.

Küçük güçlü türbinlerde, üç kanatlı rotor kullanılması güç problemlerine neden olmaktadır. Bu sorunu halledebilmek için devri düşük olarak dönen rotorun devir sayısını $1/n$ düzeyinde artıran dişliler kullanılmaktadır. Jeneratör, rotor devreye girme hızına ulaşana dek boşta çalıştırılmaktadır [7].

3.3.1.4. Çok Kanatlı Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri

İlk elektrik üreten rüzgâr türbinini 1888 yılında Charles F. Brush 17 m çaplı ve 144 kanatlı olarak yapmıştır. Şekil 3.5'de görülen bu türbin 20 yıllık ömrü boyunca yaklaşık 12 kW'lık güç üretmiştir [17].

Rüzgâr türbinlerinin ilk örnekleri “çok kanatlı türbinler”dir. Bu türbinler uzun yıllar yalnızca su pompalamasında kullanılmıştır. Çok kanatlı üretilmesinin nedeni pompalama işlemindeki moment ihtiyacının karşılanabilmesidir. Düşük bir hızda çalışan bu türbinlerin kanat genişlikleri rotorun göbeğinden kanat uçlarına doğru artmaktadır. Dişli kutusuna bağlanan rotor mili sayesinde, jeneratör mili devir sayısı artırılmaktadır. Bu sistemde daha çok otomobillerde kullanılabilen jeneratörler kullanılmaktadır. Türbin yönlendiricisi taşıyan bu türbinler ile bu sayede rüzgâr hız vektörünü rotor düzleminin her zaman dik olarak alabilmesi amaçlanmaktadır [21].

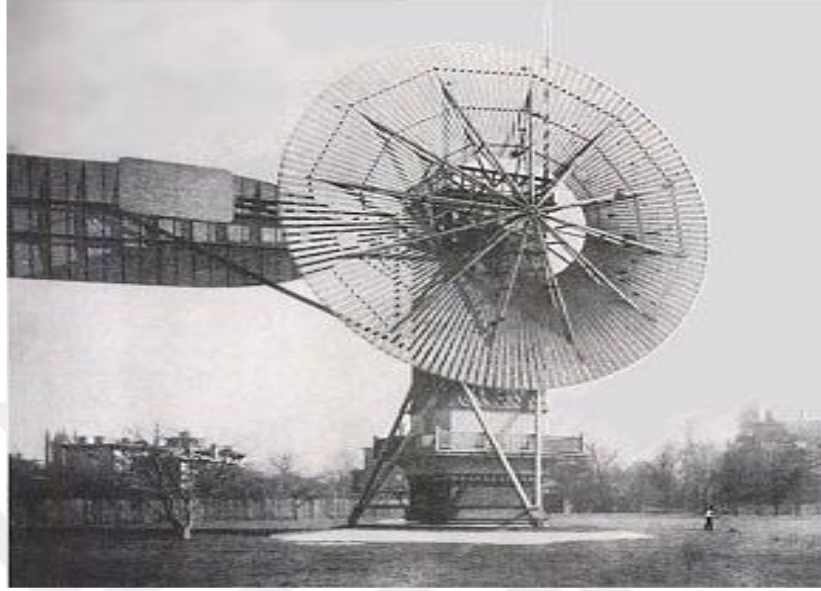
Bu türbinlerin üstünlükleri şöyledir:

1. Yerden yüksek oldukları için rüzgâr hızları yüksektir.
2. Verimi yüksektir.
3. Çalışabilmesi için bir motorun ilk hareketi vermesine gerek olmadığından ilk hareket motoruna da ihtiyacı bulunmamaktadır.
4. Mili yataklarının değiştirilmesi gereken durumlarda, makinenin tamamen yere yatırılmasına gerek yoktur [17].

Olumsuz özellikleri ise şöyledir:

1. Jeneratör ve dişli kutusunun bulunduğu nasele isimli parça ile rotor kule üzerine yerleştirildiğinden kule masrafı vardır.
2. Rüzgârı önden alan türbinlerde türbini rüzgâr yönüne çevirmeye, dolayısıyla dümen sistemine ihtiyaç vardır.
3. Parçaların bakım ve onarımı zordur.

Elde edilen güç rotor göbeği seviyesinde çıktığından, nakledilmesi daha zordur Elde edilen güç rotor göbeği seviyesinde çıktığından, nakledilmesi daha zordur [17].



Şekil 3.5. İlk rüzgâr türbini [17].

3.3.2. Düşey Eksenli Rüzgâr Türbinleri

Rüzgârın geliş yönüne dik olan türbin mili düşey konumdadır (Şekil 3.6). Bunda da güç üretimini kaldırma kuvveti sağlar. Darrieus tipi, Savonius tipi gibi türleri olan bu türbinin ticari sahada kullanımı oldukça azdır çünkü genellikle deney amaçlı üretilmektedir [17].

Bu türbinlerin üstünlükleri şöyle sıralanabilir:

Bu türbinlerin üstünlükleri elde edilen güç toprak seviyesinde çıktığından nakledilmesinin kolay olması, türbin mili dışında diğer parçaların bakım ve onarımının kolaylığı, türbini rüzgâr yönüne çevirmeye, dolayısıyla dümen sistemine ihtiyacın bulunmaması, dişli kutusu ve Jeneratör yere yerleştirildiğinden, türbini kule üzerine yerleştirmeye gerek olmaması, bu sayede kule masrafının da olmamasıdır [17].

Sakıncaları ise mil yataklarının değişmesi gerektiği durumlarda makinenin tamamının yere yatırılması, ayakta durabilmesi adına tellerle yere sabitlenmesi, çalışabilmesi için bir motor tarafından ilk hareketin verilmesi, bu sebeple bir hareket motoruna gereksinim duyması, verimi düşük olması ve yere yakın olması nedeniyle alt noktalardaki rüzgâr hızlarının düşük [17].

3.3.2.1. Darrieus Tipi Düşey Eksenli Rüzgâr Türbinleri

Düşey şekilde yerleştirilmiş iki kanadı olan bu türbin tipinde kanatlar, bir elips şeklinde dizayn edilmişlerdir (Şekil 3.6). Düz kanatlı olanlar da vardır. Dönme hareketi bu kanatların iç ve dışbükey yüzeyleri arasındaki çekme kuvveti farkı sebebiyle oluşmaktadır. Darrieus tipi rüzgâr türbinlerinde yapısı gereği, her devir başında iki defa en yüksek tork sağlanmaktadır. Türbinin sağladığı güç, rüzgârın tek yönden estiği varsayılırsa, sinüsoidal bir eğri oluşturmaktadır [17].



Şekil 3.6. Düşey eksenli Darrieus tipi bir rüzgâr türbini [22].

3.3.2.2. Savonius Tipi Düşey Eksenli Rüzgâr Türbinleri

Savonius türbinleri, iki ya da üç adet kepçeye benzer kesitin birleşimi şeklindedir (Şekil 3.7). Farklı tasarımlar olmakla beraber en yaygını iki adet kepçenin bulunduğu durumdur ve S şeklini andıran bir görüntüsü vardır. Bu türbinlerde güç üretimini sağlayan kuvvet sürüklenme kuvvetidir. Rüzgâr, içbükey kanat üzerinde türbülanslı bir

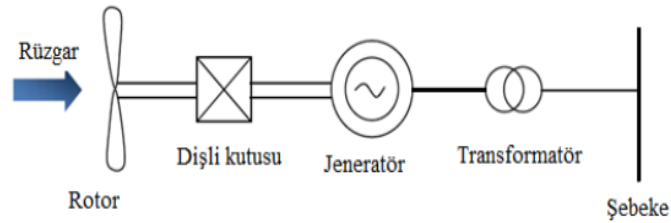
yol izlediği ve burada dönel akışlar meydana geldiği için Savonius türbininin performansı düşer. Bu yüzden elektrik üretiminde pek fazla kullanılmayan bu türbinler, genellikle anemometre olarak rüzgâr ölçümlerinde, deneysel ve su pompalama amaçlı kullanılmaktadır [17].



Şekil 3.7. Savonius tipi rüzgâr türbini [17].

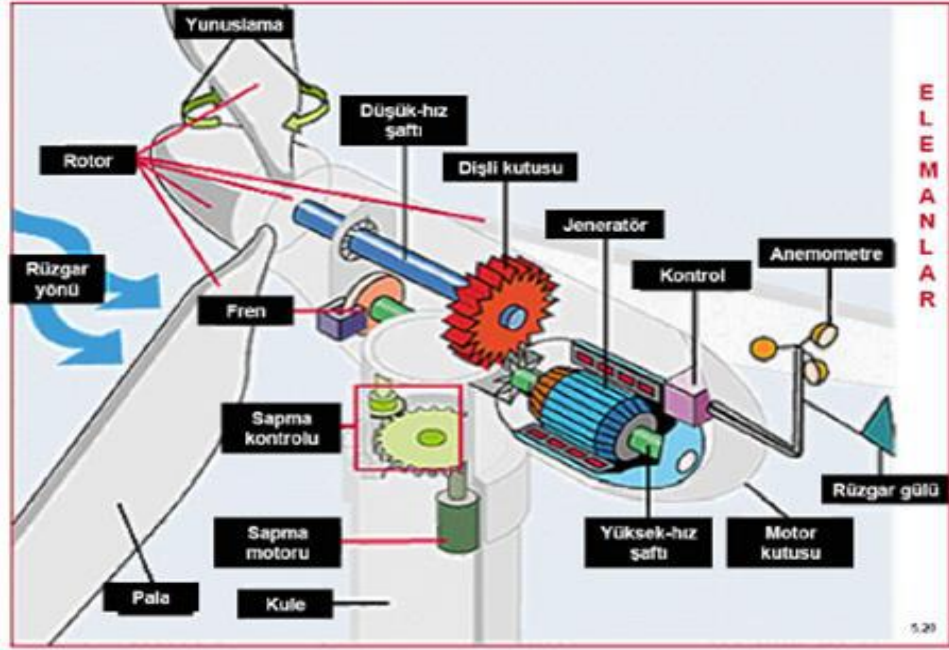
3.4. RÜZGÂR ENERJİSİNİN ELEKTRİK ENERJİSİNE DÖNÜŞÜMÜ

Rüzgâr enerjisi ile dönen yatay eksenli rüzgâr türbin kanat sisteminin dönme hızı, dişli kutusu ile hızlandırılarak elde edilen yüksek açısal hız ile manyetik alanda bulunan iletken teller (jeneratör) dönerler. Böylece elektrik elde edilir. Şekil 3.8’ de gösterildiği gibi, jeneratörden elde edilen elektrik akımının gerilimi transformatör ile şebekeye göre ayarlanır. Transformatörden elde edilen elektrik enerjisi aküler vasıtasıyla depolanır veya doğrudan alıcılara ulaştırılır.



Şekil 3.8. Rüzgâr enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümü [23].

3.5. RÜZGÂR TÜRBİN ELEMANLARI



Şekil 3.9. Rüzgâr türbin iç yapısı [23].

1. Anemometre: Rüzgârın hızını ölçüp kontrol devresine ileten parça.
2. Kanatlar (Blades): Genelde 2 yada 3 kanatlıdır. Pala da denir.
3. Fren: Rotoru acil durumlarda durdurmak için kullanılan diskli, elektrikli veya hidrolik sistemdir.
4. Kontrol Devresi: Uygun rüzgâr hızı olduğunda jeneratörün çalışmasını sağlayan ve yüksek hızlarda zarar görmemesi için jeneratörü kapatan devredir.
5. Dişli Kutusu: Rotorun ve jeneratörün yüksek ile düşük hız arasında geçiş yapabilmesini sağlayan parçadır. Rüzgâr jeneratörlerinin enerji üretimini devam ettirebilmesi için gereklidir.
6. Jeneratör: Elektriği üreten kısım.
7. Yüksek Hız Şaftı.
8. Düşük Hız Şaftı.
9. Nasel (Beşik): Rotor bu kısma montedir. Bu kısımda dişli kutusu, jeneratör, kontrol devresi ve fren bulunur.

10. Pitch: Kanatların açısı ayarır. Düşük veya yüksek rüzgâr hızlarında enerji üretiminin devamlılığını sağlar. Bir pervanenin 360 derecelik bir devri esnasında bir uçağı ileri doğru götürdüğü mesafeye de denir.
11. Rotor: Kanatların toplu olarak bağı oldukları kısım.
12. Kule: Rüzgâr jeneratörünün bulunduğu metal yapıdır. Bu yapının yüksekliği arttıkça üretilebilecek enerjide artar.
13. Rüzgâr Gülü: Rüzgârın yönünü belirleyip ve rota belirleyiciye iletir.
14. Sapma Kontrolü Dişlisi: Yatak eksenli rüzgâr jeneratörlerinde, jeneratörün rüzgâra doğru dönmesini için rota motorunun kontrol ettiği dişli.
15. Sapma Motoru: Sapma Kontrolü (Rota) dişlisini hareket ettiren motor [24].

3.5.1. Anemometre

Anemometre, rüzgârın hız ölçmek ve yönünü belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Örnek, 2 m/s ulaşan türbin devreye girme hızı, kesme hızının 17 m/s olarak ölçüldüğü bir türbinde, rüzgâr hızı 2 m/s'yi yakaladığında türbinin harekete geçmesi için rüzgâr türbininde bulunan elektronik kontrolcü vasıtasıyla anemometreden iletilen elektronik sinyaller kullanılır. Rüzgârın hızı 17 m/s'nin üzerine çıkarsa kontrolü sağlayan bilgisayar, türbini ve çevresinde bulunanları korumak amacıyla rüzgâr türbinini otomatik sonlandırır.

3.5.2. Kanatlar

Kanatlar vasıtasıyla yakalan rüzgârın gücü rotora aktarılır. 500 KW'lık güç üzerine kurulu modern bir rüzgâr türbinindeki kanatların her biri 19 m (63 ft) uzunluğunda bulunmaktadır ve bir uçak kanadına benzeyen bir dizayn vardır. Rüzgârın kendisinde var olan kinetik enerji rüzgâr türbinlerinde faydalı bir enerjiye dönüşmektedir. Bir rüzgâr türbininde en yüksek seviyede enerji üretimi elde edilmesinde birçok faktör etkilidir. Bunlar rüzgâr hızı, hava yoğunluğu, rüzgâr türbin kanadının süpürme alanı ve aerodinamik yapısı ve rüzgâr türbininin yüksekliği gibi unsurlardır. Rüzgâr türbin kanadının aerodinamik yapısı bu faktörlerin en önemlilerinden biridir. Rüzgâr türbinindeki kanadın aerodinamik özellikte olmasının önemi rüzgârın içindeki kinetik enerjinin yaklaşık % 59'unu faydalı enerjiye çevrilebiliyor olmasındandır.

Kanatlardaki tasarım, rüzgâr türbini için oldukça önem taşıyan bir konudur. Dolayısıyla kanat tasarımıyla alakalı olarak çok sayıda araştırmalar yapılmıştır ve buna bağlı olarak değişik kanat profilleri geliştirilmiştir.

Kanat malzemeleri olarak çoğunlukla (GRPL Glass Reinforced Plastic), alüminyum, karbon fiberiyle güçlendirilmiş plastik (CFRPL Carbon Fibre Reinforced Plastic), çelik, haddelenmiş ağaç ve normal ağaç kullanılmaktadır. Malzeme olarak ağaç kullanılan kanatlar yorulma dayanımında çok daha iyidirler. Çelik malzeme kullanıldığında da yorulma dayanımında düşüş olur. Ağır olması önemli bir problem olarak görülmektedir. Bugün büyük türbinlerde GRPL'den yararlanılmaktadır.

3.5.3. Fren

Rüzgâr kaynağından sağlanan enerji, rüzgâr hızının küpüyle paraleldir. Bundan dolayı rüzgâr hızları yüksek olduğunda oluşabilecek kuvvetler tahmin edilebilir. Bu kuvvetlerin kontrol edilmesi amacıyla fren sisteminden yararlanılmaktadır. Bilhassa fırtına olduğunda rüzgârın estiği yönün karşısına küçük bir yüzey çıkarmak, tesisten yararlanılamayan durumlarda da tümüyle durdurulması gerekmektedir. Bu sonuçlara ulaşmak için değişik sistemlerin uygulandığı bilinmektedir. Bu sistemlerden biri de mekanik fren sistemidir. Dişli kutusuna yerleştirilen disk mekanik fren sistemini oluşturmaktadır. Fren için kullanılan diskin malzemesi çeliktir ve bu disk mil üzerine monte edilir. Muhtemel arızalara karşı frenleme düzeneğinin bozulmaması için hidrolik yağ basıncına ihtiyaç duyulur. Hidrolik sistem, türbindeki aerodinamik frenlerin ayarlanmasında kullanılır.

3.5.4. Kontrol Devresi

Elektronik kontrolcü, rüzgâr türbininin şartlarını sürekli olarak takip eden ve rota mekanizmasını (yaw) kontrol eden bir bilgisayar bulundurur. Herhangi bir bozukluk durumunda türbini otomatik olarak durdurur ve türbin operatörü bilgisayarına modem hattı ile çağrı mesajı gönderir.

3.5.5. Dişli Kutusu

Sol tarafında düşük hızlı şaft vardır. Düşük hızlı şafttan yaklaşık olarak 60 kat daha hızlı dönen yüksek hızlı şaft ise sağ tarafdadır. Rüzgâr türbini rotorunun (pervanesinin) dönmesiyle elde edilen güç, ana şaft, dişli kutusu ve yüksek hız şaftından oluşan güç ünitesiyle jeneratöre aktarılır. Rüzgâr türbini rotorundan elde edilen yavaş dönme hızı ve yüksek tork, dişli kutusuyla jeneratör için kullanılan yüksek hız, düşük tork gücüne dönüştürülür. Genellikle rotorun dönüşüyle jeneratör arasında, tek bir dişli oranı vardır.

3.5.6. Jeneratör

Rüzgâr türbinlerinde mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülebilmesi için gerekli olan bir parça olan jeneratör, senkron ve asenkron olmak üzere iki çeşittir. Şebeke frekansında çalışan Senkron jeneratörler, şebekeden reaktif güç çekerek elektrik üretirler. Oldukça pahalı olan bu sistemlerin çalışabilmesi için şebekeye bağlı olması gereklidir. Maliyet olarak ucuz ve yapı bakımından daha basit bir sisteme sahip olan asenkron jeneratörler de ise şebeke frekansından daha yüksek bir frekansta çalışırlar. Asenkron jeneratörler şebekeden reaktif güç çekerek elektrik üretirler.

3.5.7. Yüksek Hız Şaftı

Dakikada yaklaşık 1.500 devir ile döner ve elektrik jeneratörünü çalıştırır. Acil bir mekanik disk freni ile birliktedir. Aerodinamik frenler çalışmadığı zaman veya türbin faaliyette olduğu zaman mekanik fren otomatik olarak devreye girer.

3.5.8. Düşük Hız Şaftı

Düşük hız şaftı, rotor bağlantı noktası yüksekliğinden rüzgâr türbinini dişli kutusuna bağlamaktadır. 500 KW'lık modern bir rüzgâr türbin rotoru dakikada 20-30 devir ile (yavaş) döner. Şaft, aerodinamik frenleri işletebilecek hidrolik sistemleri borulara bağlar.

3.5.9. Nasel (Beşik)

Nasel, rüzgâr türbininin jeneratör dahil ana parçalarını ve dişli kutusunu kapsar. Bu bölüme ilgili servis personeli türbin kulesinden girebilmektedir. Nasel'in sol tarafında kanat bağlantı noktası, rotor kanatları ve rüzgâr türbin rotoru bulunmaktadır.

3.5.10. Pitch (Kanat Döndürme Mekanizması)

Kanatlar, bu mekanizma da göbeğe sabit bir açı ile bağlanmışlardır. Pitch sayesinde kanat, eksenini etrafında rüzgâr hızına göre döndürülmektedir. Bu türbinler, nominal hız üzerinde sabit güç üretimi sayesinde daha kaliteli bir güç çıktısı elde etmek mümkündür. Bu sistem ile aşınmayı azaltma adına yalnızca nominal hızın üzerindeki güç kontrolü için kullanılabileceği gibi tüm hızlarda kullanılarak sağlanan enerjinin artırılması sağlanmaktadır.

Pitch kontrollü türbinlerden elde edilecek performans artışı temel olarak kullanılan pitch mekanizmalarının hızına ve hassasiyetine bağlıdır. Bu makineler sahip oldukları pitch sistemleri sebebiyle yüksek hızlarda yapısal sorunlarla karşı karşıyadır. Ancak gelişen teknolojiyle bu sorunlar en aza indirmek mümkün hale gelebilir.

3.5.11. Rotor

Rotor, kanatlar ve bunları birleştiren göbeğe verilen isimdir. 2 veya 3 kanatlı sistemler günümüzde daha çok kullanılmaktadır. Sistemde hareket mili rotor göbeğine bağlıdır. Rotor, gücün şaft aracılığı ile dişli kutusuna, ardından jeneratöre gönderen birime rotor denmektedir.



Şekil 3.10. Modern bir Rotor göbeğinin iç yapısı [24].

3.5.12. Kule

Kule, rotoru ve kafa kısmını bünyesinde taşımaktadır. Rüzgâr hızlarının yerden yükseldikçe artması nedeniyle kulenin yüksek olması bir avantajdır. Bununla birlikte maliyetin ve kule ağırlığının artması kulenin daha fazla yükselmesini engellemektedir. Tipik olarak 500 KW'lık modern bir rüzgâr türbininin kulesi 40-50 metre yüksekliktedir (15-18 katlı bina yüksekliği kadar). Kuleler kafes veya tüp biçimindedirler. Bu iki kule çeşidinden tüp biçiminde olan çalışanlar açısından daha avantajlıdır. Gerekli durumlarda bir merdiven sayesinde içeriden türbinin tepesine ulaşmak daha kolaydır. Ama asıl avantajı ucuz olmasıdır.

3.5.13. Rüzgâr Gülü

Rüzgâr gülünden gelen sinyaller, rüzgâr türbini elektronik kontrolcüsü tarafından alınarak, sapma kontrolü dişlisi (yaw) yardımıyla rüzgâra karşı türbini döndürmek için kullanılır.

3.5.14. Sapma Kontrolü Dişlisi (Yaw)

Sapma kontrolü (Rota mekanizması), rüzgâr gülü kullanarak rüzgâr yönünü belirleyen elektronik kontrolcü tarafından işletilir. Rüzgârdan azami derecede faydalanabilmek için kanatların yönü daima rüzgâra dik olmalıdır. Rüzgâr yönü değiştiği zaman rota mekanizması devreye girerek türbin kanatlarını en uygun duruma getirir. Bu genelde birkaç derecelik bir açı değişimi ile sağlanabilir.

3.5.15. Sapma Kontrolü Motoru

Rota mekanizmasının (yaw) dönderilmesi, sapma kontrolü motorunun tahrik etkisiyle olur. Yeni nesil türbinlerde yaw mekanizması hidrolik fren sistemiyle birlikte takılmaktadır. Hidrolik fren rotor dönüşündeki pürüzleri düzelttiği gibi, rüzgâra göre uygun konum yakalandığında rotoru sabitlemektedir.

BÖLÜM 4

YATAY EKSENLİ RÜZGÂR TÜRBİNİ TASARIM DEĞERLERİ

4.1. TASARIM DEĞERLERİNİN BULUNMASI

Rüzgâr enerjisinden elektrik üretmek amacıyla; 10 m/s ortalama rüzgâr hızına göre, çevredeki engellerin rüzgârı kesemeyecekleri 10 m hub yüksekliğinde bir kule, bunun üzerine yerleştirilmiş gövde ve gövdeye bağlı, üç kanatlı, 2 m rotor çaplı bir rüzgâr türbini tasarlanmış ve kurulumu yapılmıştır. Rüzgârın kinetik enerjisini rotorda mekanik enerjiye çevirerek, rotor milinin devir hareketini hızlandırarak, gövdedeki jeneratöre aktarmak üzere tasarlanmış ve Betz teoremine göre rüzgâr enerjisinin, maksimum % 59,26'sının elektrik enerjisine çevrilebileceği dikkate alınarak tasarım hesapları yapılmış, yapılan bu hesaplarda kullanılan formüller ve hesaplar neticesinde ortaya çıkan değerler aşağıda verilmiştir.

4.1.1. Rüzgârın Güce Dönüşümü

Hareket halinde bulunan her cismin bir kinetik enerjisi vardır, “v” hızı ile hareket eden “ m_h ” hava kütlelerinin kinetik enerjisi de;

$$E_k = \frac{1}{2}m_h V^2 \quad (4.1)$$

olmaktadır. Hareket eden havanın yoğunluğu “ ρ ” ile, hareket eden hava kütlelerinin hacmi “ V_h ” ile gösterilirse, bu kinetik enerji;

$$E_k = \frac{1}{2}\rho V_h V^2 \quad (4.2)$$

olarak da yazılabilir. Hareket etmekte olan hava kütleleri rüzgâr motorunun “ A_s ” süpürme alanlı devitken çarkına dikey yönde çarptığı zaman, çarpan hava kütlelerinin

içinde bulunan kinetik enerjinin bir kısmı frenlenir ve frenlenen enerji, enerjinin korunumu kanununa göre, rüzgâr motorunun çalıştırılmasında kullanılır. Rüzgâr devitken çarkına çarpan havanın debisi, “ $A_s \cdot v$ ”; gücü “ P ”, yani birim zamanda yapabileceği iş ise;

$$P = \frac{1}{2} \rho A_s V V^2 \quad (4.3)$$

Yukarıdaki eşitlik;

$$P = \frac{1}{2} \rho A_s V^3 \quad (4.4)$$

Şeklinde de yazılabilir. Hava yoğunluğu ve rüzgâr hızı iş formülünden yola çıkarak rüzgârın iş yapabilme yeteneğine etki eden faktörlerdir. Rüzgârın gücü, rüzgâr hızının küpü ile doğru orantılı olduğu halde, hava yoğunluğunun ancak birinci dereceden kuvvetiyle doğru orantılı olduğu görülmektedir.

Rüzgâr hızının sayısal değerine çeşitli doğal faktörler etki edebilmektedir. Bunların en önemlileri, enlem dereceleri, yüzey şekilleri yeryüzünden olan yükseklik ve hava yoğunluğu değerleridir. Hava yoğunluğu, rüzgâr hızına etki ederek dolaylı yoldan rüzgârın iş yapabilme yeteneğini değiştirebildiği gibi, dolaysız yoldan da etki etmektedir [25].

4.1.2. Kanat Sayısı Ve Rotor Devir Sayısı Arasındaki İlişkiler

Rüzgâr türbinlerinde kullanılan kanat sayısı genellikle 2-25 arasındadır. Düşük hızlı türbinlerdeki kanat sayısının çok, yüksek hızlı türbinlerde kanat sayısının az olduğu düşünüldüğünde kanat sayısı ile hız katsayısı arasında bir ters orantının olduğu anlaşılmaktadır. Bu ilişki Çizelge 4.1’de görülmektedir. Bu hız katsayısı,

$$\lambda = \frac{V_s}{V} \quad (4.5)$$

olarak tanımlanır.

Burada;

V_{ζ} : Türbin çarkının çevresel hızı (m/dak),

V : Rüzgâr hızı (m/s),

λ : Hız katsayısıdır.

Çizelge 4.1. Kanat sayısı ile hız katsayısı arasındaki ilişki [25].

Kanat sayısı	Hız katsayısı (λ)
8-24	1
6-12	2
3-6	3
2-4	4
2-3	5

Yapılan tasarımda, rotor üç kanatlı olduğu için çevresel hız hesaplanırken hız katsayısının $\lambda=3$ alınması uygun olacaktır.

4.1.3. Türbin Çarkının Çevresel Hızı

Çevresel hız türbin çarkının uç noktası olan pervanenin en uç noktasının dakikada metre cinsinden almış olduğu yoldur. Rüzgârın hızı ile doğru orantılı ve sistemde kullanılan kanat sayısı ile ters orantılıdır.

$$V_{\zeta} = V\lambda \quad (4.6)$$

4.1.4. Rotor Çevresi

Rotor çevresi, kanatların dönme esnasında meydana getirdikleri dairenin çevre uzunluğudur. Kanat uzunluğu ile doğru orantılıdır.

$$L_{\zeta} = \Pi D \quad (4.7)$$

Burada;

L_{ζ} : Türbin çarkının çevresi (m),

D : Rüzgâr türbini rotor çapı (m),

Π : Pi sayısı'dır.

4.1.5. Rotor Devri

Rotorun ve rotora bağlı olarak dönen güç aktarma milinin bir dakikada yapmış olduğu dönme sayısıdır. Rüzgâr hızı arttıkça devirde artar fakat sistemde kullanılan kanat sayısı arttıkça devir azalır.

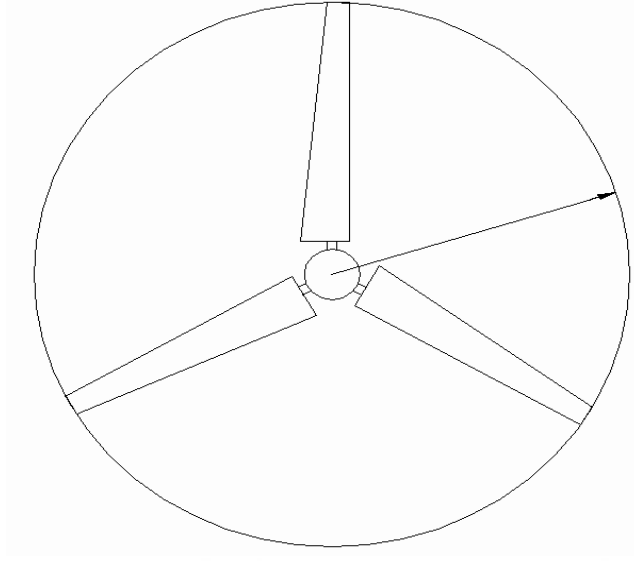
$$n_R = \frac{V_{\zeta}}{L_{\zeta}} \quad (4.8)$$

Burada;

n_R : Rotorun devri (dev/dak)'dir.

4.1.6. Süpürme Alanı

Süpürme alanı, rotor göbeği ve kanatların dönme esnasında meydana getirdikleri dairenin alanıdır (Şekil 4.1). Kanat uzunluğu ile doğru orantılıdır. Süpürme alanı büyüdükçe rüzgârın çarptığı alanda büyüyeceğinden rüzgârın rotorda oluşturduğu güçte artar.



Şekil 4.1 Rotorun süpürme alanı [26].

$$A_s = \Pi r^2 \quad (4.9)$$

Burada;

A_s : Rotorun süpürme alanı (m^2),
 r : Rüzgâr türbini rotor yarıçapı (m)'dir.

4.1.7. Rotorda Oluşan m^2 Başına Güç

Havada serbest dolaşan rüzgâr, rotora çarptığı andan itibaren mekanik enerjiye dönüşmeye başlar. Çizelge 4.2'de deniz seviyesinde, 15 °C standart atmosferik basınçta, 1,225 kg/m^3 yoğunluktaki kuru havada rüzgârın m^2 başına oluşturduğu enerji miktarı, farklı rüzgâr hızlarına göre verilmiştir. Birim alan başına rotorda oluşan güç miktarı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$P_a = 0,5. \rho. A_s. V^3 \quad (4.10)$$

Burada;

P_a : Rotorda oluşan m^2 başına düşen güç (W/m^2)

ρ : Birim hacim için hava kütlesi yani yoğunluk (kg/m^3), $15\text{ }^\circ\text{C}$ 'de deniz seviyesinde $1,225\text{ kg/m}^3$ alınır.

Çizelge 4.2. Deniz seviyesinde, $15\text{ }^\circ\text{C}$ standart atmosferik basınçta, $1,225\text{ kg/m}^3$ yoğunluktaki kuru havada rüzgârın gücü [26].

Rüzgârın hızı (m/s)	Rüzgârın gücü (W/m^2)	Rüzgârın hızı (m/s)	Rüzgârın gücü (W/m^2)
0	0	12	1058,4
1	0,6	13	1345,7
2	4,9	14	1680,7
3	16,5	15	2067,2
4	39,2	16	2508,8
5	76,2	17	3009,2
6	132,3	18	3572,1
7	210,1	19	4201,1
8	313,6	20	4900,0
9	446,5	21	5672,4
10	612,5	22	6521,9
11	815,2	23	7452,3

Çizelge 4.3. Deniz seviyesinde, standart atmosferik basınçta havanın yoğunluğu [26].

Sıcaklık ($^\circ\text{C}$)	Kuru havanın yoğunluğu (kg/m^3)
-25	1,423
-20	1,395
-15	1,368
-10	1,342
-5	1,317
0	1,292
5	1,269
10	1,247
15	1,225
20	1,204
25	1,184
30	1,165
35	1,146
40	1,127

Türbin Amasya Merzifon'da kurulduğu için havanın yoğunluğu 1,292 (kg/m³) alınmıştır.

4.1.8. Rotorda Oluşan Giriş Gücü

Rotorun süpürme alanının boyutları, rüzgârın rotorda oluşturduğu mekanik enerji ile doğrudan ilişkilidir. Kanatların uzunluğu ve rüzgârın çarptığı alan ne kadar büyük olursa güç aktarma milinde meydana gelen momentin dolayısı ile güç miktarının o oranda büyük olması beklenir. Havanın yoğunluğu ise bu gücü etkileyen bir diğer faktördür.

$$P_R = A_s P_\partial \quad (4.11)$$

Burada;

P_R : Rotorda oluşan giriş gücü (W)

4.1.9. Jeneratör Çıkış Gücü

Rotor girişinden jeneratör çıkışına kadar bir sürtünme ve güç kaybı söz konusudur. Dolayısıyla rotorda oluşan gücün tamamı jeneratörden çıkamaz. Elde edilebilecek en yüksek güç, enerji ve momentumun korunumu yasası gereğince, Betz teoreminde de geçtiği gibi varsayılan silindir içinden geçerek pervanelerin taradığı alana yönelen hava akımlarının sahip bulunduğu tüm kinetik enerjinin maksimum % 59,26'sı civarındadır. Bu kural yatay eksenli türbin sistemleri için bir kesinlik ifade etmekle birlikte, bu tür sistemlerde tüm tasarım çalışmaları bu maksimum verimliliğe erişebilmek için yapılır. Fakat bu güne kadar yapılan yatay eksenli rüzgâr türbinleri için en yüksek deneysel verim % 45, ortalama yıllık verim ise % 20 civarındadır. Yaptığımız bu çalışmada hesaplar yapılırken maximum % 59,26 verim esas alınmıştır.

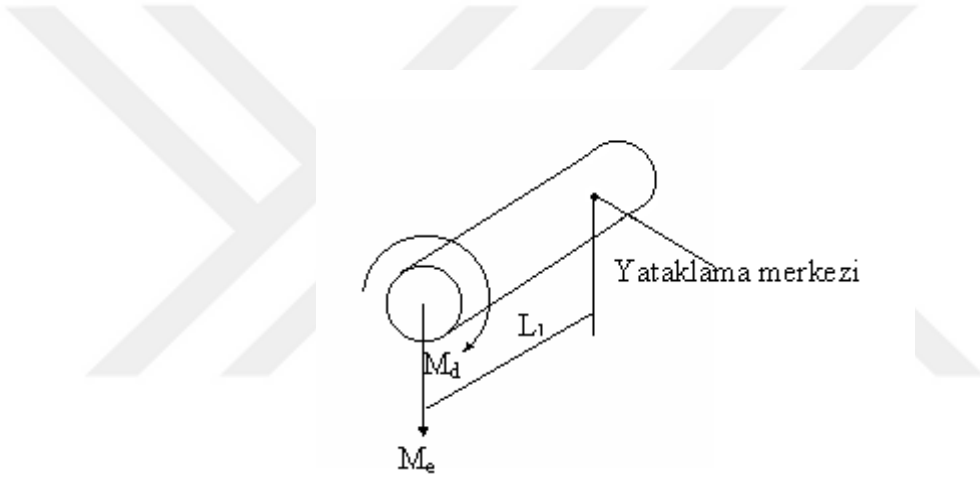
$$P_{\zeta} = P_R \cdot \eta_t \quad (4.12)$$

Burada;

P_{ζ} : Jeneratör çıkış gücü yani elde edilebilir güç (W)

η_t : Maksimum türbin verimi

Rotor, dönüşü sırasında uyguladığı kuvvet (F_2) ile güç aktarma milini burulmaya zorlar (Şekil 4.2). Rotorda oluşan güç miktarı ve devir sayısı mildeki burulmayı etkileyen faktörlerdir.



Şekil 4.2 Rotor milini etkileyen kuvvetlerin oluşturduğu momentler [26].

$$M_d = 7025,9 \cdot \frac{P_R \cdot 1,36}{\eta_R} \quad (4.13)$$

Burada;

M_d : Burulma momenti (Nm)'dir.

F_2 : Mili burulmaya zorlayan kuvvet (N)

4.1.10. Eğilme Momenti

Güç aktarma milinin ucuna monte edilen rotor ve kanatların toplam ağırlığı (F_1) mili birinci yatak mesafesinden eğilmeye zorlar (Şekil 4.2).

$$M_e = F_1 \cdot L_1 = (m_R \cdot g) \cdot L_1 \quad (4.14)$$

Burada;

M_e : Eğilme momenti (Nm),

F_1 : Mili eğilmeye zorlayan kuvvet (N),

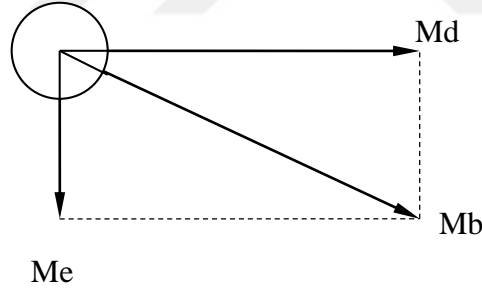
m_R : Rotorun toplam ağırlığı (kg)

g : Yer çekimi ivmesi (m/s^2)

L_1 : Rotor merkezi ile yatak merkezi arasındaki mesafe (m)'dir.

4.1.11. Bileşik Moment

Bir mil yalnızca burulmaya çalışılmaz, çoğu zaman burulma etkisi ile eğilme etkisi beraber olur (Şekil 4.3). Bu sebeple mili etkileyen kuvvetlere göre bileşik momentin belirlenmesi gerekir.



Şekil 4.3 Burulma, eğilme ve bileşik momentleri [26].

$$M_b = \sqrt{(M_d)^2 + (M_e)^2} \quad (4.15)$$

Burada;

M_b : Bileşik moment (Nm)'dir.

4.1.12. Mukavemet Momenti

$$W = \frac{M_b}{\sigma_{em}} = \frac{M_b}{\left(\frac{\sigma_{ak}}{S}\right)} \quad (4.16)$$

Burada;

W : Mukavemet momenti (m^3),

σ_{em} : Emniyetli gerilme (N/m^2) dir.

σ_{ak} : Kayma gerilmesi (N/m^2), (Mil, şaft, cıvata vs. yapımında kullanılan MKE normu alaşımsız makine yapım çeliği Ç 1060 için $382,59 N/mm^2$)

S : Emniyet katsayısı

4.1.13. Rotor Mili Çapı

Bir rüzgâr türbini tasarımında en önemli noktalardan birisi rotorda oluşan gücün jeneratöre aktarımında kullanılan güç aktarma milidir. Bu mil kendisini etkileyen farklı kuvvetlere karşı emniyetli olarak dayanabilecek özelliklerde seçilmelidir. Rotor mili çapı bu özelliklere uygun seçilmelidir.

$$d_R = \sqrt[3]{\frac{W_m \cdot 32}{\pi}} \quad (4.17)$$

Burada;

d_R : Güç aktarma mili çapı (m)'dir.

4.1.14. Yapılan Hesaplara Göre Tasarımda Dikkate Alınan Değerler

Kule yüksekliği	: 10 m
Kanat sayısı	: 3
Kanat malzemesi	: Kompozit
Rotor çapı	: 2,3 m

Redüktör çevrim oranı	: 30/1
Ortalama rüzgâr hızı	: 7 m/s
Türbin çarkı (rotor)'nın çevresel hızı	: 1260 m/dak
Rotorun çevresi	: 6,59 m
Rotorun devri	: 191,19 dev/dak
Süpürme alanı	: 3,29 m ²
Rotorda oluşan m ² başına güç	: 728,99 W/m ²
Rotorda oluşan giriş gücü	: 2,39 kW/h
Jeneratör çıkış gücü (maksimum)	: 1,41 kW/h
Burulma momenti	: 3870,6 Nm
Eğilme momenti	: 230,75 Nm
Bileşik moment	: 3877,4 Nm
Mukavemet momenti	: 20,57 Nm
Rotor mili çapı	: 16 mm

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. TÜRBİN DENEY SİSTEMİNİN KURULMASI

Bu çalışma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiş olduğundan dolayı, proje gereği Amasya-Merzifon ilçesinde bulunan Merzifon Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi bahçesine yatay eksenli ve 2 kwatt gücünde bir santral kurulmuştur. Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünün 23 / 01 / 2019 tarih ve 2019 / 1-20 sayılı kararı ile Karabük Üniversitesi akademik personelinin kullanımına açık olmak üzere Merzifon Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesine hibe edilmiştir. Kurulum çalışmaları aşağıda anlatılmıştır.

5.1.1. Türbin ve Direk Sistemi

Sistemde 1 adet 2 KW gücünde türbin kullanılmıştır. Türbin, rüzgâr hızının yükselmesi durumunda pervane dönme eksenini düşey eksene doğru kaydırmakta ve kuyruk açısını değiştirmektedir. Bu sayede yüksek rüzgâr hızlarında türbin hızının tehlikeli şekilde artmasına engel olmaktadır. Ayrıca direk tepe kuvvetinin de aşırı artmasını önlemektedir. Türbin yaklaşık 10 metre uzunluğunda olup, değişken çaplı (üç kademeli) ve galvanizli (boru) çelik bir direk üzerine monte edilmiştir. Şekil 5.1’de türbin direk montajı için açılan çukur ve demir bağlantısı görülmektedir.



Şekil 5.1. Türbin direk montajı için yapılan çalışmalar.

Direk 1,5 m'lik temel derinliğine sahip olup direk temeline yaklaşık 6 metreküplük bir çimento dökülmüştür. Temelin ağırlığı yaklaşık 15 ton civarındadır. Sistem ilerde büyütülebilecek şekilde tasarlanmıştır. Şekil 5.2'de türbin direk montajı için dökülen beton yapı görülmektedir.



Şekil 5.2. Türbin direk montajı için yapılan beton döküm çalışması.

Betonunun kurumasından sonra rüzgâr türbin direk montajı yapıldı. Şekil 5.3’de direk montaj çalışmaları görülmektedir.



Şekil 5.3. Türbin direk montajı için yapılan çalışmalar.

Sistemin montajı yapılarak deneysel çalışmalar için hazır hale getirilmiştir. Elde edilen elektrik enerjisi okul girişinin ve bahçesinin aydınlatılmasına da katkı sağlayacaktır. Şekil 5.4’de bu durum görülmektedir.



Şekil 5.4. Türbin sisteminden elektrik enerjisi elde edilmesi.

5.1.2. Kontrol Ünitesi Sistemi

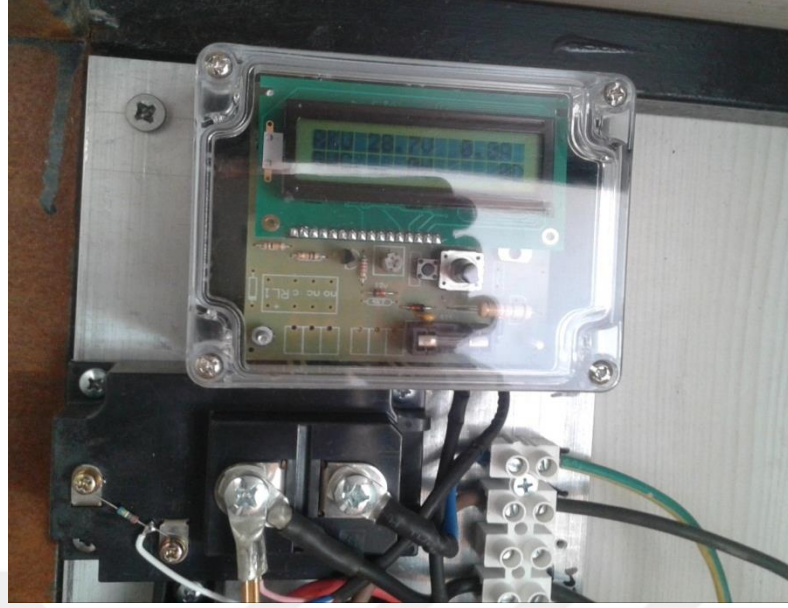
Rüzgâr sisteminden alınabilecek enerji miktarı, mevcut rüzgâr potansiyelinin yanı sıra türbin denetleyicisinin performansına da bağlıdır. Sistem optimum çalışma noktasında tutulmaya çalışıldı. Aküler tamamen dolduğunda uç gerilimi yükseleceğinden şarj kesilimi için sisteme rezistans eklendi. Bu durumda türbinin boşta aşırı hızlara çıkmaması için bir yardımcı yük direnci oluşturuldu. Sistem akü gerilimi belirlenen bir değerin altına düşmesine kadar bu konumda kalması sağlandı. Akülerin ömrünü uzatacak şekilde uç gerilimini hassas olarak ölçerek mevcut şartlardaki en uygun şarj akımını ayarlanmaktadır. Belirli aralıklarla ve sürelerde yükseltici şarj ve Jel aküler için gerekli olan eşitleyici şarj koşullarına otomatik olarak geçmektedir. Şarj denetleyici yardımıyla akülerin uç gerilimi, mevcut kapasite, anlık şarj akımı değerleri ölçülebilmektedir. Şekil 5.5’de sistemin kontrol ünitesi görülmektedir.



Şekil 5.5. Türbin sistemi kontrol ünitesi.

5.1.3. Deneysel Analiz Verilerinin İnverter Yardımıyla Elde Edilmesi

Kurulan sistem öncelikle araştırma ve tanıtım amaçlı bir sistem olduğundan enerji üretimi ve buradan elde edilen enerjinin kullanımı ikinci planda tutulmuştur. İlk aşamada elde edilen enerjiden çevre aydınlatması yapılması planlanmış ve bu işlemde başarı sağlanmıştır. Şekil 5.6'da enerji verileri ölçüm cihazı görülmektedir.



Şekil 5.6. Türbin sistemi enerji ölçüm veri ünitesi.

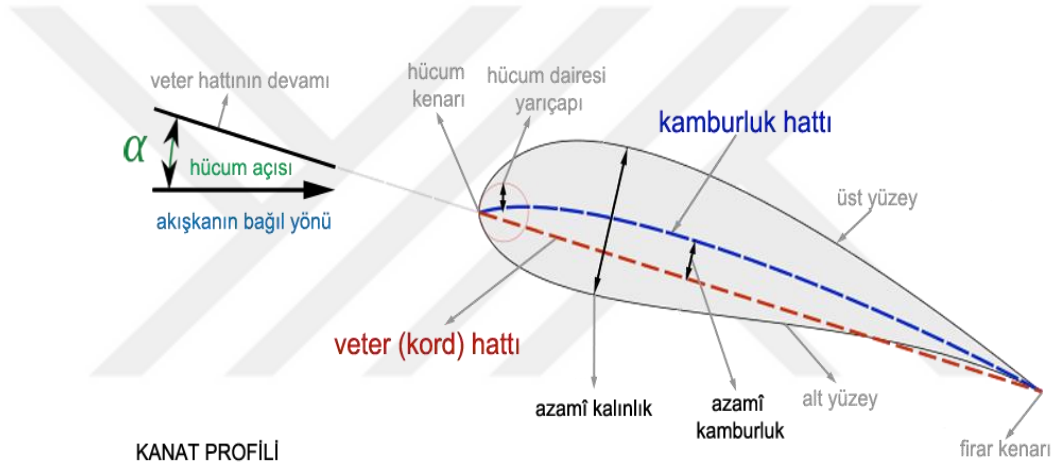
5.2. KANAT GEOMETRİSİNİN BELİRLENMESİ VE TASARIM

Bu çalışma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (BAP) tarafından desteklenmiş olduğundan dolayı, daha önce yazılmış olan tezlerdeki kanat geometrilerinde bulunan bilgisayar verileri ve gerçek ortam verilerinin birbirlerini desteklemesine katkı sağlamaktır. Öncelikle kanat kesiti hakkında bilgi verilmiştir. 2014 yılında Kırıkkale Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında öğretim üyesi Prof. Dr. Ali Erişen danışmanlığında ve makine mühendisi Mehmet Bakırcı tarafından hazırlanan, “Rüzgâr Türbin Kanat Profil Optimizasyonu” adındaki yüksek lisans tezinde, NACA0012 türbin kanadı referans alınarak MB02 adında yeni bir türbin kanat geometrisi oluşturulmuştur.

Bu kanada ait geometri referans alınarak Solidworks programında kanada ait gerekli çizimler yapıldı. Daha sonra kanat Ansys workbench programında STD-810 testi ile rüzgâr yükü analizi yapılmıştır.

5.2.1. Standart Kanat Kesitleri

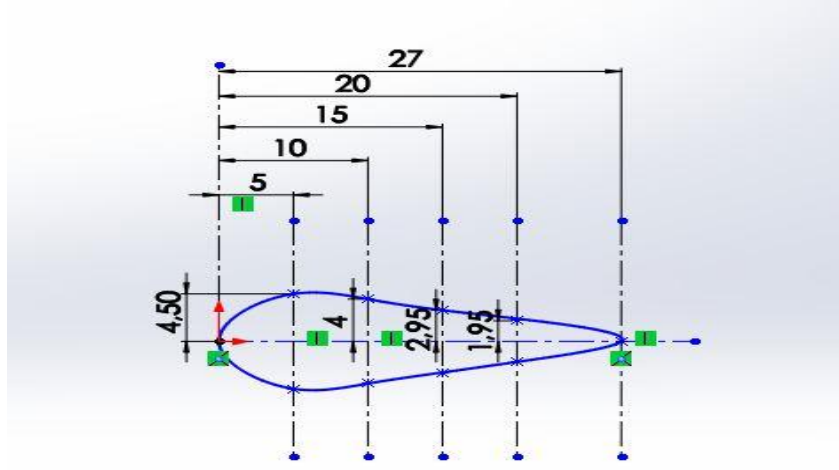
Yüksek kaldırma ve düşük sürükleme kuvvetlerinin oluşmasının sağlandığı özel tasarlanmış kanat kesitlerinin geometrileri, kamburluk, kalınlık, maximum kalınlık ile maximum kamburluğun kiriş uzunluğuna göre miktarları ve kiriş üzerindeki konumları ile ifade edilir. Kiriş hattı x eksenini ile, kamburluk ve alt-üst eğrilerin ordinatları y ile gösterilmiştir. Maximum kalınlık maximum kamburluk y değerleri ve konumlarının x değerleri, üst ve alt eğrilerin (x,y) koordinatları, kamburluk eğrisinin (x,y) koordinatları, kanat kesit kiriş uzunluğuna (c) bölünerek boyutsuz olarak ifade edilmiştir. Şekil 5.7’de kanat kesit geometrisi tanımları gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Kanat kesit geometrisinde tanımlar [27].

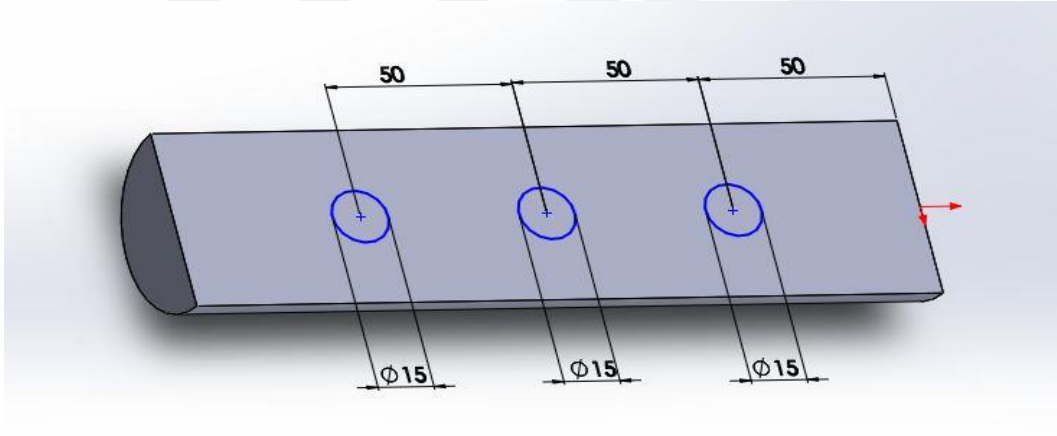
5.2.2. Deneysel Kanat Kesit Geometrisinin Oluşturulması

Kanat profili çiziminde simetrik bir yapıya sahip olan NACA0012 referans alınmıştır. Şekil 5.8’de görülmektedir. Chord uzunluğu 27 mm alınmıştır. Şekiller Solidworks programında çizilmiştir.



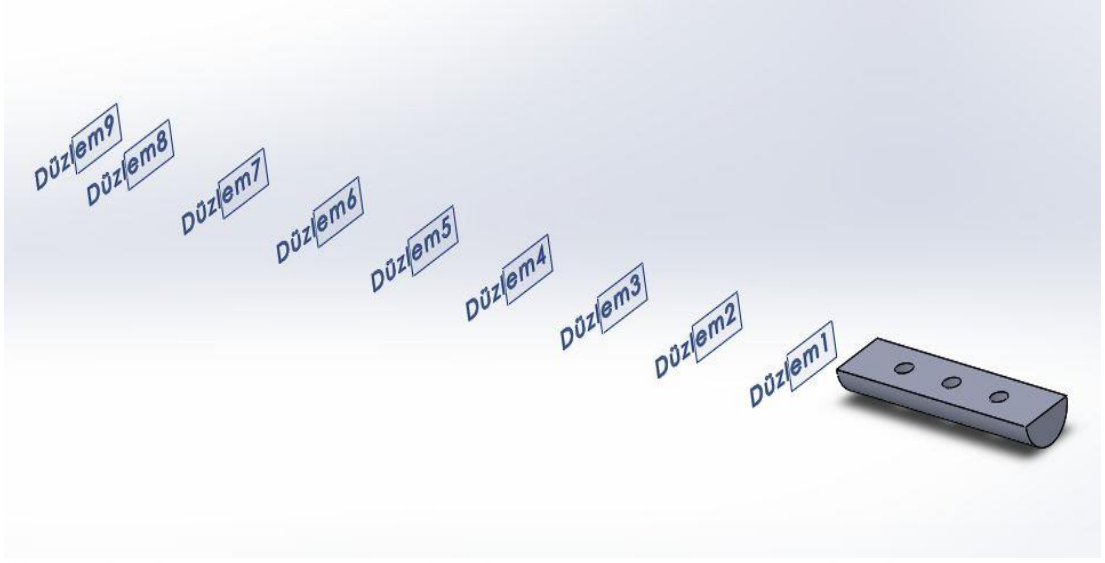
Şekil 5.8. Kanat geometrisi.

Kanadın öncelikle sap kısmı oluşturulmuştur. Sap kısmının uzunluğu 17 cm ve çapı 50 mm olarak planlanmıştır. Şekil 5.9'da görülmektedir.



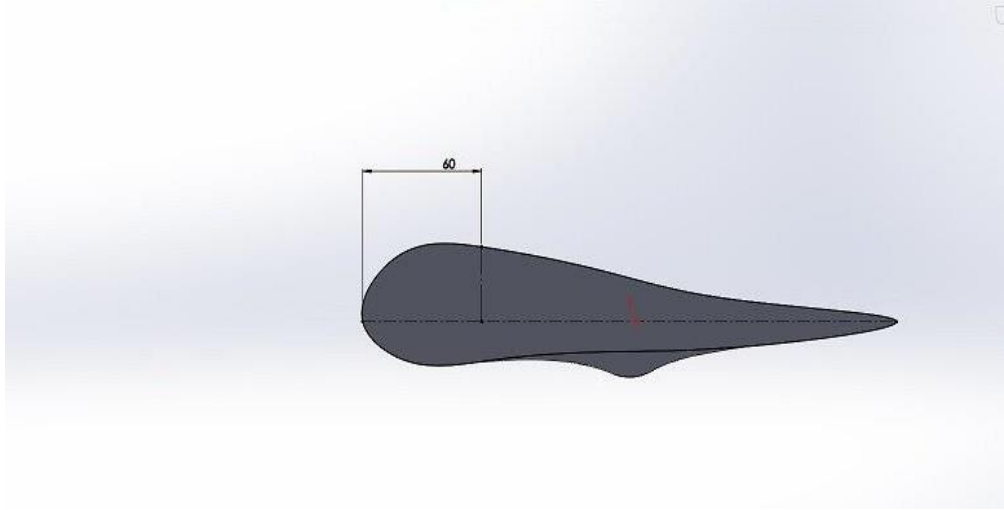
Şekil 5.9. Kanat sap geometrisi.

Bu çizim üzerine 9 adet plane düzlemi açılarak kanat geometrisi oluşturulmuştur. Şekil 5.10'da görülmektedir.



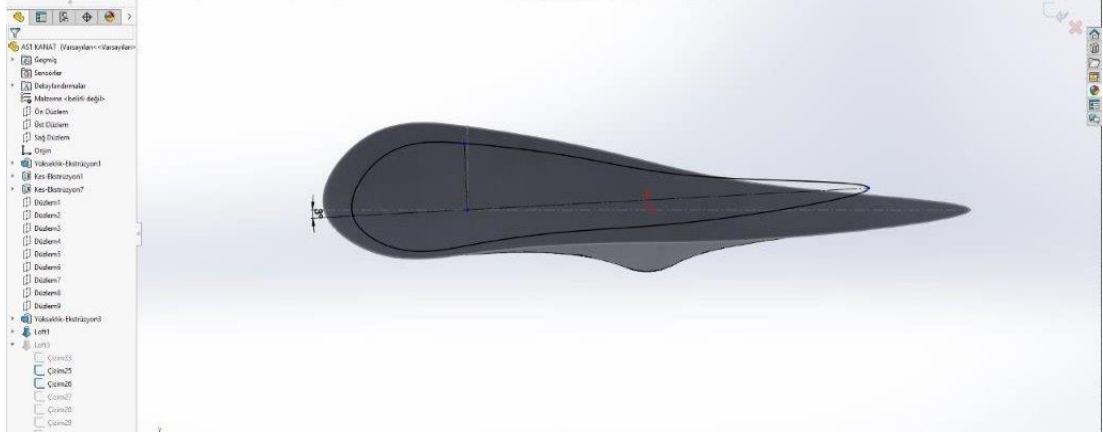
Şekil 5.10. Kanat plane düzlemleri.

Kanadın formunda kıvrılma olması planlanmış olup, düzlemlere çizilecek olan her profil, kendileri için belirlenen bir nokta etrafında belirlenen açı kadar döndürülmüşlerdir. Bu nokta tüm düzlemler için doğru bir eksendir. Bu eksene twist axial denmektedir. Şekil 5.11’de twist axial ölçüsü 60 mm olarak görülmektedir.



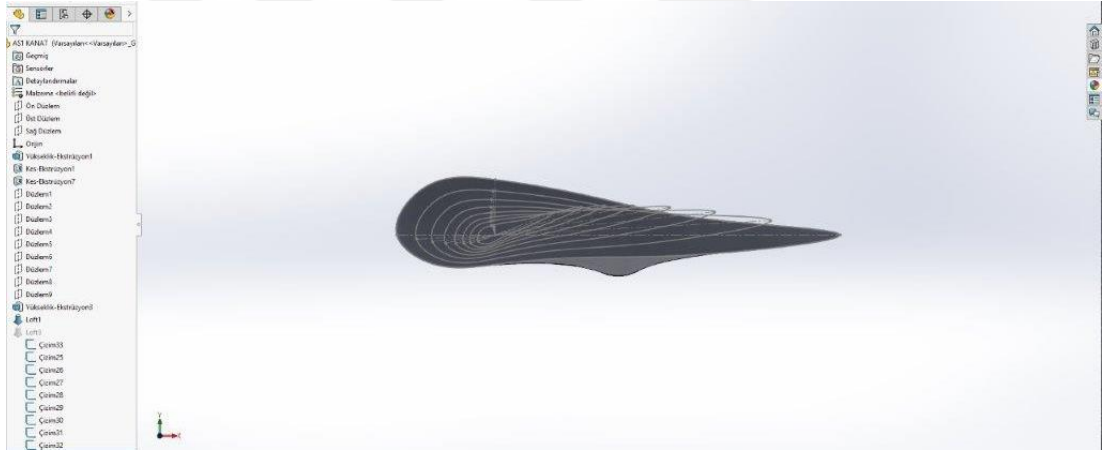
Şekil 5.11. Twist axial.

Hesaplanan boyutlardaki profil aktarılarak çizim yapıldı. Profillerin belirlenen twist noktasından döndürülmesi yapıldı. Bu açının literatür araştırmasına göre 3 derece alınmasına karar verildi. Şekil 5.12’de görülmektedir.



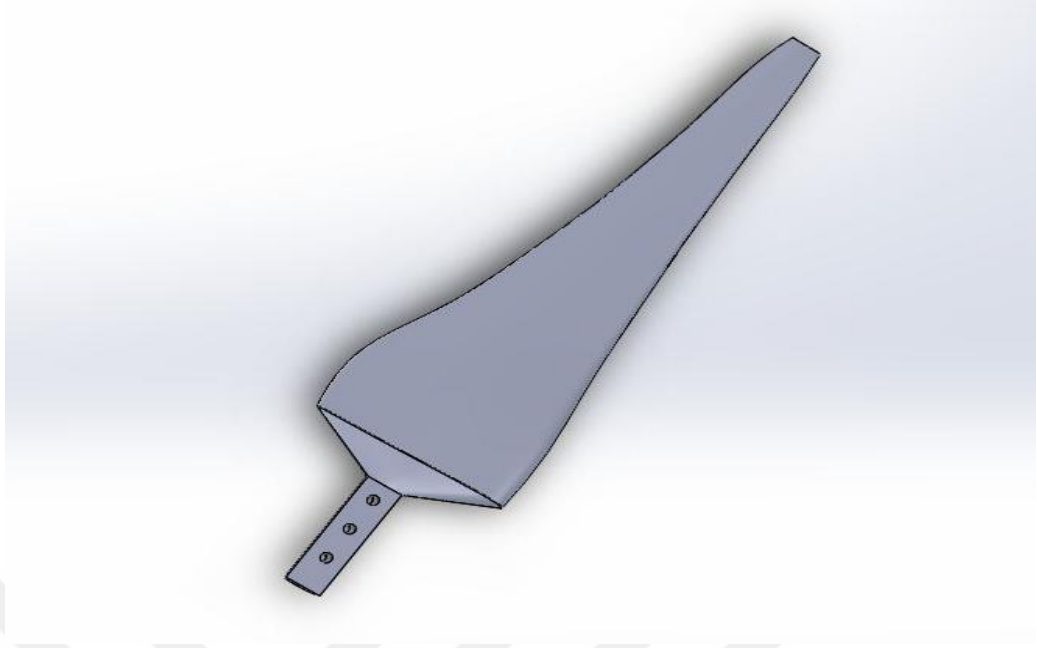
Şekil 5.12. Kanat profilinin döndürülmesi.

Tüm profillerin bu şekilde çizimi yapıldı. Twist axial noktası üzerinde konumlandırılıp kanat çizimi yapıldı. Şekil 5.13’de görülmektedir.



Şekil 5.13. Kanat profillerinin oluşturulması.

Lofted Boss komutu yardımıyla profiller sırayla oluşturulmuştur. Şekil 5.14’de kanata ait son durum görülmektedir.



Şekil 5.14. Kanat tasarımı yapılmış son durumu.

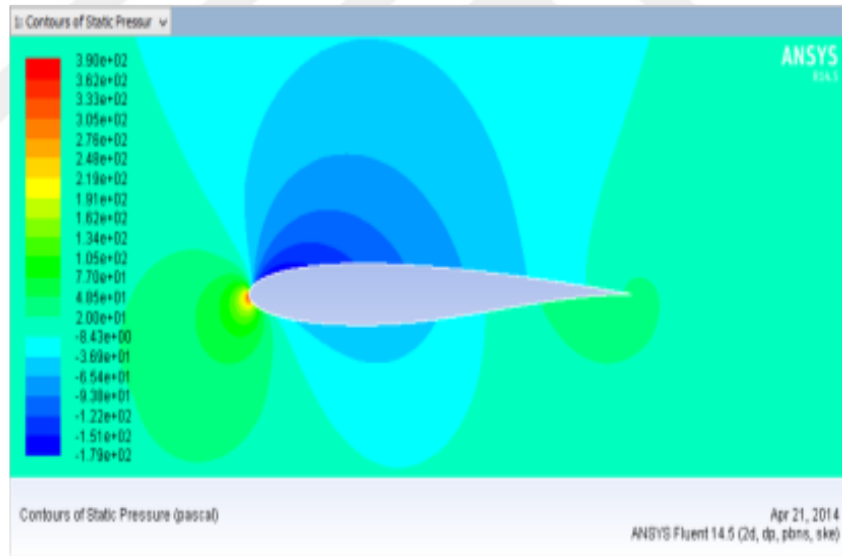
BÖLÜM 6

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1. KANAT GEOMETRİSİ ANALİZ SONUÇLARI

6.1.1. Kanat Static Basınç Değerleri

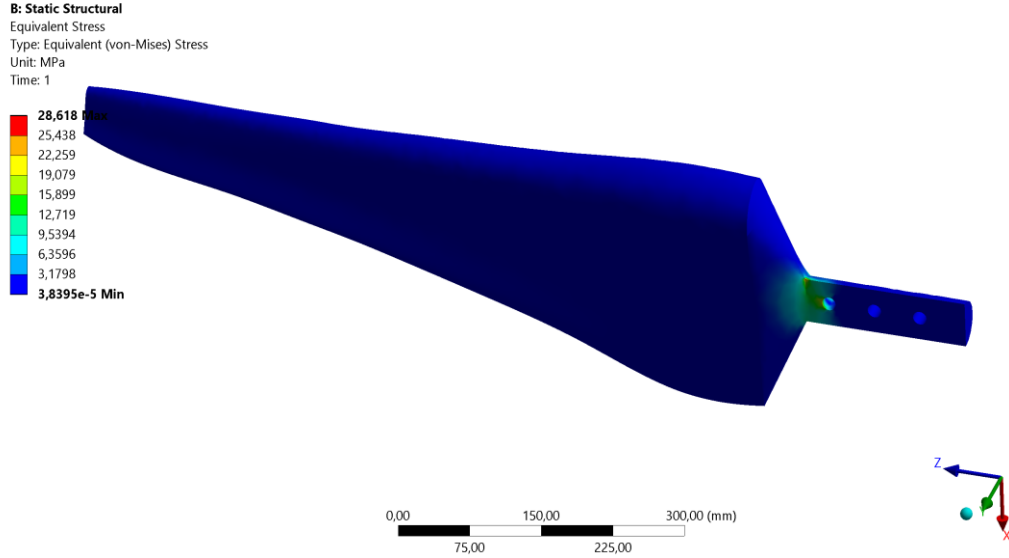
Tasarımı yapılan kanada ait piyasa araştırması yapılarak uygun ölçülerdeki kanat, temin edilerek, kurulumu yapılan türbin sistemine takılmıştır. Kanat'a ait static basınç değerleri Şekil 6.1.'de aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 6.1. MB02 kanadına ait static basınç değerleri [28].

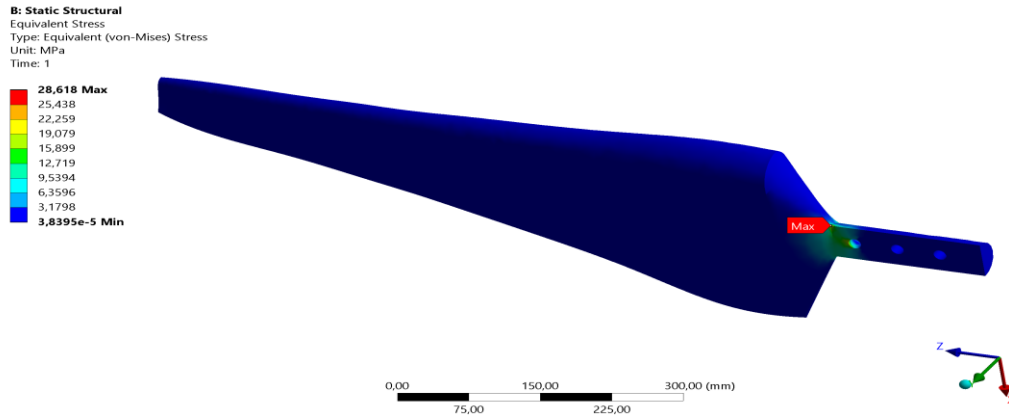
6.1.2. Kanat Rüzgâr Yükü Analizi

Kanat Ansys workbench programında STD-810 testine tabi tutularak rüzgâr yükü analizi yapıldı. STD-810 standart test programı malzeme sistemi tasarımlarının çevresel değerliliği ve dayanıklılığı konusunda güven oluşturmak için tasarlanmıştır. Bu analizin önden görünüşü Şekil 6.2.'de görülmektedir.



Şekil 6.2. MB02 kanadına ait rüzgâr yükü analizi önden görünüşü.

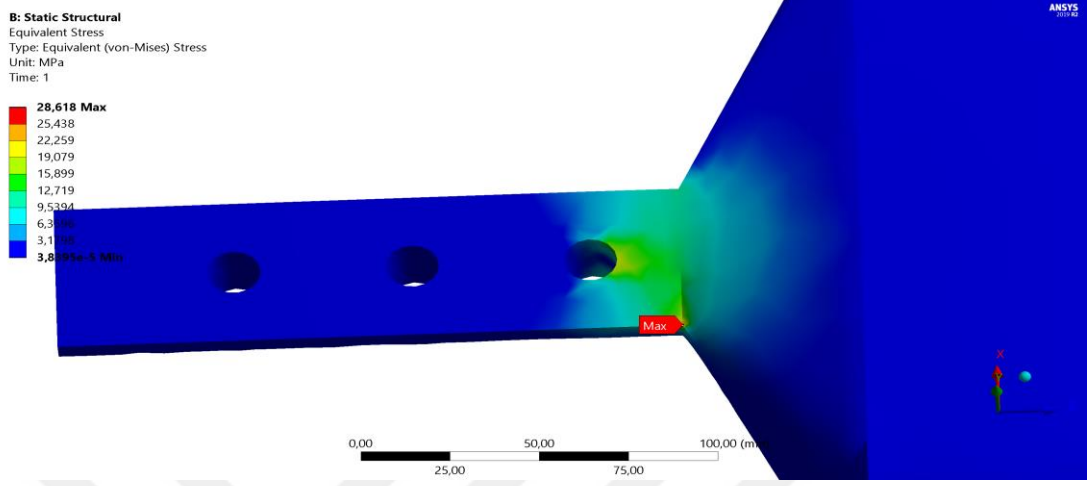
Bu analizde görüldüğü üzere max yük sap bölgesine yakın kısımda gerçekleşmiştir. Şekil 6.3.'de bu durum daha net görülmektedir.



Şekil 6.3. Maksimum gerilimin oluştuğu kısım.

Analizin yapıldığı programda görüldüğü üzere kanat geometrisinin büyük bir kısmının maruz kaldığı gerilim 3,83 MPa seviyesindedir. Kanat için tehlikeli bir gerilimin oluşacağı kırmızı renkteki 28,618 MPa seviyesine yaklaşan bir bölge görülmektedir. Şekil 6.4.'de görülmektedir. Rüzgâr yükünün kanat üzerinde en fazla gerilime sebep olduğu bölgenin yeşil renkte kaldığı, 15,899 MPa seviyesinde

bir gerilime maruz kaldığı görülmektedir. Bu durum şöylede ifade edilebilir. Milimetre kare başına 15,899 Newton bir basınç mevcuttur.



Şekil 6.4. Maximum gerilimin oluştuğu bölge.

6.1.3. Kanat Tork Değerlerinin Bulunması

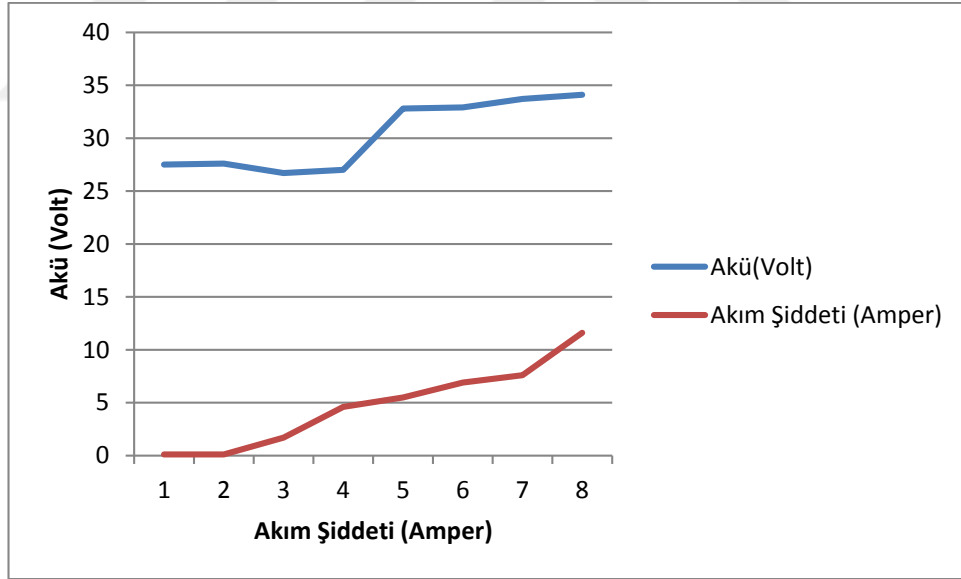
Tork, mühendislik bilimi olarak bir cismin açısal momentum değişim oranı olarak tanımlanır. Torkun değişimi, bir cismin açısal hızından veya atalet momentinden birinin veya her ikisinin de değişimi demektir.

Rüzgâr türbin kanatlarının rüzgârın etkisiyle dönmesi sonucunda oluşan güç ve devir sayısı tork değerinin bulunmasına olanak vermektedir. Rüzgâr turbine kontrol sisteminde bulunan inverterden anlık olarak güç ve devir verileri alınmaktadır. Çizelge 6.1.'de elde edilen verilerin bir kısmı gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Rüzgâr türbin verileri.

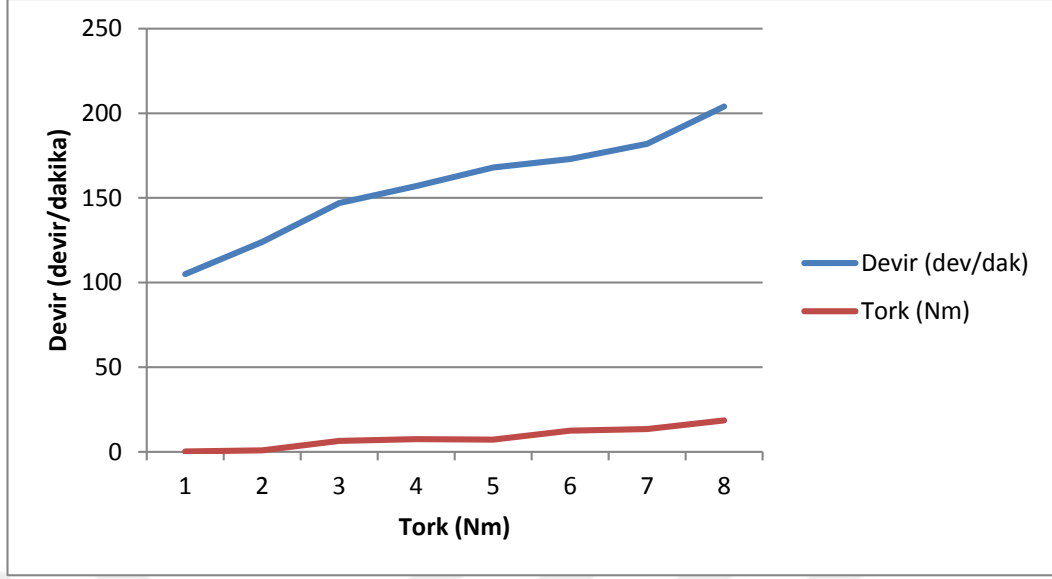
Ölçüm no	Akü (volt)	Akım şiddeti (amper)	Güç (Watt)	Devir (dev/dak)	Tork (Nm)
1	27,5	0,1	2	105	0,18
2	27,6	0,1	11	124	0,85
3	26,7	1,7	99	147	6,43
4	27	4,6	124	157	7,54
5	32,8	5,5	127	168	7,22
6	32,9	6,9	227	173	12,53
7	33,7	7,6	256	182	13,43
8	34,1	11,6	396	204	18,54

Rüzgâr türbin deney sisteminde akü ve akım şiddeti grafiği Şekil 6.5.'de görülmektedir.



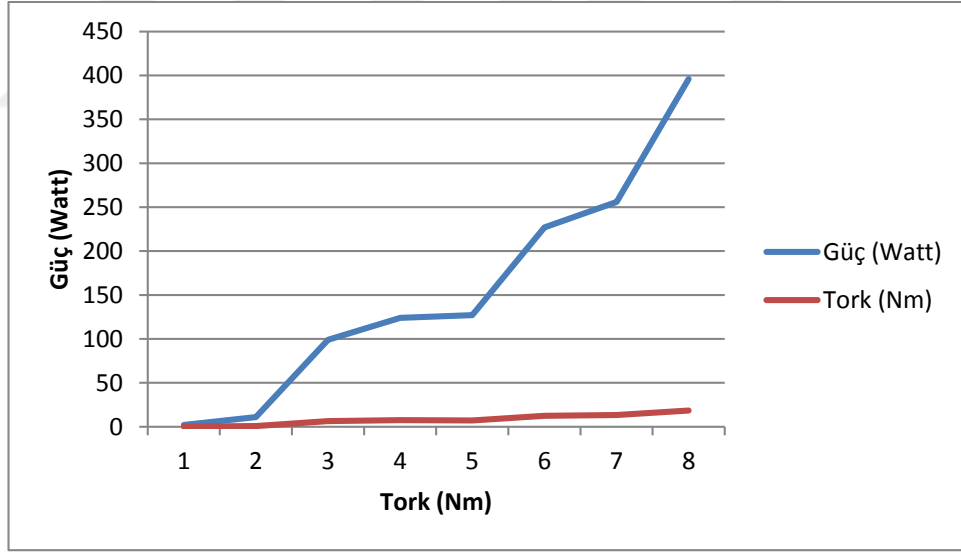
Şekil 6.5. Akü ve akım şiddeti grafiği.

Rüzgâr türbin deney sisteminde devir ve tork grafiği Şekil 6.6.'da görülmektedir.



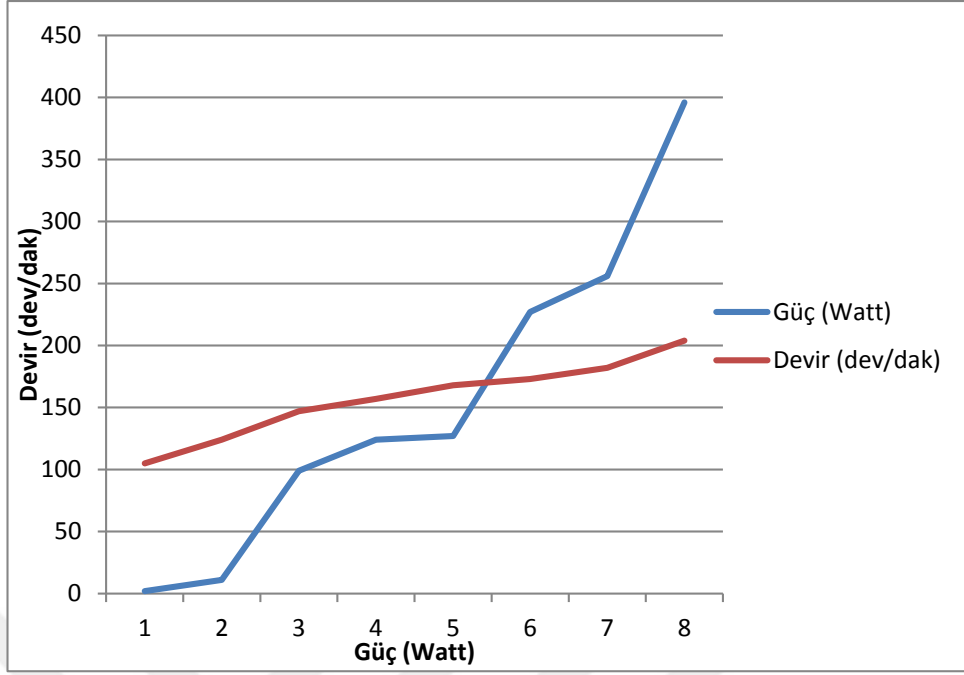
Şekil 6.6. Devir ve tork grafiği.

Rüzgâr türbin deney sisteminde güç ve tork grafiği Şekil 6.7.'de görülmektedir.



Şekil 6.7. Güç ve tork grafiği.

Rüzgâr türbin deney sisteminde güç ve devir grafiği Şekil 6.8.'de görülmektedir.



Şekil 6.8. Güç ve devir grafiği.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR

Bu çalışmada, Amasya ili Merzifon ilçesindeki hava şartları baz alınarak bir çalışma yapılmıştır. İlçenin deniz seviyesinden yüksekliği 740 metre olup, hakim rüzgârlar kuzey ve doğudan gelmektedir. Şehir merkezinde rüzgâr hızı yaklaşık 10 m/s civarındadır. Ayrıca özel sektöre ait direk yüksekliği 80 metre ve kanat uzunluğu 20 metre olan 32 adet rüzgâr turbini mevcuttur. RES'lerin sayısı günden güne artmaktadır. Tez özetinde belirtildiği üzere bilgisayar ortamında oluşturulan kanat geometrilerinin gerçek ortam verilerini kurulan RES ile bulmak mümkün hale gelmiştir.

Kanat tasarımında Prof. Dr. Ali Erişen danışmanlığında ve makine mühendisi Mehmet Bakırcı tarafından hazırlanan, “Rüzgâr Türbin Kanat Profil Optimizasyonu” adındaki yüksek lisans tezinde, NACA0012 türbin kanadı referans alınarak oluşturulan MB02 adında yeni bir türbin kanat geometrisinin üç boyutlu çizimi SOLIDWORKS programında çizildi. Bu Kanat'a ait analizler önce bilgisayar ortamında, Ansys workbench programı ile STD-810 testine tabi tutulup, rüzgâr yükü analizi yapıldı.

Tez çalışması neticesinde çıkan sonuçlar ve bundan sonra yapılacak çalışmalara yol gösterebilecek konular maddeler halinde verilmiştir:

1. Kurulan RES ile akım şiddeti, güç, kanat'a ait türbin devir sayısı ve tork değerleri ve bunlar arasındaki ilişkilerin saptanması mümkün olmuştur.
2. Güç değerinin artışı ile tork'ta minimum artışlar gözlenmiştir.

3. Güç-Devir grafiğinde görüleceği üzere 173 devirden sonra türbin kanat gücü önemli ölçüde artmaktadır. Bu noktada veriler şu şekilde gerçekleşmiştir:

Devir sayısı: 227, Güç: 227 Watt, Tork: 12,53 Nm

4. Rüzgâr yükünün kanat üzerinde en fazla gerilime sebep olduğu bölge flanş ve kanadın birbirine bağlandığı noktada oluşmaktadır. Bu noktada ki gerilim güvenli bölgede kalmaktadır. 15,899 MPa seviyesindedir.
5. Çıkan sonuçlar “Rüzgâr Türbin Kanat Profil Optimizasyonu” isimli tez ile uyumludur. Lakin bu tezde static basınç şekillerindeki maximum gerilim noktaları ve değerleri tam olarak gözükmemektedir. Önemli olan bir diğer noktada 3-5 kwatt gücündeki rüzgâr türbinleri için rotor çapı 5 metre gibi yüksek bir değer olmamalıdır. 5 metre çapındaki bir rotorun üreteceği güç yüksek olacaktır. Fakat, 3-5 kwatt gücündeki bir türbinin sistemlerine zarar verecektir. Kanatların frenlenmesi mümkün olamayacaktır.
6. Yeni çalışmalar için şu öneriler yapılabilir: Bu çalışmada kullanılmayan diğer standart kanat kesitlerinin rüzgâr türbin kanat performansları üzerine çalışmalar devam ettirilebilir. Kanat kesitleri için tek bir geometri yerine kanadın farklı yerlerinde farklı kesitler kullanılarak maksimum güç çarpan değerinin artırılması üzerine çalışmalar yapılabilir.
7. Bu boyuttaki çalışmalarda mutlaka Makine Mühendisi, Enerji Sistemleri Mühendisi ve Elektrik Mühendisi araştırmacılarla ortak çalışılmasında fayda vardır.
8. Kullanılacak tüm cihazların hassas ölçüm ve kontrol için iyi düzeyde ve kalitede olması önemlidir.

KAYNAKLAR

1. Önen, B. Çınar, A., “Düz flaplı pozitif kambura sahip naca 4412 kanat kestinin aerodinamik performansının bilgisayar destekli analizi”, **2. Uluslar Arası Tasarım İmalat ve Analiz Kongre Bildirisi**, Balıkesir, 428-435 (2010).
2. Kulunk, E. and Yılmaz., N., “Hawt Rotor Design and Performance Analsis”, **Proceedings of ASME 2009 3rd international conference of energy sustainability**, ES 2009, San Fancisco, 1019-1029 (2009).
3. Duran, S., “Computer-Aided Design of Horizontal-Axis Wind Turbine”, Yüksek lisans tezi, **Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 30-40 (2005).
4. Ajao, K.R. and Adeniyi, J.S.O., “Comparison of Theoretical and Experimental Power Output of A Small 3-Bladed Horizontal-Axis Wind Turbine”, **Journal of American Science**, 5 (4): 79-90 (2009).
5. Dumitrescu, H. and Cardoso V., “The turbulent boundary layer on wind türbine blades”, **Proceedings of the Romanian Academy Report**, Romania, 124–137 (2010).
6. Hiroharu, Suzuki., “Laminar Airfoil Modification Attaining Optimum Drag Reduction by Use of Airfoil Morphing”, **25th International Congress of the Aeronautical Sciences**, Tokyo, 113-8656 (2006).
7. Karadağ, H. İ., “Yenilenebilir Enerji Kaynakları Arasında Rüzgâr Enerjisinin Önemi ve Rüzgâr Türbini Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 5-58 (2009).
8. Çalışkan, M., “Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli”, **EİGM Yenilenebilir Enerji Kaynakları Şubesi Raporu**, Ankara, 1-25 (2018).
9. Şen, Ç., “Gökçeada’nın Elektrik İhtiyacının Rüzgâr Enerjisi İle Karşılanması”, Yüksek Lisans Tezi, **Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İzmir, 57-71 (2003).
10. İnternet: 3de3enerji.com, “Güneş enerjisi nedir? Kullanım amaçları”, <http://www.3de3enerji.com/?pnum=31&pt=G%C3%BCne%C5%9F+Enerjisi+Nedir> (2018).
11. Ünalın, S., “Enerji Kaynakları Ders Notları”, **Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü**, Ankara (2011).

12. Keleş, D., “Bir Rüzgâr Türbini Tasarımı Ve Geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 26-90 (2012).
13. İnternet: Tesisat bilgi ve haber portalı, “Deniz Kökenli Yenilenebilir Enerji”, <https://www.tesisat.org/wp-content/uploads/2016/04/deniz-dalga-jen.jpg> (2018).
14. İnternet: Enerji günlüğü net, “Rüzgâr santrali cenneti Danimarka”, <https://www.tesisat.org/wp-content/uploads/2016/04/deniz-dalga-jen.jpg> (2018).
15. İnternet: slideplayer.biz.tr, “Rüzgâr Enerjisi Kullanım Alanları”, <https://slideplayer.biz.tr/slide/7331868/24/images> (2018).
16. Karadeniz, Z., “Rüzgâr Enerjisi ve Elektrik Üretimi Amaçlı Kullanımı”, Bitirme Projesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi*, İzmir, 15-25 (2002).
17. Demirci, S., “Rüzgâr türbini göbeğinin yapısal tasarımı ve optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 5-15 (2011).
18. İnternet: Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği, “Dünya res durumu”, <http://www.tureb.com.tr/> (2018).
19. İnternet: gezegensolar.com, “ruzgar-turbini-yapimi”, <https://www.gezegensolar.com/image/cache/catalog/ruzgar-turbini-yapimi-600x315.jpg> (2018).
20. İnternet: robertsuddarth.com, “drone-photography”, <http://www.robertsuddarth.com/drone-photography/> (2018).
21. Nurbay N, Çınar, A., “Rüzgâr Türbinlerinin Çeşitleri ve Birbirleriyle Karşılaştırılması”, *Kocaeli Üniversitesi Makine Eğitimi Bildirisi*, Kocaeli, 1-5(2005).
22. İnternet: reuk.co.uk.com, “darrieus türbin”, <http://www.reuk.co.uk/OtherImages/darrieus-rotor.jpg> (2018).
23. Hau, E., “Wind Turbines, Fundamentals, Technologies, Application, Economics”, *Springer*, Germany, 780-785 (2006).
24. Aktepe, İ., “Rüzgâr türbini kanadının optimal tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 24-34 (2013).
25. Çıtak, B., “Rüzgâr Enerjisi Dönüşüm Sistemleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 15-37 (2001).

26. K m, L., “Rüzgâr Türbininin Bilgisayar Destekli Tasarımı ve Prototip İmalatı”, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 20-35 (2004).
27. İnternet: wikimedia.org, “Kanat profili”,
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c5/Kanat_profili__aerofil.png (2018).
28. Bakırcı, M., “Rüzgâr türbin kanat profil optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırıkkale, 10-45 (2014).





EK AÇIKLAMALAR A.

KULLANILAN CİHAZLAR VE TEKNİK ÖZELLİKLERİ



Şekil Ek A.1. Rüzgâr türbini ve kanat montaj çalışması.

ÜRÜN ÖZELLİKLERİ

1. Ağırlık : 23 kg
2. Desibel : 40 dB
3. Direk : Yok
4. Gövde Malzemesi : Alüminyum
5. Renk : Beyaz

RÜZGÂR HIZI

1. Başlangıç Rüzgâr Hızı : 2 m/s
2. Kesme Rüzgâr Hızı : 60 m/s
3. Optimum Rüzgâr Hızı : 12.5 m/s

RÜZGÂR TÜRBİNİN GÜCÜ

1. Amper : 20 AmP (48V)
2. Maximum Güç : 2000W
3. Ortalama Güç :1800W
4. Voltaj : 48V-AC

RÜZGÂR TÜRBİNİN KANAT ÖZELLİKLERİ

1. Ağırlık : 650 gr (Tek Kanat)
2. Malzeme : Kompozit
3. Rotor Çapı : 200 cm
4. Uzunluk : 107 cm



ÖZGEÇMİŞ

Adem SARIKAYA 1971 yılında Amasya’da doğdu; ilk ve orta öğrenimini Sivas’ta tamamladı. Sivas Endüstri Meslek Lisesi Tesviye Bölümü’nden mezun oldu. 1990 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Ana Bilim Dalında öğrenime başlayıp 1995 yılında iyi derece ile mezun oldu. 1995 yılında Kilis Endüstri Meslek Lisesi’nde öğretmen olarak göreve başladı. 2000 yılında Sinop ili Boyabat İlçesi Endüstri Meslek Lisesi’nde, 2005 yılında Tekirdağ ili Çorlu ilçesi Mehmet Rüştü Uzel Endüstri Meslek Lisesi’nde bir süre çalıştı. 2006 yılında Amasya ili Taşova ilçesi Endüstri Meslek Lisesi’ne öğretmen olarak tayin oldu. 2007 yılından itibaren Merzifon Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi’nde makine öğretmeni ve atelye şefi olarak çalışmaktadır. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliğinde yüksek lisans programına devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Karabük Üniversitesi
Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi
Merzifon / AMASYA

Tel : (505) 401 8381

E-posta : ademsrkya@gmail.com