

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**KANATSIZ RÜZGAR TÜRBİNİ İLE ELEKTRİK
ENERJİSİ ÜRETİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALİ OSMAN HUYUT

DANIŞMAN
DR.ÖĞR. ÜYESİ MUHAMMED FATİH KULUÖZTÜRK

2024
BİTLİS

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**KANATSIZ RÜZGAR TÜRBİNİ İLE ELEKTRİK
ENERJİSİ ÜRETİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALİ OSMAN HUYUT
ORCID: 0000-0003-1285-7194

DANIŞMAN
DR.ÖĞR. ÜYESİ MUHAMMED FATİH KULUÖZTÜRK

2024
BİTLİS

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisiyim. Hazırlamış olduğum “Kanatsız Rüzgar Türbini İle Elektrik Enerjisi Üretimi” başlıklı tezde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi; tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu; tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi; kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı; bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim / 02 /2024

İmza

Ali Osman HUYUT

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TEZ YAZIM KILAVUZU UYGUNLUK BEYANI

“Kanatlı Rüzgar Türbini İle Elektrik Enerjisi Üretimi” başlıklı yüksek lisans tezi Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzuna uygun olarak hazırlanmıştır. / / 20.....

Tezi Hazırlayan

İmza

Ali Osman HUYUT

Danışman

İmza

Dr.Öğr. Üyesi Muhammed
Fatih KULUÖZTÜRK

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı

İmza

Prof. Dr. SABİR RÜSTEMLİ

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TEZ ONAY SAYFASI

Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik elektronik mühendisliği Anabilim Dalı öğrencisi Ali Osman HUYUT tarafından hazırlanan “Kanatsız Rüzgar Türbini İle Elektrik Enerjisi Üretimi” adlı Yüksek Lisans Tezi ile ilgili tez savunma sınavı,/...../20....tarihinde yapılmış ve tezin oy birliği/ oy çokluğu ile kabul/ red edilmesine karar verilmiştir.

JÜRİ:

İMZA

Danışman:

.....

Üye:

.....

Üye:

.....

Üye:

.....

Üye:

.....

Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun tarih ve sayılı kararıyla jüri tarafından kabul edilmiş bu çalışmanın yüksek lisans / doktora tezi olarak kabulü onaylanmıştır.

....../...../2024

Doç. Dr. Mehmet Bakır ŞENGÜL

Enstitü Müdürü

T.C.

Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

KANATSIZ RÜZGAR TÜRBİNİ İLE ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ

Yüksek Lisans Tezi

Ali Osman HUYUT

Danışman: Dr.Öğr. Üyesi Muhammed Fatih KULUÖZTÜRK

2024

ÖZET

Artan nüfus ve gelişen sanayi elektrik enerjisi ihtiyacının sürekli olarak artışı ve beraberinde getirmektedir. Artan ihtiyaca karşı enerji arzında sürdürülebilirlik sağlayabilmek için günümüzde rüzgar enerjisini üzerine çalışmalar ve yatırımlar artmıştır. Çalışmaların ve yatırımların artışı yeni rüzgar enerji teknolojilerinin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Bu yeni teknolojilerden biride kanatsız rüzgar türbinidir.

Kanatsız rüzgar türbini klasik türbinlere kıyasla döner bir mekanizmaya sahip değildir. Bu türbinler rüzgar kaynaklı girdap akımlarının neden olduğu titreşimler ile salınım hareketi yapmaktadır. Türbinde döner bir mekanizma bulunmadığı için lineer jeneratörle elektrik enerjisi üretmektedir.

Bu tezde kanatsız rüzgar türbininin yapısı, hareket mekanizması, elektrik üretimi konuları hakkında veriler elde etmek için farklı rüzgar türbinleri tasarlanmış ve prototipler üretilerek farklı rüzgar akış hızlarında test edilmiştir. Testler sonucunda en yüksek gerilim değeri 6,4 m/s akış hızında 272 mV AC ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Enerji, kanatsız rüzgar türbini, salınım

Republic of Türkiye
Bitlis Eren University Graduate School
Department of Electrical Electronics Engineering
ELECTRICAL ENERGY PRODUCTION WITH BLADELESS WIND
TURBINE

Master's Thesis

Ali Osman HUYUT

Supervisor: Asst Prof.DR. Muhammed Fatih
KULUÖZTÜRK

2024

ABSTRACT

Increasing population and developing industry bring about a continuous increase in the need for electrical energy. Today, studies and investments on wind energy have increased in order to ensure sustainability in energy supply against the increasing need. The increase in studies and investments leads to the emergence of new wind energy technologies. One of these new technologies is the bladeless wind turbine.

Bladeless wind turbines do not have a rotating mechanism compared to classical turbines. These turbines oscillate with vibrations caused by wind-induced eddy currents. Since there is no rotating mechanism in the turbine, it produces electrical energy with a linear generator.

In this thesis, different wind turbines were designed and prototypes were produced and tested at different wind flow rates in order to obtain data about the structure, movement mechanism and electricity production of the bladeless wind turbine. As a result of the tests, the highest voltage value was measured as 272 mV AC at a flow rate of 6.4 m/s.

Keywords: Energy, bladeless wind turbine, oscillation

TEŞEKKÜR

İlk olarak çalışma sürecimde bana rehberlik eden ve desteklerini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Fatih KULUÖZTÜRK hocama en içten teşekkürlerimi sunarım. Kendisinin bilgi birikimi ve yönlendirmeleri kişisel ve akademik gelişimimde önemli bir kilometre taşı oldu.

Ayrıca, çalışmadaki katkılarından dolayı Murat ŞİMŞEK’e teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca bana destek olan ve bu günlere gelmemdeki en büyük motivasyon kaynağı olan aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ali Osman HUYUT

“Bu Tez BEBAP 2023.17 numaralı proje ile Bitlis Eren Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir.”

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	VII
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ.....	IX
KISALTMALAR.....	X
SİMGELER	XI
1.GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1 Enerji.....	3
2.1.1. Dünyada Birincil Enerji Kaynaklarının Durumu	4
2.1.2. Türkiye’de Birincil Enerji Kaynaklarının Durumu	6
2.1.2 Elektrik Enerjisi	8
2.2 Rüzgar Enerjisi.....	10
2.2.1 Rüzgar Enerjisinin Avantajları	11
2.2.2. Rüzgar Enerjisinin Dezavantajları.....	11
2.2.3. Dünyada Rüzgar Enerjisi	12
2.2.4 Türkiye’de Rüzgar Enerjisi.....	14
2.3 Rüzgar Enerjisinden Elektrik Üretim Yöntemleri	17
2.3.1. Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri	18
2.3.2. Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri.....	20
2.3.2.1. Darrieus Rüzgar Türbini.....	21
2.3.2.2. H Tipi Darrieus Rüzgar Türbini.....	21
2.3.2.3. Savonius Rüzgar Türbini.....	22

2.3.2.4. Darrieus-Savonius Rüzgar Türbini	23
2.3.3. MARS (Magenn Air Rotor Systems) Tipi Rüzgar Türbinleri	23
2.3.4. Tayfun Tipi Rüzgar Türbini	24
2.3.5. Vortex Kanatsız Rüzgar Türbini	25
2.4. Girdap Akımları	26
2.5. Kanatsız Rüzgar Türbinleri İle Enerji Üretimi	27
2.6. Literatür Taraması	29
3.MATERYAL VE YÖNTEM	31
3.1. Türbin Tasarımı	31
3.2. Türbin-1'in Modellenmesi	35
3.2.1. Jeneratör Tasarımı	35
3.2.1.1. Tek Parçadan Oluşan Bobin	36
3.2.1.2 Altı Parçadan Oluşan Bobin	37
3.2.2. Türbin Parçalarının İmali	38
3.2.2.1. Altı Parçadan Oluşan Bobinin İmali	38
3.2.2.2. Tek Parçadan Oluşan Bobinin İmali	38
3.2.3. Türbin Montajı	39
3.3. Türbin-2'nin Modellenmesi	40
3.3.1. Türbin Parçalarının Montajı	41
3.4. Test Düzenegi	42
4.BULGULAR	43
4.2. Deneysel Çalışmalar	45
4.2.1. Türbin-1'in Test Sonuçları	45
4.2.2. Türbin-2'nin Test Sonuçları	52
5. TARTIŞMA	57
6.SONUÇ VE ÖNERİLER	59

KAYNAKLAR.....	62
EKLER.....	64
Akış Kaynağı.....	64
Test Düzenekinin Şeması	65



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2. 2. 2016-2021 Türkiye birincil enerji tüketim miktarı [6]	7
Çizelge 2.3. Ülkelerin 2022 rüzgar kurulu gücü (MW) [15]	13
Çizelge 6.1. Türbin-1'e ait değerler	59
Çizelge 6.2. Türbin-2'ye ait değerler	60



ŞEKLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Yenilenebilir enerji kaynakları	1
Şekil 2.1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması	3
Şekil 2.2. 2021 yılında dünyadaki birincil enerji kaynaklarının tüketim dağılımı [6].....	4
Şekil 3.1. Hareketli kısmın konik şekilde tasarlanmış hali	32
Şekil 3.2. Silindir geometrisinde tasarlanmış türbin	32
Şekil 3.3. Türbinin önden görünüşü	33
Şekil 3.4. Tasarımın Şekil 3.2’de şeffaf görünümü	33
Şekil 3. 5. Tasarımın kesit görünüşü	34
Şekil 3.6. Türbinin önden görünüşü	34
Şekil 3.7. Türbinin kesit görünüşü	35
Şekil 3. 8. Mıknatısların yerleştirileceği parçanın tasarımı	36
Şekil 3. 9. Bobinin 3 boyutlu tasarımı	37
Şekil 3. 10. Bobin ve disk tasarımı	37
Şekil 3.11. Küp şeklinde tasarlanan bobin	41
Şekil 3.12. Saç levhalar için basılan parça	41
Şekil 4.1. 3 m/s akış hızında türbine etki eden akışın yörüngeleri	43
Şekil 4.2. Hız konturları	44
Şekil 4.3 5 m/s akış hızında türbine etki eden akışın yörüngeleri	44
Şekil 4.4. Hız konturları	45
Şekil 4.5. Rüzgar akışı altında üretilen gerilim	51
Şekil 4.6. Rüzgar akışı altında üretilen gerilim	51
Şekil 4.7. 6,4 m/s akış hızındaki Osiloskop çıktısı	55
Şekil 4.8. Rüzgar hızına bağlı gerilim değişimi	56

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 3. 1. Mıknatısların yerleştirileceği parça	36
Fotoğraf 3. 2. Türbin parçalarının basımı	38
Fotoğraf 3. 3. Bobinlerin son halleri	39
Fotoğraf 3.4. Bobin montajı	39
Fotoğraf 3.5.	40
Fotoğraf 3.6. Türbin montajı	42
Fotoğraf 4.1. 0,9 m/s akış hızındaki ölçüm değeri	46
Fotoğraf 4.2. 2,6 m/s akış hızındaki ölçüm değeri	46
Fotoğraf 4.3. 3 m/s akış hızındaki ölçüm değeri	47
Fotoğraf 4.4. 3,7 m/s akış hızındaki ölçüm değeri	47
Fotoğraf 4.5. 4,1 m/s akış hızındaki ölçüm değeri	48
Fotoğraf 4.6. 0,9 m/s akış hızındaki ölçüm değeri	48
Fotoğraf 4.7. 2 m/s akış hızındaki ölçüm değeri	49
Fotoğraf 4.8. 3,2 m/s akış hızındaki ölçüm değerleri	49
Fotoğraf 4.9. 4,3 m/s akış hızındaki ölçüm değerleri	50
Fotoğraf 4.10. 4,8 m/s akış hızındaki ölçüm değerleri	50
Fotoğraf 4.11. 3 m/s akış hızındaki ölçüm değerleri	52
Fotoğraf 4.12. 4,2 m/s akış hızındaki ölçüm değerleri	53
Fotoğraf 4.13. 4,4 m/s akış hızındaki ölçüm değerleri	53
Fotoğraf 4.14. 4,4 m/s akış hızındaki ölçüm değerleri	54
Fotoğraf 4.15. 6 m/s akış hızındaki ölçüm değerleri	54
Fotoğraf 4.16. 6,4 m/s akış hızındaki ölçüm değerleri	55

KISALTMALAR

YERT	: Yatay Eksenli Rüzgar Türbini
DERT	: Dikey Eksenli Rüzgar Türbini
LPG	: Likit Petrol Gazı
Ej	: Exajoule
AC	: Alternating Current
DC	: Direct Current
ESC	: Electronic Speed Controller



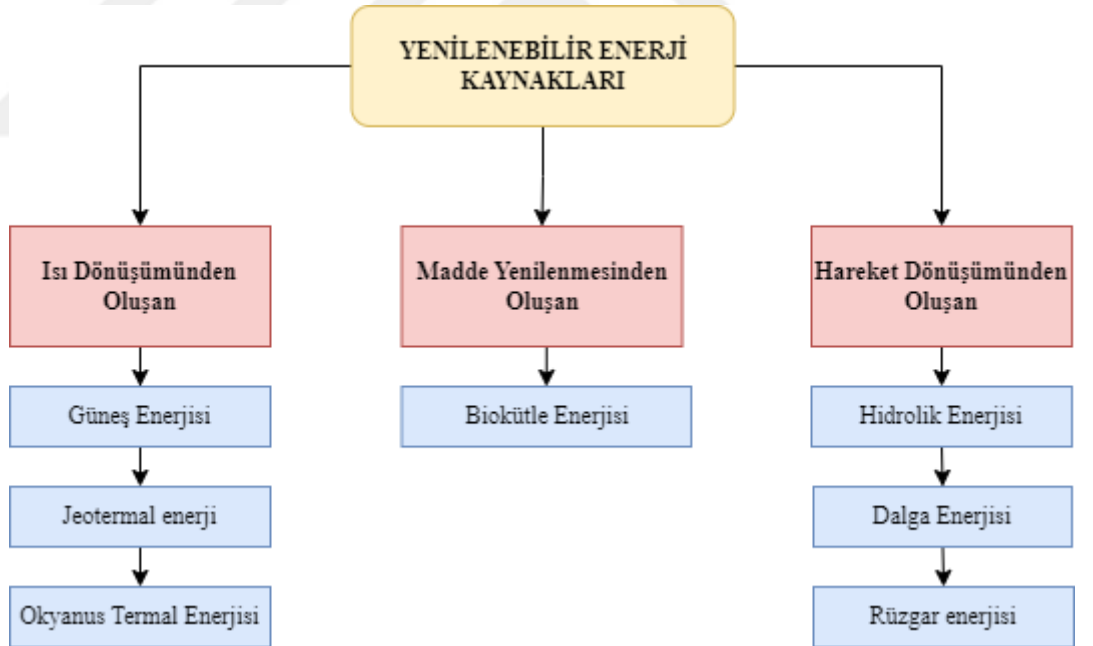
SİMGELER

Re	: Reynolds Sayısı
U	: Akış hızı
D	: Silindir Çapı
m	: Kütle
k	: Yay Sabiti
F_y	: Silindirin Birim Uzunluğuna Etki Eden Akışkan Kuvveti
p	: Akışkan Yoğunluğu
C	: Akışkanın Kaldırma Kuvveti Katsayısı
ω_m	: Manyetik Akı
t	: Zaman
B	: Manyetik Alan
A	: Bobin Sargısının Alanı
V_{emf}	: Bobinde İndüklenecek Olan Gerilim

1.GİRİŞ

Elektrik enerjisi günümüz şartlarında insanlık için vazgeçilemez bir hale gelmiştir. Bu durum elektrik enerjisinin üretiminden tüketimine kadar olan sürecin kesintisiz bir şekilde gerçekleşmesini zorunlu kılmıştır. Buna karşın her geçen gün artan nüfus ve azalan fosil kaynaklar elektrik enerjisinin gelecekte kesintisiz bir şekilde kullanılmasını tehdit etmektedir. Oluşan bu tehdidi ortadan kaldırmak için bilim insanları fosil kaynaklara alternatif olabilecek enerji kaynakları arayışına yönelmişlerdir. Araştırmalar sonucunda fosil kaynaklara en büyük alternatifin yenilenebilir enerji kaynakları olduğu ortaya çıkmıştır.

Yenilenebilir enerji, doğanın kendi gelişimi içerisinde bir sonraki gün aynı şekilde mevcut olabilen enerji kaynakları olarak tanımlanmıştır. Bu kaynaklar güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, dalga enerjisi, gelgit ve biokütle enerjisidir. Yenilenebilir enerji kaynakları Şekil 1'deki gibi kategorize edilebilir [1].



Şekil 1.1. Yenilenebilir enerji kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgar enerjisi potansiyeli ile diğer kaynaklara oranla ön plana çıkmaktadır. Son dönemlerde fosil kaynakların artan maliyetleri ve ülkelerin enerjide bağımsız olma istekleri rüzgar enerjisinin popülerliğini

hızla arttırmıştır. Rüzgar enerjisinin artan popülerliği bu enerjiye olan yatırımı artırarak rüzgar türbin teknolojilerinin ucuzlamasına ve gelişmesine sebep olmuştur.

Rüzgar türbinleri, rüzgardaki kinetik enerjiyi mekanik enerjiye, daha sonra mekanik enerjiyi jeneratörde elektrik enerjisine dönüştüren makinelerdir [2]. Rüzgar türbinleri klasik olarak YERT (yatay eksenli rüzgar türbini) ve DET (dikey eksenli rüzgar türbini) olarak ayrılabilirler. Rüzgar enerjisinden daha fazla yararlanabilmek için yapılan çalışmalar klasik rüzgar türbinlerine alternatifler ortaya çıkarmıştır. Bu alternatif türbinlerden biriside kanatsız rüzgar türbinidir.

Kanatsız rüzgar türbini döner mekanizmaya sahip olmayan, rüzgarın girdap akımlarının nesneler üzerinde oluşturduğu salınım hareketinden faydalanarak elektrik enerjisi üreten yeni tip türbindir. Türbin hareketsiz alt kısım ve salınım yapan üst kısımdan meydana gelir. Elde edilen salınım hareketi türbin için tasarlanmış bir lineer jeneratör yardımı ile elektrik enerjisine dönüştürülmektedir [3].

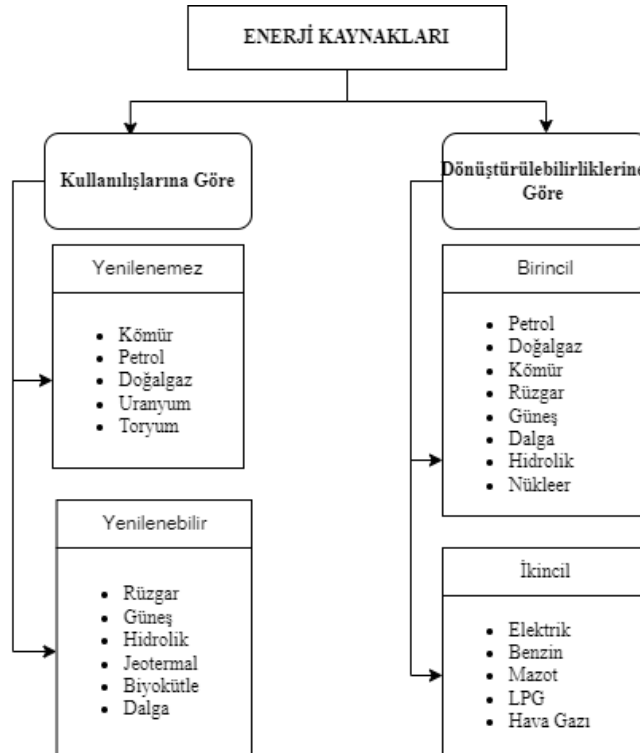
Bu çalışmada yeni bir fikir olan kanatsız rüzgar türbinlerinin yapısı, enerji üretim yöntemi, rüzgar hızına bağlı olarak türbinin enerji üretiminin değişimi jeneratör yapısı gibi konular hakkında veriler elde etmek için tasarımlar ve prototipler yapılmış ve farklı rüzgar hızlarında test edilmiştir. Türkçe literatürde az kaynağı bulunan bu konunun yapılan çalışma ile yapım aşamaları ve elde edilen test sonuçlarının daha sonraki çalışmalarda yardımcı olabileceği amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Enerji

Enerji, en sade şekilde iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Evrenin oluşumundan beri var olan ve birçok farklı forma dönüşebilen enerji yaşamın temel taşlarından biridir [4]. İnsanların ilk çağlarda enerjinin farklı formlarına dönüşebildiğini keşfetmesi ile birlikte yaşam daha kolay bir hale gelmiştir. Nüfusun artması, sanayi devrimi, elektriğin keşfi ve teknolojiye yaşanan gelişmeler ile birlikte enerji kaynakları insanlık için vazgeçilmez olmuştur.

Enerji; mekanik, ısı, ışık, kimyasal, nükleer, ses, elektrik, potansiyel, kinetik ve manyetik biçimlerinde bulunur. Enerji kaynakları dönüştürülebilirliklerine ve kullanım durumlarına göre sınıflandırılır. Kullanışlarına göre yenilenebilir ve yenilenemez, dönüştürülebilirlik durumuna göre de birincil ve ikincil kaynaklar olarak sınıflandırılmaktadır. Dönüştürülebilirliklerine göre birincil enerji kaynağı (primer) ve ikincil enerji kaynağı (sekonder) olarak sınıflandırılmaktadır. Birincil enerji kaynakları, petrol, kömür, doğalgaz, biyokütle, nükleer, güneş, rüzgar, hidrolik ve dalgadır. İkincil enerji kaynakları ise elektrik, benzin, mazot, LPG (sıvılaştırılmış petrol gazı), kok ve hava gazı gibi birincil enerji kaynakları kullanılarak üretilen kaynaklardır [5].

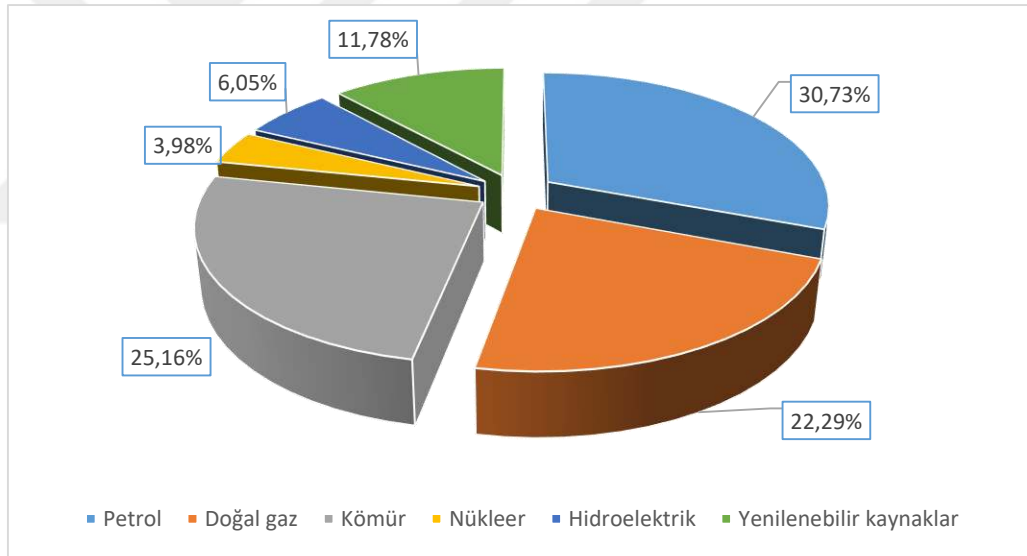


Şekil 2.1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması

Keşfinden günümüze kadarki süreçte elektrik enerjisi artan nüfus ve gelişen teknoloji ile birlikte en fazla ihtiyaç duyulan enerji konumunu almıştır. Elektrik enerjisi üretimi ise büyük çoğunlukla yenilenemez enerji kaynaklarından elde edilmektedir. Yenilenemez enerji kaynakları dünyamızda belirli bir rezerve sahip olmanın yanı sıra çevre kirliliğine yol açmakta ve atmosfere zarar vermektedir. Yenilenemez enerji kaynaklarının tükenmesi gelecekte enerji arzında risk teşkil etmemesi adına yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelim, çalışma ve yatırımlar artarak devam etmektedir.

2.1.1. Dünyada Birincil Enerji Kaynaklarının Durumu

Dünyada ve ülkemizde genellikle yenilenemez enerji kaynakları olan petrol, doğalgaz ve kömür kullanılmaktadır. Yenilenemez enerji kaynakları çoğunlukla ikincil enerji kaynakları olan elektrik, benzin, LPG, hava gazı üretiminde kullanılmaktadır. Şekil 2.2’de 2021 yılında dünyadaki birincil enerji kaynaklarının tüketim dağılımı görülmektedir.



Şekil 2.2. 2021 yılında dünyadaki birincil enerji kaynaklarının tüketim dağılımı [6]

2021 yılında en fazla tüketilen enerji kaynağı %30,73’le petrol olurken sırasıyla %25,16 kömür, %22,29 doğalgaz, %6,05 hidroelektrik, %11,78 yenilenebilir enerji, %3,9’luk payla nükleer enerji takip etmektedir [6]. Grafikten de anlaşıldığı üzere dünyada en fazla tüketilen enerji kaynaklarını yenilenemeyen kaynaklar oluşturmaktadır. Çizelge 2.1’de 2016-2021 yılları arasında dünyada tüketilmiş olan birincil enerji kaynaklarının EJ (Excajoule) cinsinden miktarı ve tüketildiği yıl içerisindeki oranları verilmiştir. 2016 yılından 2021 yılına kadarki süreçte petrol ve doğal gaz tüketimlerinde azalma olduğu, kömür tüketiminde artış yaşandığı gözlemlenmektedir. 2021 yılı itibari ile yenilenebilir

enerjinin tüm tüketim miktarına olan oranı iki katına çıkmış, hidroelektrik tüketim miktarında küçük bir artış yaşanmıştır. Fakat tüketilen birincil enerji kaynaklarının tüm tüketimdeki oranı göz önüne alındığında yenilenebilir enerji ve hidroelektriğin yetersiz konumda olduğu söylenebilmektedir. Bu değerlendirmeler ışığında tüketilebilir enerji kaynaklarından yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişin hızlanması gerektiği görülmektedir.

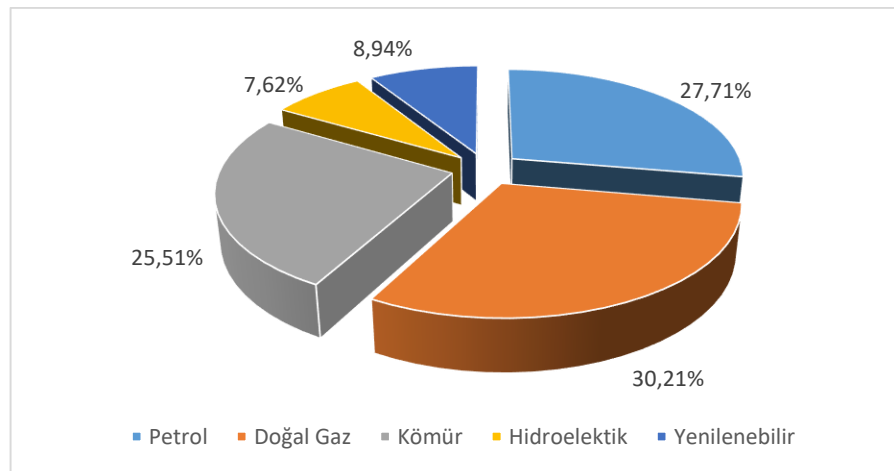
Çizelge 2.1. 2016-2021 dünyada birincil enerji tüketim miktarı [6]

Yıl	Petrol	Doğal Gaz	Kömür	Nükleer	Hidroelektrik	Yenilenebilir Enerji
2016 Tüketim (EJ)	186,34	128,02	156,61	24,17	38,67	22,09
2016 Yılındaki Toplam Tüketim İçindeki Payı (%)	33,52%	23,03%	28,17%	4,35%	6,96%	3,97%
2017 Tüketim (EJ)	189,06	131,51	157,51	24,25	38,99	25,36
2017 Yılındaki Toplam Tüketim İçindeki Payı (%)	33,36%	23,21%	27,80%	4,28%	6,88%	4,48%
2018 Tüketim (EJ)	191,7	138,08	159,54	24,68	39,84	28,53
2018 Yılındaki Toplam Tüketim İçindeki Payı (%)	32,92%	23,71%	27,39%	4,24%	6,84%	4,90%
2019 Tüketim (EJ)	192,13	140,63	157,32	25,46	40,15	31,74

2019 Yılındaki Toplam Tüketim İçindeki Payı (%)	32,71%	23,94%	26,78%	4,33%	6,83%	5,40%
2020 Tüketim (EJ)	174,17	138,44	151,07	24,44	41,09	34,8
2020 Yılındaki Toplam Tüketim İçindeki Payı (%)	30,88%	24,55%	26,78%	4,33%	7,29%	6,17%
2021 Tüketim (EJ)	184,21	145,35	160,1	25,31	40,26	39,91
2021 Yılındaki Toplam Tüketim İçindeki Payı (%)	30,95%	24,42%	26,90%	4,25%	6,76%	6,71%

2.1.2. Türkiye’de Birincil Enerji Kaynaklarının Durumu

Türkiye’de 2021 yılı itibari ile birincil enerji tüketim miktarı 2,06 EJ doğalgaz (%30,21), 1,89 EJ petrol (%27,71), 1,74 EJ kömür (25,51), 0,61 EJ yenilenebilir enerji (%8,94), 0,52 EJ hidroelektrikten (%7,62) oluşmaktadır. Şekil 2.3’te 2021 yılındaki birincil enerji tüketim miktarları, çizelge 2.2.’de 2016 yılından 2021 yılına kadarki birincil enerji tüketim miktarları ve oranları bulunmaktadır.



Şekil 2.3. 2021 Türkiye’de birincil enerji kaynakları tüketim oranları [6]

Çizelge 2. 1. 2016-2021 Türkiye birincil enerji tüketim miktarı [6]

	Petrol	Doğal Gaz	Kömür	Hidroelektrik	Yenilenebilir Enerji
2016 Tüketim (EJ)	1,98	1,6	1,61	0,65	0,24
2016 Yılındaki Toplam Tüketim İçindeki Payı (%)	32,57 %	26,32 %	26,48 %	10,69 %	3,95 %
2017 Tüketim (EJ)	2,07	1,86	1,65	0,56	0,29
2017 Yılındaki Toplam Tüketim İçindeki Payı (%)	32,19 %	28,93 %	25,66 %	8,71 %	4,51 %
2018 Tüketim (EJ)	2	1,7	1,71	0,57	0,38
2018 Yılındaki Toplam Tüketim İçindeki Payı (%)	31,45 %	26,73 %	26,89 %	8,96 %	5,97 %
2019 Tüketim (EJ)	2,01	1,56	1,76	0,84	0,43
2019 Yılındaki Toplam Tüketim İçindeki Payı (%)	30,45 %	23,64 %	26,67 %	12,73 %	6,52 %
2020 Tüketim (EJ)	1,84	1,66	1,7	0,74	0,5
2020 Yılındaki Toplam Tüketim İçindeki Payı (%)	28,57 %	25,78 %	26,40 %	11,49 %	7,76 %
2021 Tüketim (EJ)	1,89	2,06	1,74	0,52	0,61
2021 Yılındaki Toplam Tüketim İçindeki Payı (%)	27,71 %	30,21 %	25,51 %	7,62 %	8,94 %

Çizelge 2.2.'deki oranlardan veriler incelendiğinde, Türkiye'de 2021 yılında 6,82 EJ olan birincil kaynak tüketim miktarının %8,94'ü yenilenebilir enerjiden, %7,62'si hidroelektrikten oluştuğu görülmektedir. Hidroelektriğinde yenilenebilir enerji kaynağı

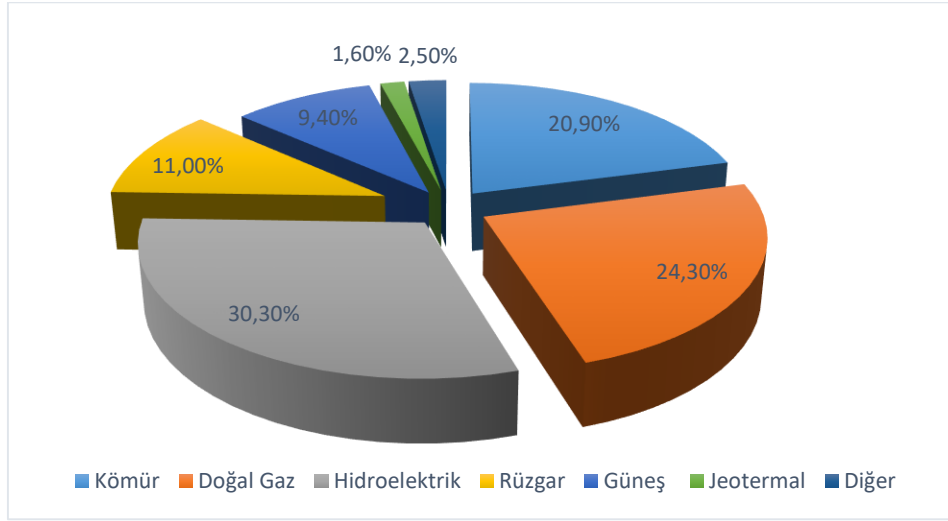
olduğu göz önünde bulundurulursa 6,82 EJ olan birincil enerji tüketim miktarının 1,13 EJ'si yani %16,56'sı yenilenebilir kaynaklardan karşılandığı tespit edilmektedir.

2.1.2 Elektrik Enerjisi

Elektrik; atomlarda bulunan elektronların bir yöne doğru hareket etmesin sonucu oluşan akımdır. Antik yunanda kehribar taşının kürk gibi nesnelerle sürtünmesinden oluşan çekim gücünün keşfedilmesi ile elektriğin tarihsel sürecinin başladığı tahmin edilmektedir. 1600 yılında William Gilbert bu çekim gücünü electricus olarak adlandırmıştı. Alessandro Volta 1800 yılında pil adını verdiği buluşuyla ilk kimyasal enerji kaynağını icat etti. Michael Faraday manyetik alan içinde hareket eden iletken bir telinde akım indükleneceğini keşfetmesi ile birlikte jeneratörlerin ve elektrik motorlarının üretilmesinin temelini oluşturdu [7] [8].

Thomas Edison, 1882 yılında dünya çapında ilk elektrik santralini kurdu. 1885 yılında, Tesla ve Westinghouse, DC (doğru akım) elektrik santraline AC (alternatif akım) elektrik santrallerini kurmaya ve üretim yapmaya başladılar. AC elektrik santrallerinin DC elektrik santrallerinden daha verimli ve daha etkili olması sonucunda dünyada AC kullanımı yaygınlaşmıştır [9] [10].

Türkiye'de elektrik enerjisi ilk defa Osmanlı döneminde 1888 yılında İstanbul'da Haliç Tersanesinde kurulan elektrik fabrikasının açılmasıyla kullanılmaya başlanmıştır. Türkiye'nin ilk elektrik santrali ise 1902 yılında Tarsus'ta kurulmuştur. Bu santral Berdan Nehri üzerinde kurulmuş olup su değirmenine bağlı 2 KW'lık bir dinamodan oluşmaktaydı [11]. Türkiye'nin 2 KW ile başlayan kurulu gücü 2023 yılı Mart ayı sonu itibari ile 104.348 MW ulaşmış bulunmaktadır. Kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı; ise %30,3'ü hidrolik enerji, %24,3'ü doğal gaz, %20,9'u kömür, %11'i rüzgâr, %9,4'ü güneş, %1,6'sı jeotermal ve %2,5'i ise diğer kaynaklar şeklindedir [12].



Şekil 2.4. 2023 Mart sonu itibariyle Türkiye'nin Kurulu gücünün kaynaklara göre oranı

Günümüzde elektrik enerjisi birçok farklı yöntem ve kaynak ile üretilmektedir. Bu kaynaklar; petrol, doğalgaz, kömür, nükleer gibi yenilenemez ve rüzgar, güneş, dalga, hidroelektrik, biyokütle, jeotermal gibi yenilenebilir kaynak olarak sınıflandırılmaktadır. Yenilenemez enerji kaynaklarından petrolün 45-50, doğal gazın 63, kömürün 119 yılda tükeneyeceği tahmin edilmektedir. Durum böyle olunca yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelim hız kazanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretim yöntemlerinden aşağıda kısaca bahsedilmiştir.

- **Hidroelektrik enerji;** debisi yüksek nehirlerin önüne baraj inşa edilerek suyun birikmesi ve potansiyel enerji kazanması sağlanır. Daha sonra biriken su serbest bırakılarak cebri borular yardımıyla türbinlere ulaştırılır. Biriken potansiyel enerji suyun serbest bırakılması ile önce kinetik enerjiye sonra ise türbinlerde elektrik enerjisine dönüşür.
- **Jeotermal enerji;** yerkürenin derinliklerinde birikmiş olan basınç altındaki su buharı veya gazın yeryüzüne çıkarılarak kullanılmasıdır. Elektrik üretiminde ve ısıtmada kullanılmaktadır [13].
- **Güneş enerjisi;** güneşim çekirdeğinde gerçekleşen füzyon reaksiyonu sonucu ortaya çıkmaktadır. Güneşin ışınları ile dünyamıza ulaşan bu enerji fotovoltaiik piller ve güneş kolektörleri ile elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Güneş enerjisi elektrik üretimi ve doğrudan ısı enerjisi olarak kullanılmaktadır [5].
- **Dalga enerjisi;** denizlerde oluşan dalgaların itme veya kaldırma gücünden faydalanılarak elektrik enerjisi üretme yöntemidir.

- **Biyokütle enerjisi;** bitkisel ve hayvansal kökenli atıklardan elde edilen enerji şeklindedir. Direkt yakılması veya çürüme sonucu oluşan metan gazının kullanılması ile elektrik enerjisi üretilmektedir. Biyokütle enerjisi ile elektrik üretilmesinin yanı sıra biyogaz, biyodizel ve biyoetanol gibi yakıtlarda elde edilmektedir [5].
- **Rüzgar enerjisi;** güneş ışınımının dünya yüzeylerinde farklı dağılmasından dolayı oluşan basınç ve sıcaklık farkından kaynaklanan enerji şeklindedir. Rüzgar enerjisinde bulunan kinetik enerji rüzgar türbinleri kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülür.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgar enerjisi diğer kaynaklara göre potansiyelin fazla olması, çevresel etkilerinin az olması, karasal ve deniz üstü santrallerinin yapılabilmesi gibi avantajları nedeni ile son yıllarda popüler hale gelmiştir. Bu popülerite rüzgar enerji teknolojilerinin gelişerek ucuzlamasına ve yeni türbin modellerinin ortaya çıkmasına sebep olmuştur.

2.2 Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisi, güneş ışınımının dünya yüzeylerinde farklı dağılmasından dolayı oluşan basınç ve sıcaklık farkından kaynaklanmaktadır. Homojen olarak dağılmayan sıcaklık ve basınç hava kütlelerinin hareket etmesine sebep olmakta ve buna rüzgar denilmektedir. Rüzgar enerjisi mekanik ve elektrik enerjisi elde etmek için kullanılmaktadır [5]. İlk çağlardan beri değirmenlerde tahıl öğütmede ve gemi yelkenlerinde kullanılmıştır. Elektriğin keşfi ile birlikte rüzgar türbinleri kullanılarak elektrik enerjisi üretilmeye başlanmıştır.

Rüzgar enerjisi günümüzde olduğu gibi geçmişte de önemli bir kaynak olarak kullanılmıştır. Bilinen en eski rüzgar türbini M.Ö 3000 yıllarında Mısır'da tarımsal sulamada kullanılmıştır. Orta çağda, Ortadoğu'da yaygın bir şekilde kullanılan rüzgar türbinleri Haçlı seferleri ile Avrupa'ya götürülmüştür. Başlangıçta su pompalama ve değirmenlerde tahıl öğütme için kullanılan rüzgar türbinleri 1890 yılında Danimarka'da Paul La Cour adındaki bir Fransız tarafından ilk defa elektrik enerjisi üretmek için kullanılmıştır [13].

Gelişen teknoloji rüzgar enerji teknolojilerinin ucuzlamasına neden olmuştur. Bu gelişme tükenmekte olan fosil kaynaklara karşı rüzgar enerjisini önemli alternatif kaynaklardan biri haline getirmiştir.

2.2.1 Rüzgar Enerjisinin Avantajları

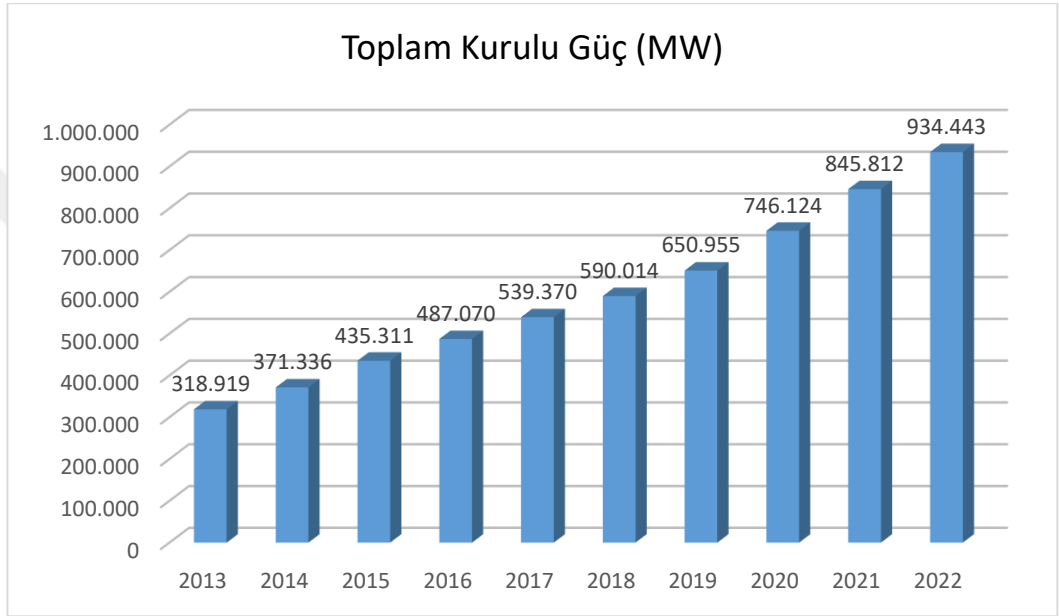
- Tükenmeyen bedava bir kaynaktır.
- Fosil kaynaklar gibi sürekli olarak karbondioksit salınımı ve kül atığı yoktur.
- Karbon salınımı en az olan kaynaktır.
- Yerli kaynak olduğu için dışa bağımlılığı azaltır.
- Gelişen teknoloji ile birlikte enerji birim maliyeti azalmaktadır.
- Güneş enerjisine oranla daha uzun süre elektrik üretebilir.
- Dönüştürme teknikleri kolaydır.
- Bakım ve onarım maliyeti düşüktür.
- Kısa sürede devreye alınabilir.
- Fosil kaynakların tükenme hızlarını yavaşlatır.
- Bölgesel kalkınmaya ve istihdama katkıda bulunur.
- Küçük güçteki rüzgar türbinleri sayesinde şebekeden uzakta elektrik enerjisi sağlanabilir.

2.2.2. Rüzgar Enerjisinin Dezavantajları

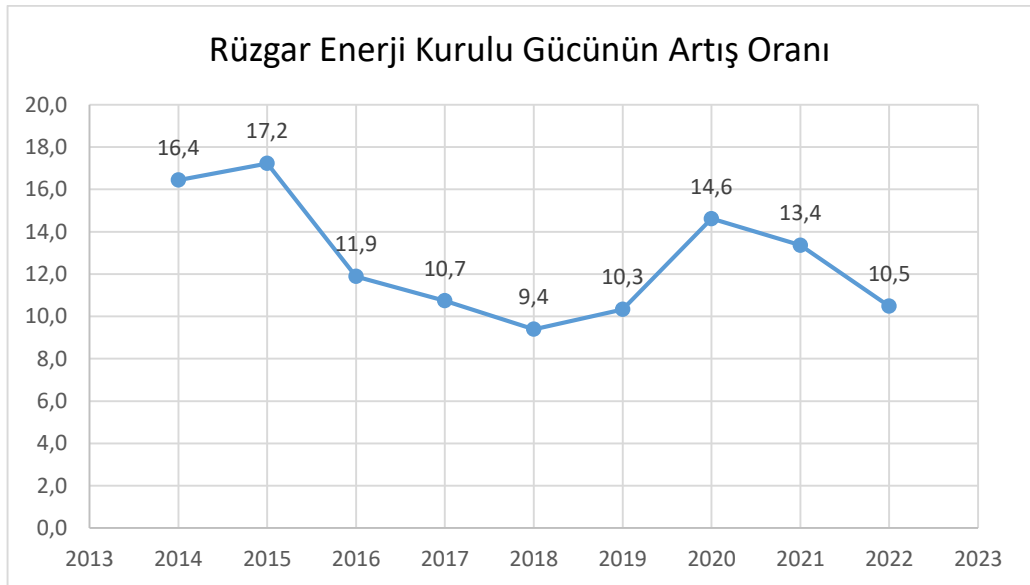
- Rüzgar türbinleri rahatsız edici gürültüye sahiptir.
- Sürekli değişen rüzgar hızları elektrik üretiminde düzensizliğe sebep olur.
- Kuş ölümlerine neden olmaktadır.
- Büyük güçteki santraller TV ve radyo sinyallerinin parazitlenmesine sebep olur.
- İlk yatırım maliyeti yüksektir.
- Her ülke ve bölgede rüzgar potansiyeli aynı değildir.
- Rüzgar türbinlerinin yerleşim yerlerinden uzak noktalarda kurulması şebeke bağlantısı için ilave tesislere, dolayısıyla ek maliyete sebebiyet vermektedir.

2.2.3. Dünyada Rüzgar Enerjisi

Dünya Rüzgar Enerjisi Birliğinin (WWEA) yayımladığı verilerde 2022 yılı kurulu rüzgar enerji gücünün 934.443 MW olduğunu belirtilmiş ve yıl bazındaki kapasite artışı şekil 2.5.'te verilmiştir. 2013 yılındaki verilere bakıldığında 318.919 MW olan kurul gücün 2022 yılına gelindiğinde 2,93 kat arttığı görülmektedir. Bu büyüme 9 yıllık bir süreç için yüksek bir oran olsa da rüzgar enerjisi %10,5'lik bir büyüme ile 40 yıllık modern rüzgar enerjisi kullanımının en düşük artışlarından birisini 2022 yılında yaşamıştır. Şekil 2.6. da rüzgar enerjisi kurulu gücünün yıl bazında artışı verilmiştir [15].



Şekil 2.5. Dünya rüzgar enerjisi kurulu gücü



Şekil 2.6. Dünya rüzgar enerji kurulu gücünün artış oranı (%)

Ülkelerin 2022 yılı rüzgar enerji durumu kurulu güç açısından incelendiğinde birinci sırada 395.630 MW güç ile Çin bulunmaktadır. Çin'i sırasıyla ABD, Almanya, Hindistan, İspanya, İngiltere takip etmektedir. Ülkemiz 11.950 MW kurulu güç ile 11. sırada yer almaktadır. Çizelge 2.3.'te ülkelerin 2022 yılı rüzgar kurulu gücü sıralaması verilmiştir [15].

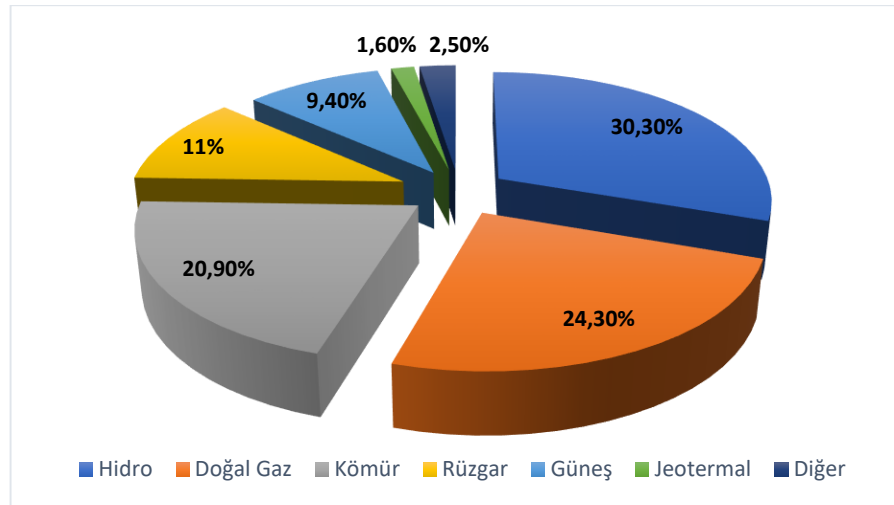
Çizelge 2.2. Ülkelerin 2022 rüzgar kurulu gücü (MW) [15]

Ülke/Yıl	2022	2021	2020
Çin	395.630	346.670	290.750
ABD	144.184	135.347	122.328
Almaya	66.242	63.924	62.708
Hindistan	41.983	39.800	38.625
İspanya	29.813	28.143	27.294
İngiltere	28.087	25.748	24.458
Brezilya	25.631	21.567	18.010
Fransa	20.600	19.084	17.949
Kanada	15.310	14.304	13.627
İsveç	14.227	12.173	10.068
Türkiye	11.950	11.100	9.305
İtalya	11.848	11.322	10.850
Avustralya	10.134	9.126	7.296
Polonya	8.617	7.100	6.614
Hollanda	8.500	7.846	6.784
Meksika	7.312	7.262	6.789
Danimarka	7.178	7.178	6.235
Finlandiya	5.677	3.256	2.586
Portekiz	5.671	5.628	5.502
Belçika	5.305	5.002	4.719
Norveç	5.087	4.655	3.980
Japonya	4.802	4.574	4.372
Yunanistan	4.783	4.452	4.113
İrlanda	4.685	4.405	4.355

Vietnam	3.966	3.444	2.829
Şili	3.810	3.297	2.818
Avusturya	3.573	3.291	0.513
Güney Afrika	3.560	3.231	3.495
Arjantin	3.309	3.163	2.495
Romanya	3.077	3.029	3.029
Diğer Ülkeler	29.892	26.692	22.003
Toplam (MW)	934.443	845.813	745.986

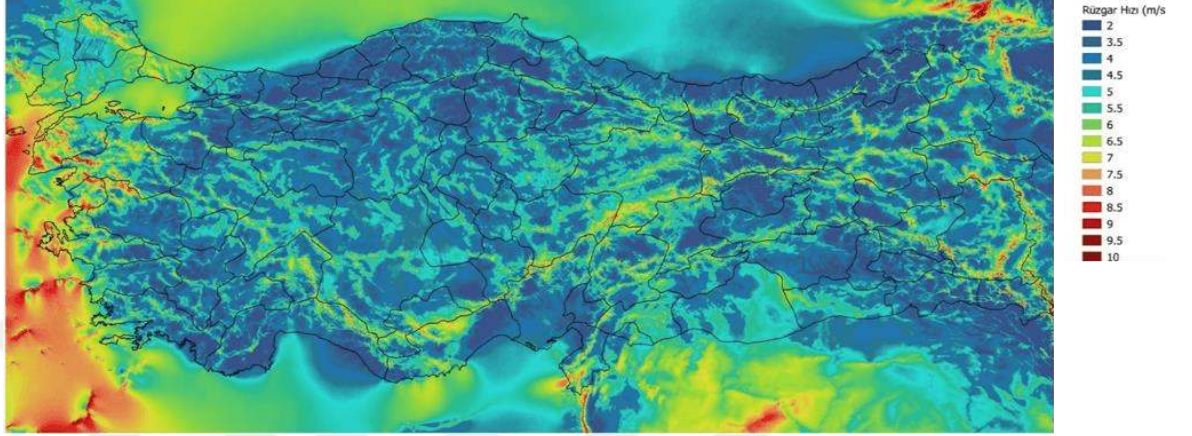
2.2.4 Türkiye’de Rüzgar Enerjisi

Türkiye’de rüzgar enerjisinden elektrik üretimi ilk defa 1986 yılında Çeşme Altinyunus tesislerinde 55 kW’lık bir türbinle olmuştur. Bu türbin 14 metre pervane çapında ve 24.5 metre yüksekliğindeydi. Yılda ortalama 100.000 kWh elektrik enerjisi üretilmekteydi. Türkiye’de ulusal anlamda ilk rüzgar enerji santrali Çeşme’nin Germiyan köyünde kurulmuştur. Bu santral 3 adet 500 kW’lık Enercon-40 rüzgar türbininden oluşmaktaydı [16]. Türkiye’nin 55 kW’lık bir güç ile başlayan rüzgar enerji serüveni 2022 yılında 11.950 MW’a çıkmıştır. TÜREB (Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği) tarafından yayımlanan 2021 yılı temmuz ayı rüzgar enerji santralleri raporunda Türkiye’de 273 adet rüzgar santrali ve 3983 adet rüzgar türbini bulunduğu belirtilmiştir. Bu santrallerin toplam kurulu gücü 11.101 MW olduğu belirtilmektedir [17]. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar bakanlığı verilerine göre 2023 yılı nisan ayı sonu itibari ile rüzgar enerjisi kurulu gücü toplam kurulu güce oranı %11 olduğu görülmektedir.



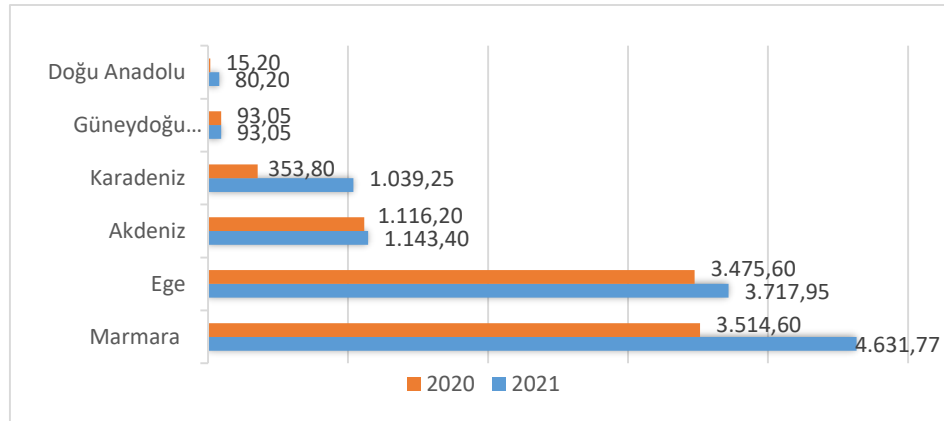
Şekil 2.7. 2023 Nisan ayı kurulu güç oranları

Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı web sitesinde yayımlanan bilgilere göre, 2006 yılında yapılan çalışmada 50 metre yükseklikte ve 7,5 m/s üzeri yıllık ortalama rüzgar hızının bulunduğu kullanılabilir alanlarda kilometre başına 5 MW gücünde santral kurulabileceği kabul edilmiş olup, kurulabilecek rüzgar elektrik santrallerinin kapasitesinin 47.849,44 MW olduğu belirlenmiştir [17].

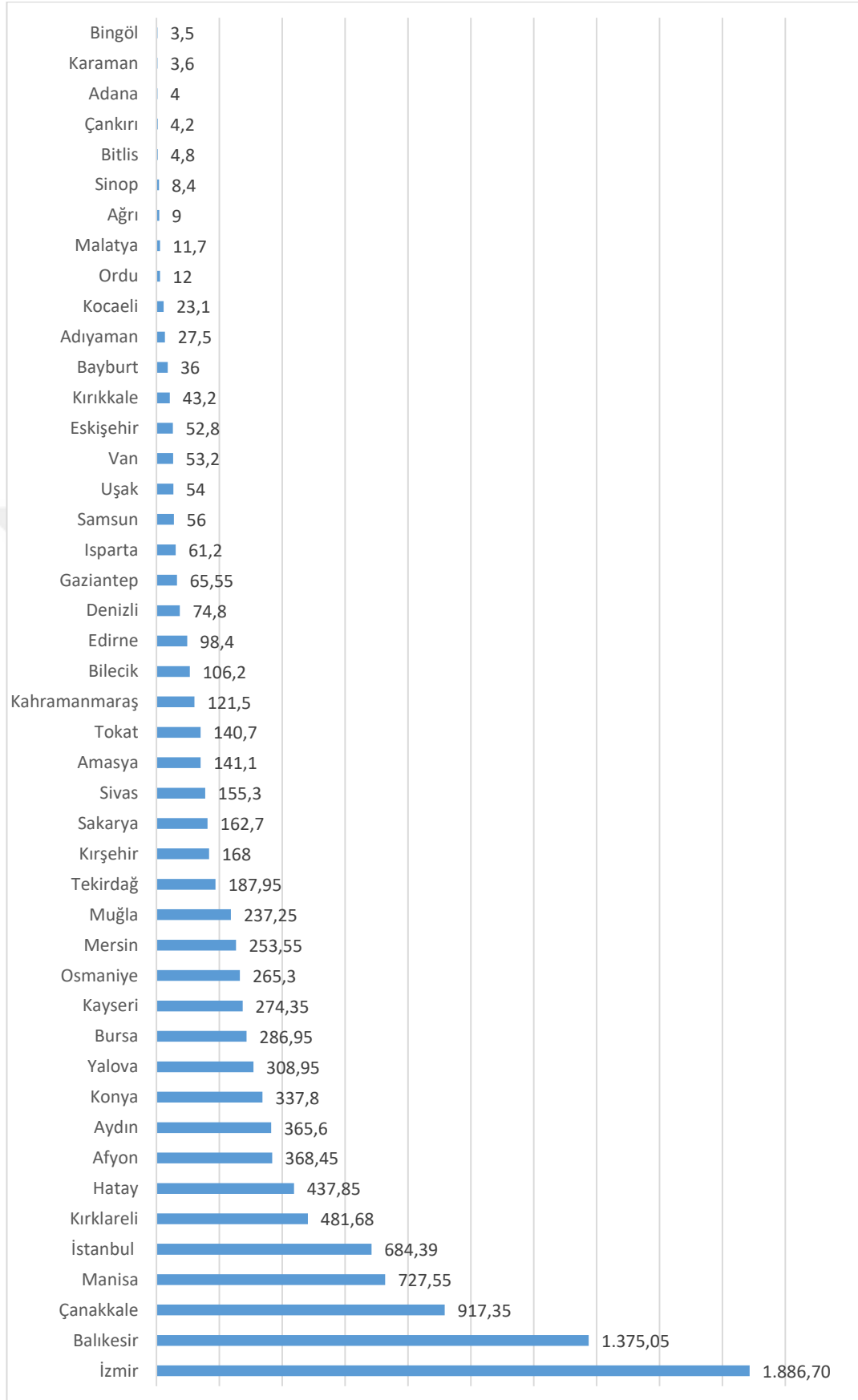


Şekil 2.8. Türkiye yıllık ortalama rüzgar hızı dağılımı

Ülkemizin tüm bölgelerinde rüzgar enerji santralleri bulunmaktadır. Ancak Marmara ve Ege bölgelerinin diğer bölgelere göre yıllık ortalama rüzgar hızı daha fazla olması sebebiyle bu bölgelerde yoğunlaşmıştır. İl bazında ise İzmir 1.886,7 MW kurulu güçle ilk sırada yer almaktadır. İzmir'i Balıkesir ve Çanakkale takip etmektedir (Şekil 2.10.). Son yıllarda artan teşvikler sebebiyle Doğu Anadolu bölgesinde de kapasite artışı olmuştur. Şekil 2.8.'de 2020 ve 2021 yılları bölgesel kurulu güçleri verilmiştir [18].



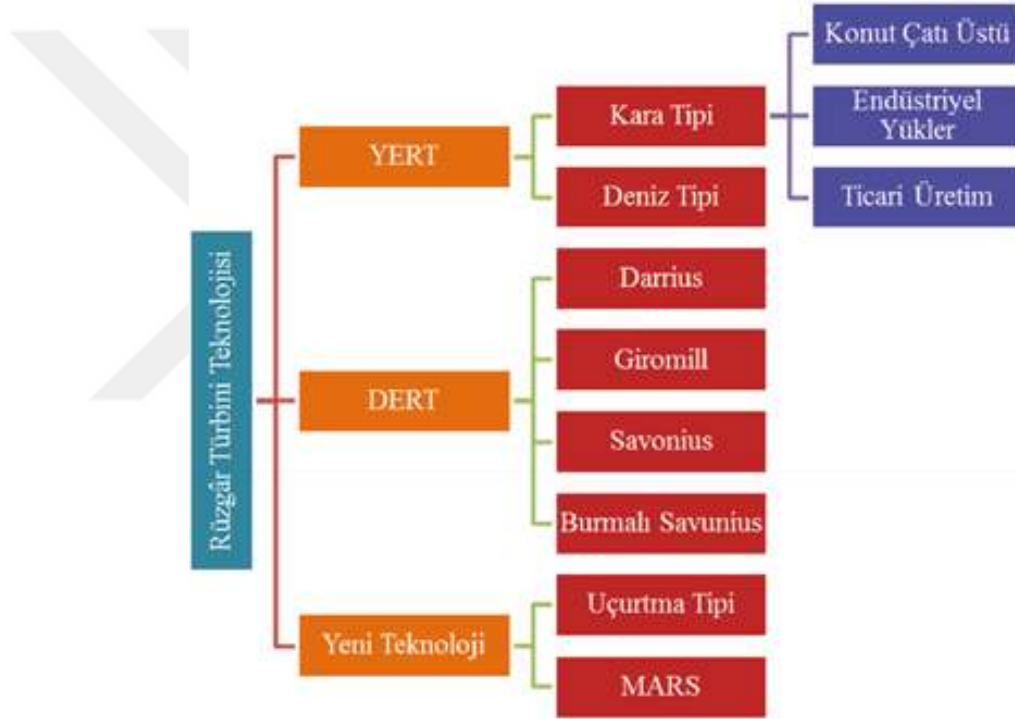
Şekil 2.9. 2020 ve 2021 yılları bölgesel kurulu güç



Şekil 2.10. Rüzgar enerji santrallerinin illere göre dağılımı [15]

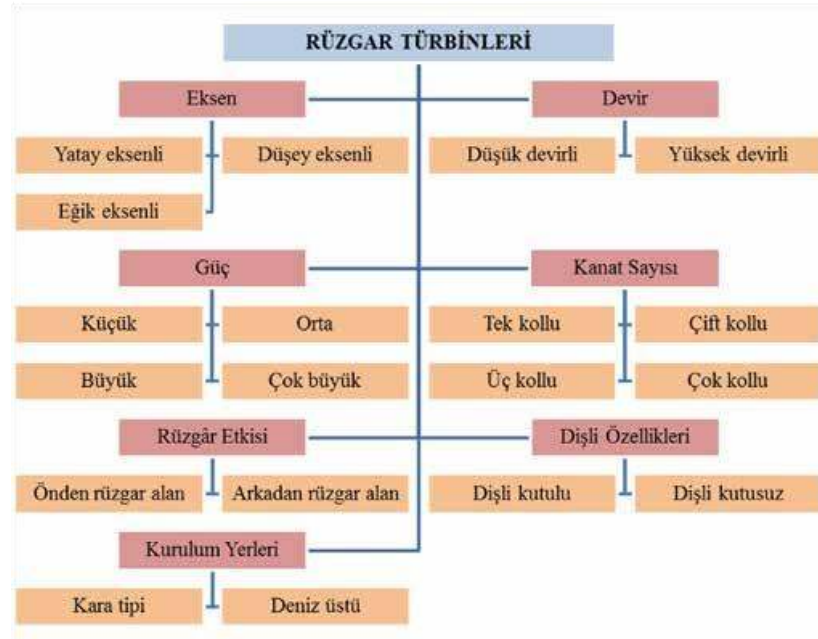
2.3 Rüzgar Enerjisinden Elektrik Üretim Yöntemleri

Rüzgar enerjisinden elektrik üretmek için rüzgar türbinleri kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan türbin teknolojileri YERT (Yatay eksenli rüzgar türbinleri), DERT (Dikey eksenli rüzgar türbinleri) ve yeni nesil teknolojiler olmak üzere üç başlık altında incelenebilir. YERT'ler ulusal anlamda elektrik üretimi için kullanılırken DERT'ler şebekeden uzak alanlarda veya kişisel tüketimlerde kullanılmaktadır. Yeni nesil türbinler ise klasik türbinlerin bazı dezavantajlarını ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır. Yaygın olarak kullanılan rüzgar türbin teknolojilerinin sınıflandırması Şekil 2.10.' verilmiştir.



Şekil 2.11. Yaygın olarak kullanılan türbin teknolojilerinin sınıflandırılması [2]

Rüzgar türbinleri ise Şekil 2.12.' de gösterildiği gibi dönme eksenlerine, kanat sayılarına, güç durumuna, kurulum alanına, rüzgarı alış yönüne, devir sayısına ve kanat sayılarına göre sınıflandırılırlar.



Şekil 2.12. Rüzgar türbinlerinin sınıflandırılması [2]

2.3.1. Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri

Yatay eksenli rüzgar türbinleri dönme eksenleri yere ve rüzgara göre paralel, kanatları ise rüzgar yönüne dik şekildedir (Şekil 2.13). Türbin yatay eksen etrafında döndüğü için bu isimle adlandırılır. Türbin temel olarak kule, rüzgara doğru yönlendirme mekanizması, fren, jeneratör ve kanatlardan oluşmaktadır. YERT'ler genellikle ulusal şebekeleri beslemek için kullanılmaktadır. Tek kanatlı, iki kanatlı ve üç kanatlı YERT'ler bulunmaktadır.



Şekil 2.13. Yatay eksenli rüzgar türbinleri

Yatay Eksenli Rüzgar Türbinlerinin Avantajları

- Diğer türbinlere göre yüksek çıkış gücü üretilebilirler.
- Dönme hızları yüksektir.
- Yüksek verimlidir.
- En iyi hücum açısı için kanatlar ayarlanabilir.
- İşletmeye alma süreleri kısadır,

Yatay Eksenli Rüzgar Türbinlerinin Dezavantajları

- Bakımı diğer rüzgar türbinlerine oranla daha zordur.
- Türbini kurulacak bölgelere taşımak ağırlık ve boyutundan dolayı meşakkatli ve maliyetlidir.
- Rüzgar yönü değiştiğinde türbinde durup yön değiştirdiği için üretimde durur.
- Gürültü oluştururlar.
- Kuş ölümlerine sebep olabilmektedir.

Tek Kanatlı YERT

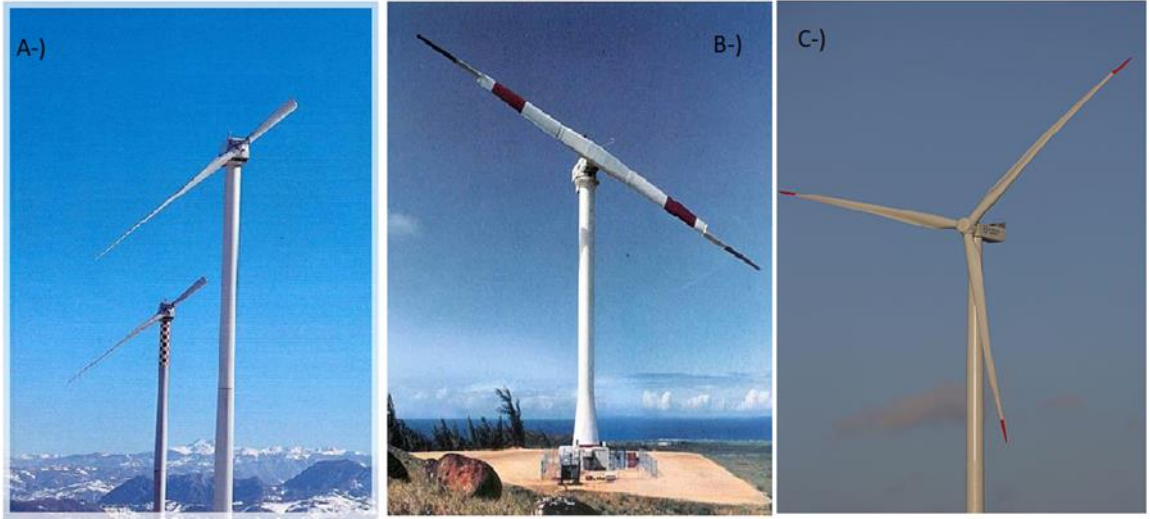
Tek kanatlı YERT'ler (Şekil 2.14.) üretilme nedeni; iki ve üç kanatlı rüzgar türbinlerine oranla yüksek hızda dönmesi, bu sayede makine kütlesini ve rotor döndürme momentini azaltmasıdır. Tek kanatlı rüzgar türbinlerinde kanadın karışına dengeleyici yükler bağlanmalı ve aerodinamik balanssızlık için kanat bağlantısı çok dikkatli yapılmalıdır. Bu türbinlerin diğer bir dezavantajı yüksek gürültüye sebep olmasıdır [19].

İki Kanatlı YERT

İki kanatlı YERT'ler (Şekil 2.14.) üç kanatlı YERT'lerin rotor maliyetini daha aza indirmek için üretilmiştir. Fakat iki kanatlı rotorun oluşturmuş olduğu dinamik hareketi dengelemek maliyetinin artışına neden olmuştur. Kanat uç hızları üç kanatlı türbine göre daha fazladır. Bu türbinlerde de gürültü seviyesi yüksektir [20].

Üç Kanatlı YERT

Üç kanatlı YERT'ler (Şekil 2.14.) ticari olarak kullanılan rüzgar türbinleridir. Üç kanatlı yapısı nedeni ile dönme mometi tek ve iki kanatlı türbinlere göre daha düzgündür. Bu türbinlerde atalet momenti olmadığı için titreşim önleyici ek parçalara ihtiyaç duyulmamaktadır. Tek ve iki kanatlı türbinlere göre daha estetik bir yapıdadır ve daha az gürültü üretmektedir.



Şekil 2.14. A-) Tek kanatlı YERT B-) İki kanatlı YERT C-) Üç kanatlı YERT [21]

2.3.2. Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri

Dikey eksenli rüzgar türbinleri dönme eksenini rüzgara göre dik konumda bulunan ve rüzgarı her yönden alabilme özelliğine sahip türbinlerdir. Bu türbinlerde kanat yüzeylerinde oluşan itme kuvveti farkı ile dönme hareketi oluşur. YERT'lere nazaran verimleri düşüktür. Fakat rüzgarı her yönden alabilme üstünlüğü sayesinde şebekeden bağımsız uygulamalarda kullanılabilir.

Dikey eksenli rüzgar türbinlerinin avantajları

- DERT'lerde dişli kutusu ve jeneratör yerde olması nedeniyle tamir ve bakımı daha kolaydır.
- Kuleye ihtiyaç duyulmamaktadır.
- Rüzgar yönünün değişmesinden etkilenmez.
- Küçük güçteki uygulamalar için idealdir.
- Türbinin yapımı kolaydır.

Dikey eksenli rüzgar türbinlerinin dezavantajları

- Büyük güç üretmek için uygun değildir.
- Aerodinamik performansları düşüktür.
- Verimleri düşüktür.
- Büyük türbinlerde türbini sabit tutmak için destek kablosu gereklidir.

2.3.2.1. Darrieus Rüzgar Türbini

1931 yılında George J.M. Darrieus tarafından icat edilmiştir. Türbin 2 veya 3 kanattan oluşabilmektedir. Kanatlar türbin mili boyunca elips bir şekilde yerleştirilmiştir. Türbinde dönme hareketi kanatların iç ve dış yüzeylerindeki çekme kuvveti farkından oluşmaktadır. İlk hareket başlangıcı için bir tahrik motoruna ihtiyaç duymaktadır [22]. Türbin yüksek hızlarda çalışabilir ve yüksek tork üretebilir.



Şekil 2.15. Darrieus rüzgar türbini [22]

2.3.2.2. H Tipi Darrieus Rüzgar Türbini

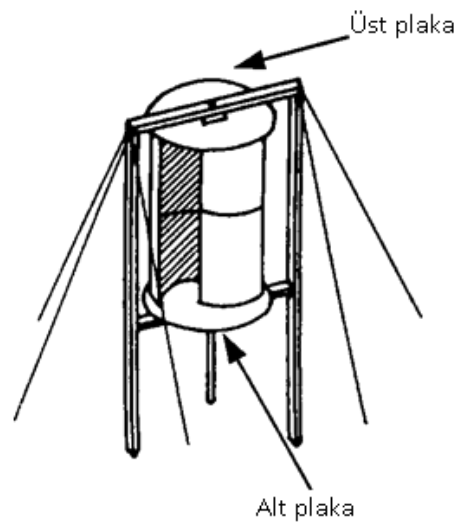
H- Darrieus rüzgar türbini (Şekil 2.16.) klasik Darrieus türbini üzerinde yapılan çalışmalar sonucu ortaya çıkmıştır. Darrieus türbininde bulunan elips şeklindeki kanatlar yerine düz kanatlardan oluşmaktadır. Darrieus türbinine göre aerodinamik profili daha düzdür ve pitch kontrolü (kanat açısı kontrolü) bulunmaktadır.



Şekil 2.161. H-Darrieus rüzgar türbini

2.3.2.3. Savonius Rüzgar Türbini

Finlandiyalı mühendis Sigurd Savonius tarafından 1925 yılında icat edildi. İki disk arasına yerleştirilmiş olan iki adet yarım silindir şeklindeki kanatlardan oluşmaktadır. Türbin çalışma prensibi; rüzgar türbini oluşturan silindirin içbükey yüzeyine (Şekil 2.16.) pozitif ve dışbükey yüzeyine negatif moment oluşturmaktadır. İçbükey kanattaki momentin dışbükey kanattaki momentten büyük olması dönme hareketini oluşturmaktadır. Her yönden rüzgarı alabilmekte, türbin yapımı kolay ve ucuzdur. Fakat türbinin aerodinamik performansı düşüktür [14].



Şekil 2.17. Savonius rüzgar türbini [14]

2.3.2.4. Darrieus-Savonius Rüzgar Türbini

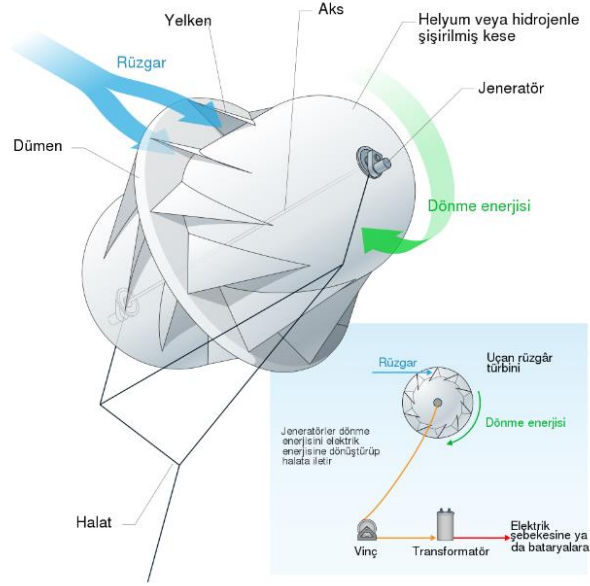
Bu türbin (Şekil 2.18.) Savonius ve Darrieus türbinlerinin kombine edilmesinden oluşturulmuştur. Darrieus rüzgar türbini aerodinamik olarak DERT'ler arasındaki en verimli türbindir. Fakat düşük rüzgar hızlarında kendiliğinde çalışmamaktadır. Savonius rüzgar türbini ise düşük rüzgar hızlarında kendiliğinde çalışabilmekte lakin aerodinamik performansı istenen seviyelerde değildir. Tasarımın yapılmasındaki amaç Darrieus ve Savonius türbinlerini kombine ederek dezavantajlarını ortadan kaldırmak ve düşük başlangıç şartlarında yüksek aerodinamik performanslı bir dikey eksenli rüzgar türbini oluşturmaktır. Bu tasarımda Savonius türbini Darrieus için ilk hareketi sağlayacak tahrik motoru görevi görmektedir [22].



Şekil 2.18. Savonius-Darrieus türbini

2.3.3. MARS (Magenn Air Rotor Systems) Tipi Rüzgar Türbinleri

Bu türbinler helyum veya hidrojen gazı ile doldurulmuş balon benzeri bir kesenden oluşmaktadır. Kese sayesinde kuleye ihtiyaç duymadan yüksek irtifalara ulaşarak daha güçlü rüzgar akımlarından faydalanarak enerji üretmektedir. Türbinde üretilen enerji yer yüzeyine sabitlemek için kullanılan halatlar üzerinden kablolarla şebekeye bağlanmaktadır. Türbin alüminyum boru, silindirik balon, dengeleyici, aks, jeneratör ve sabitleme halatı olmak üzere altı ana parçadan oluşmaktadır. Şekil 2.19 da MARS tipi rüzgar türbini görülmektedir [23].



Şekil 2.19. MARS tipi rüzgar türbini

2.3.4. Tayfun Tipi Rüzgar Türbini

Japon mühendis Atsushi Shimizu tarafından ortaya atılmış bir fikir olup kasırga ve tayfunların enerjisini kullanarak elektrik üreten dikey eksenli rüzgar türbinidir (Şekil 2.20.). Türbin çok şiddetli rüzgar hızlarına (70 m/s) dayanabilecek şekilde tasarlanmıştır. Türbinin 4-40 m/s rüzgar hızlarında istikrarlı bir şekilde elektrik üretebildiği belirtilmektedir. Yeni nesil rüzgar türbin teknolojisi olup geliştirilme aşamasındadır [24].



Şekil 2.20. Tayfun tipi rüzgar türbini

2.3.5. Vortex Kanatsız Rüzgar Türbini

Vortex kanatsız rüzgar türbini (Şekil 2.22) David Yáñez tarafından Tacoma Narrows köprüsünün yıkılmasından ilham alınarak icat edilmiştir. Klasik türbinlerde buluna kanat ve döner mekanizması bulunmayan bu türbin rüzgar kaynaklı girdapların oluşturmuş olduğu titreşimlerden faydalanmaktadır. Türbinde döner mekanizma ve hareket bulunmadığı için elektrik üretiminde türbine özel tasarlanmış lineer jeneratör kullanılmaktadır. Türbin yapı bakımından silindir şeklinde olup, hareketli üst parça, sabit alt parça, lineer jeneratör ve salınım hareketini yapan karbon çubuktan oluşmaktadır. Türbin fikrin sahibi olan David Yáñez tarafından kurulan Vortex Bladeless adlı girişim tarafından geliştirilmeye devam etmektedir. Girişimin amacı gürültüsüz çalışan, doğa ile daha uyumu, daha hafif, daha az maliyetli bir türbin üretmektir [3].

Türbinin avantajları kısaca aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- İmalatları ve kurulumları kolaydır.
- Dişli ve kanat bulunmadığı için bakımları kolay ve az maliyetlidir.
- Yaban hayatına uyumlu, kuşlar için zararsızdır.
- YERT’lerde bulunan fren ve yaw mekanizmasına ihtiyaç duymaz.
- Diğer türbinlere göre daha az temel ihtiyacı duyarlar.
- Bu türbinler, tüketici seviyesinden sanayi ve ticari seviyelere varıncaya kadar farklı skalalarda üretilebilirler.



Şekil 2.21. Vortex kanatsız rüzgar türbinleri

2.4. Girdap Akımları

Küt cisimler herhangi bir akışkan akışına (su, rüzgar vb.) maruz kaldığında akışkana ait akımın ayrılmasına neden olurlar. Akım ayrılması sonucunda iz bölgesinde zamana bağlı değişkenlik gösteren girdaplar oluşur. Bu girdaplar cisimlerin titreşim hareketi yapmasına neden olabilir. Rüzgar kaynaklı girdap akımlarının sebep olduğu titreşimler yapılar üzerinde yıkıcı etkilere sebep olabilmektedir.

Girdap akımları dairesel silindir geometrisine sahip nesnelerde daha iyi şekilde gözlemlenmektedir. Girdap akımları Reynolds (Re) boyutsuz parametresi ile ilişkilendirilir. Denklem 2.1’de Reynolds sayısı verilmiştir.

$$Re = \frac{UD}{\nu} \quad (2.1)$$

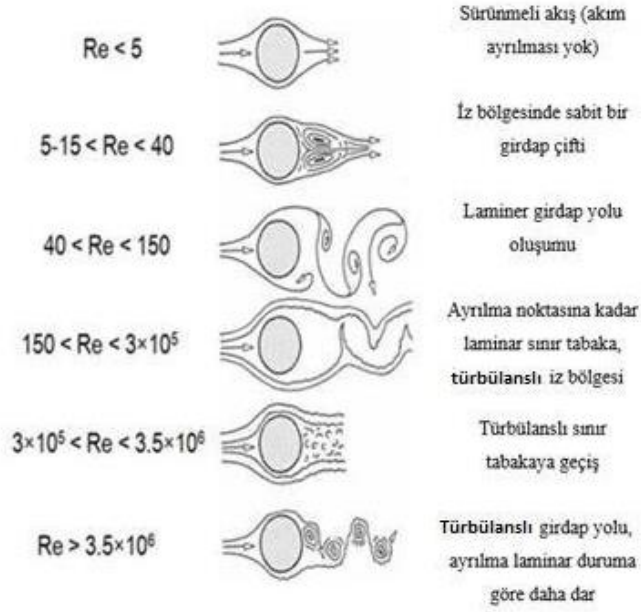
Burada;

U: Serbest akım hızı

D: Silindir çapı

V: Sıvının kinematik viskozitesi

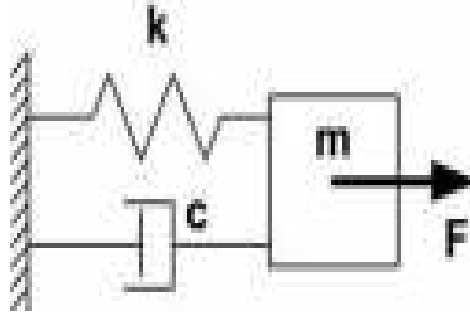
Reynold sayısı 40 ve üzeri olduğu durumlarda silindirin arkasında girdap akımları gözlemlenmeye başlar. $Re < 5$ olduğu durumda silindirin arkasında herhangi bir girdap oluşmaz. $Re < 40$ olduğu durumda bir çift girdap akımı söz konusu olur. $Re > 200$ olduğu durumlarda girdaplar türbülans haline gelmektedir. Şekil 3.1’de Reynolds sayılarında silindir cisim üzerindeki akışlar görülmektedir [25].



Şekil 2.22. Farklı Reynolds sayılarında silindir üzerindeki akışlar [25]

2.5. Kanatsız Rüzgar Türbinleri İle Enerji Üretimi

Kanatsız rüzgar türbinleri fiziksel olarak tek dereceli lineer bir osilatör (Şekil 2.23.) ile ifade edilebilir.



Şekil 2.23. Tek dereceli lineer bir osilatör [3]

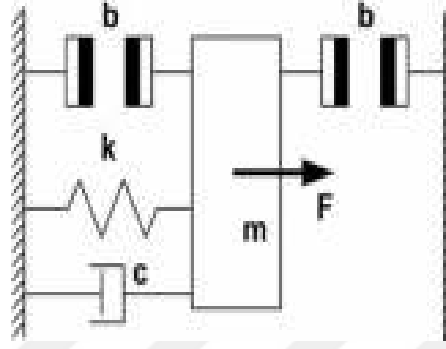
Tek dereceli lineer osilatör için dinamik hareket denklemini;

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = Fy \quad (2.2)$$

şeklinde ifade edilir. Burada m cismin kütlesi, c sönümleme katsayısı, k yay sabitini ve y osilatörün zamanın türevine bağlı yer değiştirmesini ifade etmektedir. Fy silindirin birim uzunluğuna etki eden akışkan kuvvettir;

$$F_y = \frac{1}{2} \rho U^2 D C_{akışkan} \quad (2.3)$$

denklemini ile hesaplanır. Denkleminde ρ akışkan yoğunluğu, U akışkan hızı, D silindirik cismin çapı, C akışkanın kaldırma kuvveti katsayısını ifade eder. Kalıcı mıknatıs (b) kullanılan osilatörün gösterimi Şekil 2.24'te gösterilmiştir.



Şekil 2.24. Kalıcı mıknatıs kullanılan osilatör [3]

Kanatsız rüzgar türbinlerinde enerji üretmek için kalıcı mıknatıslar ve bobinler bulunan lineer jeneratör kullanılmaktadır. Bobinde indüklenerek olan gerilim (V_{emf}) Faraday kanunu kullanılarak;

$$V_{emf} = \frac{d\Phi_m}{dt} \quad (2.4)$$

hesaplanabilir. Φ_m manyetik akı, t zamanı temsil eder.

Manyetik akı;

$$\Phi_m = \int_A B dA \quad (2.5)$$

Eşitlikte B manyetik alan, A bobin sargısının alanını ifade etmektedir. Manyetik akıyı denklem 2.4'te yerine yazacak olursak bobinde indüklenen gerilim;

$$V_{emf} = - \left(\frac{dA}{dt} B + \frac{dB}{dt} A \right) \quad (2.6)$$

denklemini ile hesaplanabilir.

2.6. Literatür Taraması

Başkır, rüzgarın girdap akımlarından dolayı oluşan titreşimleri kullanarak salınım yapan bir sistem modelleyerek 3- 3,5- 4- 4,5- 5-5,5- 6 ve 7 m/s rüzgar hızlarında testler gerçekleştirmiştir. Testlerde sistemin salının genliği, salınım frekansı ve elde edilen voltajı ölçülmüştür. Testler sonucunda rüzgar hızının artması ile birlikte sistemin salınım frekansının ve salınım genliğinin arttığı, dolayısıyla elde edilen enerjinin de arttığını gözlemlemiştir [26].

Samsudin ve Mohd, 2 m yüksekliğinde ve 0,2 m çapında silindir şeklinde pvc malzemeden oluşan bir kanatsız rüzgar türbini inşa ederek 1 m/s-10 m/s rüzgar hızı aralığında türbinin çalışma aralığını ve salınım frekansını testler yaparak tespit etmişlerdir. Test sonuçlarında türbinin 3,3 m/s gibi düşük rüzgar hızında bile çalıştığını ve rüzgar hızının artmasıyla birlikte salınım frekansının da arttığını gözlemlemiştir [27].

Salvador ve arkadaşları, sarkaç şeklinde çalışan bir kanatsız rüzgar türbini inşa etmişlerdir. Türbinde lineer jeneratörün mıknatıslarının bulunduğu kısım yay şeklinde ve disk şeklinde olmak üzere iki farklı şekilde imal edilmiştir. Türbin kontrollü ve kontrolsüz rüzgar hızlarında hem yay şeklindeki hem de disk şeklindeki jeneratör için test edilmiştir. Testler sonucunda yay şeklindeki sarkacın disk şeklindekine göre daha fazla güç ürettiğini gözlemlemiştir [28].

Akköse ve arkadaşları, kanatsız rüzgar türbininin doğal frekansının salınım hareketinin değişimini incelemek için iki malzeme üzerinde çalışma yapmışlardır. Türbin Solid Works programı kullanılarak tasarlanmış ve frekans analiz sonuçları incelenerek değerlendirmelerde bulunmuşlardır[29].

Sabab ve Mohd kanatsız rüzgar türbinin aerodinamik karakteristiğini belirleyerek optimum türbin şeklini tespit etmek için Solid Works programında iki farklı modelin 2 boyutlu ve 3 boyutlu tasarımını yapmışlardır. Daha sonra yapılan tasarımlar Ansys Fluent yazılımı kullanılarak test edilmiştir [30].

Aybey kanatsız rüzgar türbinlerinin matematiksel ve fiziksel modelleri ile detaylı analiz çalışmaları yapmıştır. Çalışmada Ansys programında kare, daire ve altıgen geometrilerine sahip cisimlerin simülasyonunu yapmıştır Elde edilen veriler yatay eksenli rüzgar türbinleri ile karşılaştırılmış ve kanatsız rüzgar türbinlerinin avantaj ve dezavantajlarını yorumlamıştır [31].

Ghode ve arkadaşları bir kanatsız rüzgar türbini prototipi yaparak test etmişlerdir. Test sonucunda kanatsız rüzgar türbini %30-40 verimli klasik türbinlere kıyasla %45'e varan verim elde edilebileceğini tespit etmişlerdir. Elde etmiş oldukları bulgular ışığında bu türbinlerin evler ve şebekeden uzak tüketimler için daha uygun olacağını belirtmişlerdir [32].

Sami ve arkadaşları kanatsız rüzgar türbinlerini konut alanlarında kullanmak üzere modernize ederek evlerin balkonlarına veya binaların çatılarına yerleştirilebilecek şekilde hareket ettirilebilir hale getiren, taşınabilir bir tasarım yapmışlardır. Tasarımda türbini hareket ettirilebilir hale getiren bir istasyon oluşturulmuştur.



3.MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan çalışmada, rüzgar kaynaklı girdap akımlarının sebep olduğu salınım hareketini kullanarak elektrik enerjisi üreten bir kanatsız rüzgar türbini tasarlanmıştır. Bu rüzgar türbini klasik türbinlerde bulunan döner alana sahip değildir. Türbin rüzgar akışı ile aynı doğrultuda salınım hareketi yapmaktadır. Önceki çalışmalar incelendiğinde en fazla girdap akımına maruz kalan geometrik şeklin silindir olduğu görülmüş ve türbin düz silindir biçiminde tasarlanmıştır. Silindir yüzeyine nüfuz eden girdap akımları tasarlanan sistemin doğal frekansını aştığı anda silindir salınım hareketi yapmaya başlar. Yapılan araştırmalar sonucunda türbinin salınım hareketinin, cismin kütlesine, akışkanın cinsine, yay katsayısına ve sönümleme oranına bağlı olduğu görülmüştür.

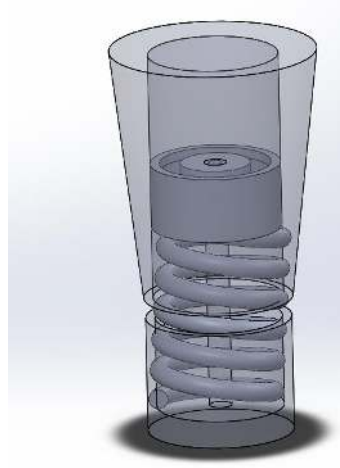
Türbinde elektrik üretimi döner bir hareket bulunmadığı için lineer jeneratör ile sağlanmaktadır. Türbinde kullanılan lineer jeneratörde sabit mıknatıslar ve bakır sargılardan oluşan bobinler kullanılmaktadır. Jeneratörde bobin veya bobin gurubu sabit bir şekilde, mıknatıslar ise salınım yapan üst parçaya eklenmiş olarak dizayn edilmiştir.

Bu çalışmada türbinin tasarımı SolidWorks 2019 programında 3 boyutlu olarak yapılmıştır. Yine SolidWorks programı içerisinde bulunan FlowSimulation programı yardımıyla akış testi yapılarak tasarımlar üzerinde oluşan girdaplar incelenmiştir.

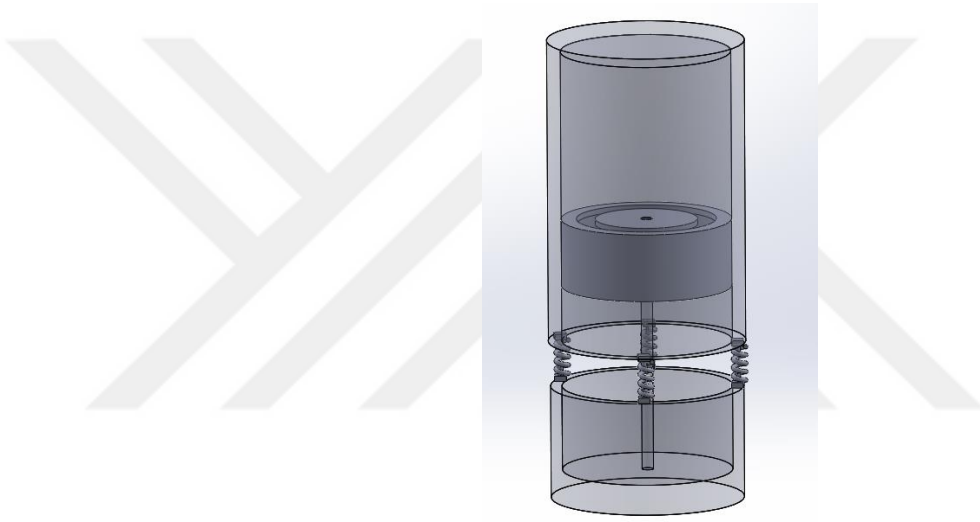
3.1. Türbin Tasarımı

Bu çalışmada kanatsız rüzgar türbini için farklı tasarımlar yapılmıştır. Tasarlanan türbinler üzerine araştırmalar ve testler yapılarak çıkan sonuçlar incelenmiştir.

Tasarlanan ilk türbin (Şekil 3.1) çekme-germe yayları kullanılarak salınım hareketi yapacak şekilde tasarlanmıştır. Türbin konik bir biçimde tasarlanmış olup sabit alt parça, yere plastik çubuk ile sabitlenmiş bobin, hareketli üst parça ve hareketi sağlayacak olan yaydan oluşmaktadır. Yapılan literatür araştırması sonucunda silindir geometrisinin daha verimli olduğu tespit edilmiş, kullanılacak yayın büyüklüğü sebebi ile temininin zorluğu da göz önüne alınarak tasarım geliştirilerek Şekil 3.2.'deki model tasarlanmıştır.



Şekil 3.1. Hareketli kısmın konik şekilde tasarlanmış hali



Şekil 3.2. Silindir geometrisinde tasarlanmış türbin

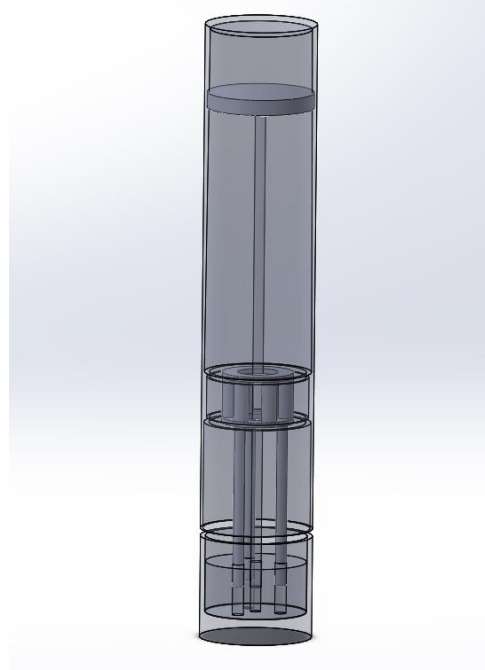
Şekil 3.2.'deki türbin silindir biçiminde, jeneratörde bobinler zemine plastik çubuk yardımıyla sabitlemiş, neodyum mıknatıslar ise hareketli üst parçaya eklenmiş olarak tasarlanmıştır. Türbinin salınım hareketini yapabilmesi için yaylar kullanılması planlanmıştır.

Önceki çalışmalar incelendiğinde kanatsız rüzgar türbinlerinde hareketi sağlamak için türbinin orta kısmında zemine sabitlenmiş karbon, çelik veya plastik çubuk kullanıldığı tespit edilmiştir. Jeneratörde ise bu çubuğun hareketini engellemeyecek şekilde bobin veya bobin gurubu tasarlandığı görülmüştür. Şekil 3.2.'deki türbinde kullanılacak olan yapı malzemesinin kalınlığı ve yapılan önceki çalışmalar değerlendirilerek Şekil 3.2.'deki tasarım geliştirilmiş ve Şekil 3.3. (Türbin-1) ve Şekil 3.6. da (Türbin-2) verilmiş olan tasarımlar yapılmıştır.

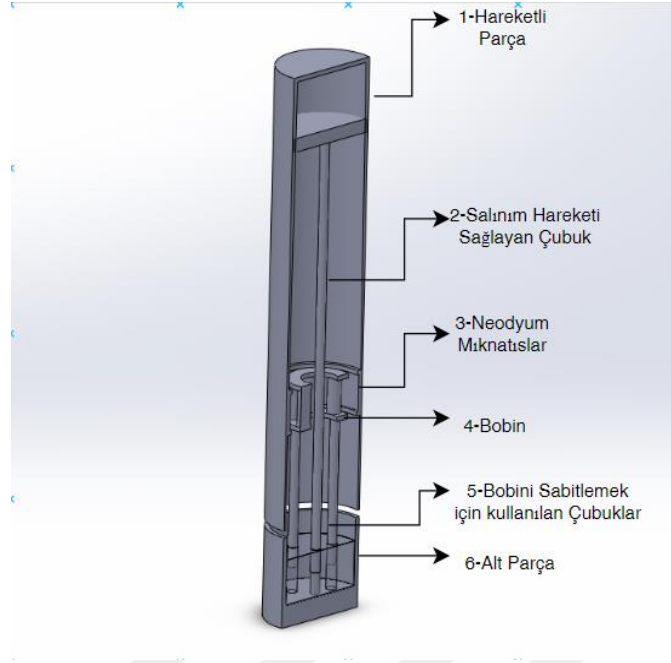


Şekil 3.3. Türbinin önden görünüşü

Şekil 3.3.'deki türbin 110 cm boyunda 20 cm çapında silindir şeklinde tasarlanmıştır. Tasarım temel olarak sabit alt parça, hareketli üst parça; jeneratör ve plastik çubuklardan oluşmaktadır. Tasarımın Şekil 3.2'de şeffaf görünüşü ve Şekil 3.3'te kesit görünüşü verilmiştir.

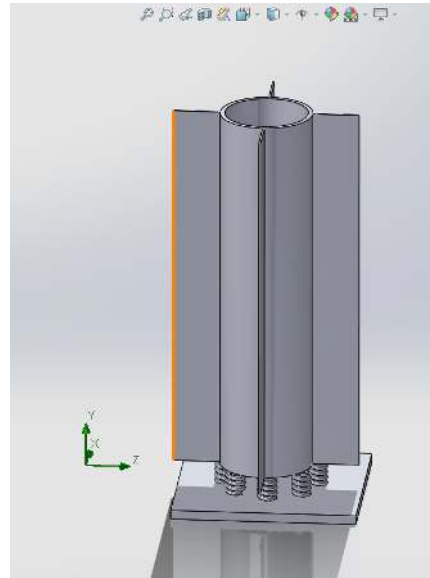


Şekil 3.4. Tasarımın Şekil 3.2'de şeffaf görünümü



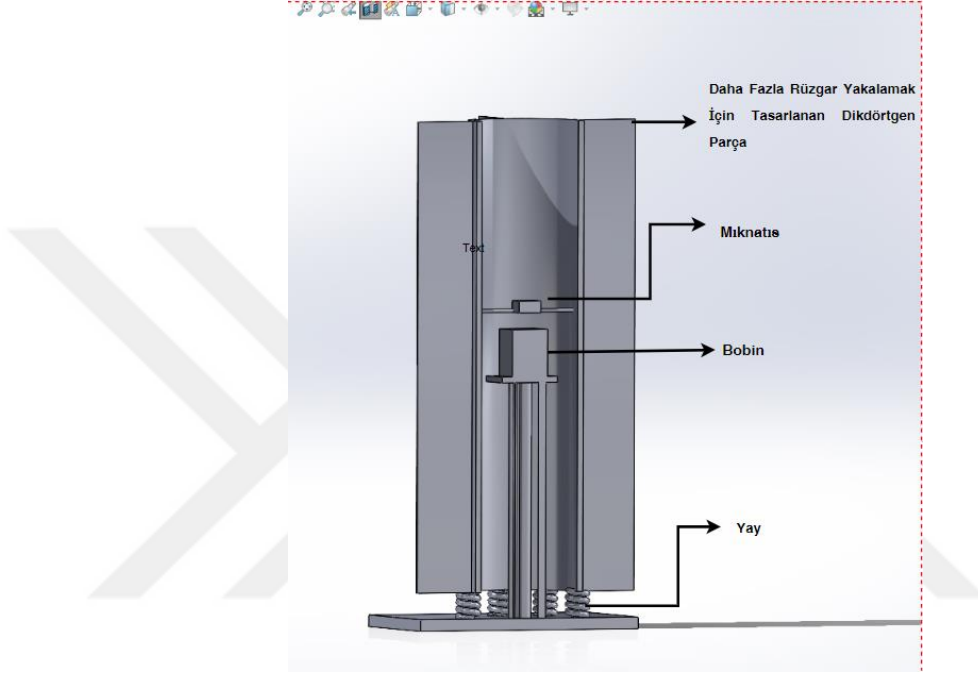
Şekil 3. 5. Tasarımın kesit görünüşü

Şekil 3.5.'deki tasarımda türbin; rüzgar kaynaklı girdap akımları 1 numaralı üst parçaya nüfuz etmesi ile birlikte 2 numaralı çubuk yardımı ile hareket etmeye başlamaktadır. Oluşan hareket türbin için tasarlanmış olan jeneratörde elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Tasarlanan jeneratörde sabit mıknatıslardan ve bobinden oluşmaktadır. Bobin veya bobin gurubu yerden 40 cm yükseklikte 5 numaralı çubuklar ile sabit tutulmaktadır. Neodyum mıknatıslar bobinin tam karşısına gelecek şekilde hareketli üst parçaya sabitlenmiştir.



Şekil 3.6. Türbinin önden görünüşü

Şekil 3.6’da tasarımı görülmekte olan türbinde gövde silindir şeklinde tasarlanmış olup daha fazla rüzgar maruz kalması için dört adet sabit dikdörtgen parça eklenmiştir. Türbin 85 cm uzunluğunda ve 20 cm çapındadır. Dikdörtgen parçalar ise 45 cm uzunluğunda, 12 cm eninde ve 0.04 cm kalınlığındadır. Türbinde salınım hareketi zemin ile arasına yerleştirilen yaylar ile sağlanmaktadır. Türbinin jeneratör kısmı zemine sabitlenmiş bobin ve bir adet neodyum mıknatıstan oluşmaktadır. Şekil 3.7’de tasarımın kesit görüntüsü verilmiştir.

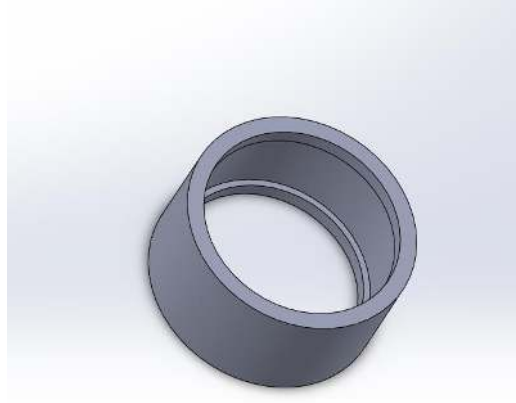


Şekil 3.7. Türbinin kesit görünüşü

3.2. Türbin-1’in Modellenmesi

3.2.1. Jeneratör Tasarımı

Türbin için tasarlanan jeneratörde 30x10x2 mm boyutlarında neodyum mıknatıslar kullanılmıştır. Mıknatıslar yerden 40 cm yükseklikte 10cm boyunda 20 cm çapında silindir şeklinde tasarlanan parçaya sabitlenerek hareketli parça ile birleştirilmesi sağlanmaktadır. Mıknatısları sabit bir şekilde durmasını sağlayacak olan parçanın SolidWork çizimi Şekil 3.6.’da üç boyutlu yazıcı ile basılmış hali Fotoğraf 3.1.’de verilmiştir.



Şekil 3. 8. Mıknatısların yerleştirileceği parçanın tasarımı

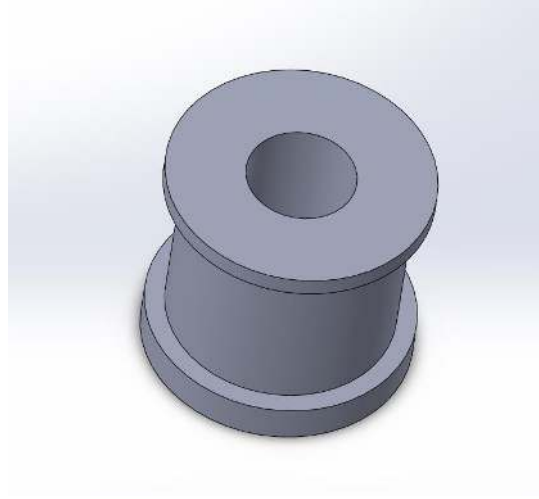


Fotoğraf 3. 1. Mıknatısların yerleştirileceği parça

Jeneratörde mıknatısların bulunduğu konum ve parça değişmemek kaydıyla bobin kısmı tek parça ve altı parçadan oluşan bobin olmak üzere iki farklı şekilde tasarlanmıştır.

3.2.1.1. Tek Parçadan Oluşan Bobin

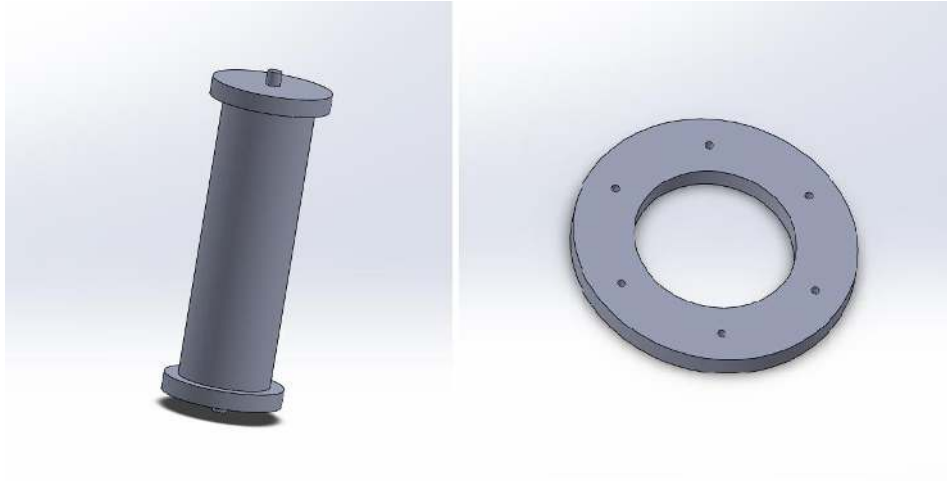
Tek parçadan oluşan bobin; 13 cm çapında 12 cm uzunluğunda, türbinin hareketini sağlayan çubuğun hareketini yapabilmesi ve türbinin orta kısmına sabitlenebilmesi için orta kısmında 5,5 cm boşluk olacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 3.7.'de bobinin tasarımı verilmiştir.



Şekil 3. 9. Bobinin 3 boyutlu tasarımı

3.2.1.2 Altı Parçadan Oluşan Bobin

Altı parçadan oluşan bobin; bakır telin sarılacağı 3,5 cm çapında 9 cm uzunluğunda silindir şeklindeki altı adet silindir parçadan ve bu parçaları bir arada tutacak olan 14 cm çapında 2,5 cm kalınlığında iki adet diskten oluşmaktadır. Parçaların diskler arasına montajının kolay yapılabilmesi için parça üzerlerinde çıkıntılar ve disk yüzeylerinde oyuklar tasarlanmıştır. Yapılan tasarımlar Şekil 3.8.'de görülmektedir.

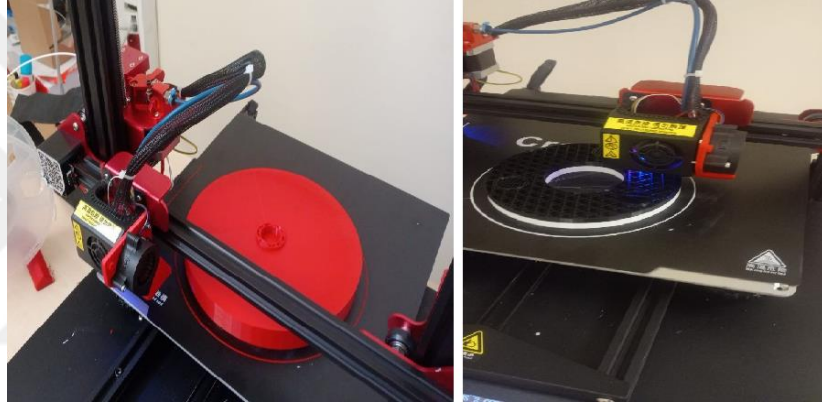


Şekil 3. 10. Bobin ve disk tasarımı

3.2.2. Türbin Parçalarının İmali

Çalışmada tasarlanan türbinin modellenmesinde; hareketli üst parça ve sabit alt parça için 100 cm uzunluğunda ve 20 cm çapında pvc boru kullanılmıştır. Bobinlerin zemine sabitlenmesi için üç adet 40 cm uzunluğunda 2,5 cm çapında plastik borular kullanılmıştır. Türbinin hareketini sağlamak için 110 cm uzunluğunda ve 2,5 çapında plastik boru kullanılmıştır. Bobin parçaları, mıknatıs yuvası ve hareketli sağlayan çubuk ile hareketli parça arasındaki bağlantıyı sağlayan kısım PLA Filament kullanılarak 3 boyutlu yazıcıda basılmıştır.

Türbinin imali için ilk önce bobin parçaları ve mıknatıs yuvası Bitlis Eren Üniversitesi İnsansız Hava Araçları ve Robotik atölyesinde bulunan 3 boyutlu yazıcı yardımıyla basılmıştır. Bu baskı işlemi Fotoğraf 3.2.'de görülmektedir.



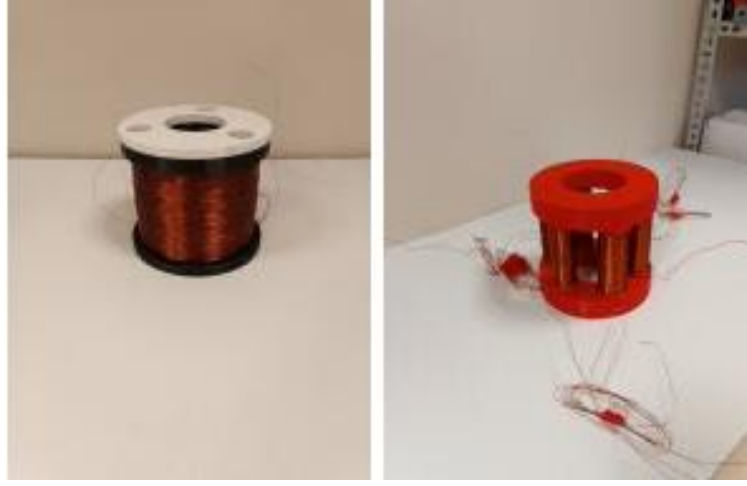
Fotoğraf 3. 2. Türbin parçalarının basımı

3.2.2.1. Altı Parçadan Oluşan Bobinin İmali

Bobinlerin imaline ilk önce altı parçadan oluşan bobin başlanılmıştır. 3 boyutlu yazıcıda basılan parçaların her biri $0,5 \text{ mm}^2$ kesitindeki bakır ile her biri 540'ar tur sarılmıştır. Daha sonra bobinlerin bir arada durabilmesi için tasarlanan disk yuvalarına yerleştirilmiştir.

3.2.2.2. Tek Parçadan Oluşan Bobinin İmali

İkinci tasarım olan 13 cm çapındaki tek parçadan oluşan bobine ise 0,5 mm kesitinde bakır ile 540 sarım yapılmıştır. Fotoğraf 3.3. bobinlerin son halleri verilmiştir.



Fotoğraf 3. 3. Bobinlerin son halleri

3.2.3. Türbin Montajı

Türbinin montajı 40x40x2 cm boyutlarında tahta platform üzerine yapılmıştır. Platform merkezine ve merkezden 5 cm uzaklığa aralarında 120 derece açılı olacak şekilde 2,5 cm'lik montaj delikleri açılmıştır. Açılan deliklere plastik boruların montajı yapılmıştır. Daha sonra bobinler platformdan 40cm yükseklikte plastik borular üzerine yerleştirilmiştir (Fotoğraf 3.5.).



Fotoğraf 3.4. Bobin montajı

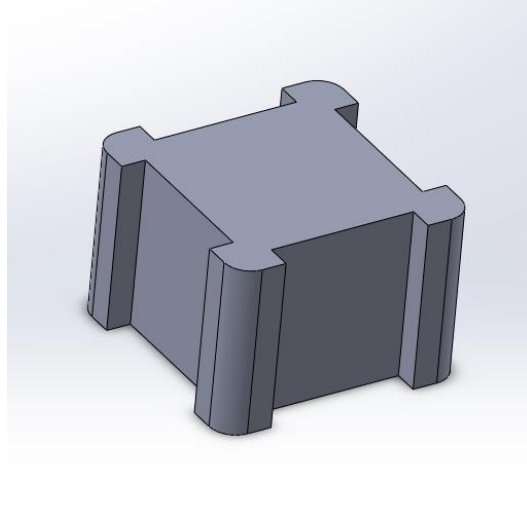
Mıknatıslar Fotoğraf 3.1.'deki parçaya yapıştırılarak hareketli üst kısım ile birleştirilmiştir. Daha sonra 20 cm çapındaki pvc borudan oluşan üst kısım Fotoğraf 3.4.'deki parçalar ile birleştirilmiştir (Fotoğraf 3.5.).



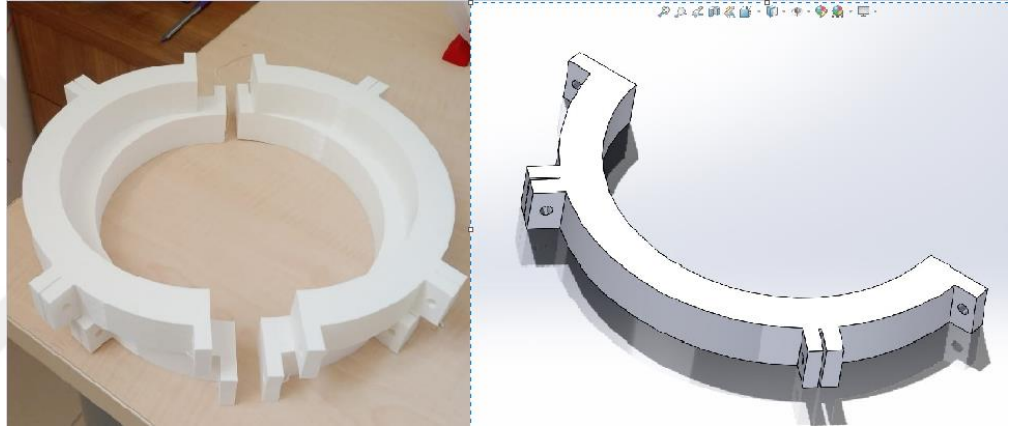
Fotoğraf 3.5.

3.3. Türbin-2'nin Modellenmesi

Türbinin gövdesi 85 cm uzunluğunda ve 20 cm çapında pvc borudan oluşmaktadır. Bu gövde türbinin salınım hareketini yapabilmesi için 4 cm uzunluğunda, 2 cm çapında ve 8 spiriden oluşan yaylar üzerine monte edilmiştir. Türbin Jeneratörü 80x80x80 mm küp şeklindeki bobinden (Şekil 3.11. tasarımı verilmiştir.) ve neodyum mıknatıstan oluşmaktadır. Bobin 0,5 mm² bakır tel ile 540 sarım yapılarak oluşturulmuştur. Bobin plastik borular yardımıyla yerden 40 cm yükseklikte türbinin merkezine yerleştirilmiştir. Neodyum mıknatıs ise bobinin 2 cm üstüne gövdeye entegre edilmiştir. Türbinin daha fazla rüzgara maruz kalmasını sağlamak adına dört adet 45 cm uzunluğunda, 12 cm genişliğinde ve 0.1 cm kalınlığında dikdörtgen levhalardan kanatlar üretilmiştir. Bu kanatlar türbine Şekil 3.12. de tasarlanmış ve 3 boyutlu yazıcıda basılan parçalar kullanılarak monte edilmiştir.



Şekil 3.11. Küp Şeklinde tasarlanan bobin



Şekil 3.12. Saç levhalar için basılan parça

3.3.1. Türbin Parçalarının Montajı

Türbin montajında ilk olarak tahta platforma bobini gerekli konumda tutmak için kullanılan plastik boruların yerleŐtirilmesi ile başlanılmıştır. Daha sonra bobin platforma sabitlenmiş olan borular üzerine yerleştirilmiştir. Türbinin gövde kısmına bobinin denk geleceği konumdan 2 cm y kseklieğe neodyum mıknatısın entegre edilmiştir. Tahta platform ve gövde arasına hem salınım hareketini sağlayan hem de gövdeyi taşıyacak olan yaylar konulmuŐtur. Son olarak türbinin daha fazla rüzgara maruz kalmasına yardımcı olacak kanatçıklar Şekil 3.11. deki parçayla birlikte gövdeye eklenerek montaj işlemi tamamlanmıŐtır. Fotoğraf 3.6. da türbinin montaj aŐamalarına ait örnek görseller verilmiştir.



Fotoğraf 3.6. Türbin montajı

3.4. Test Düzenegi

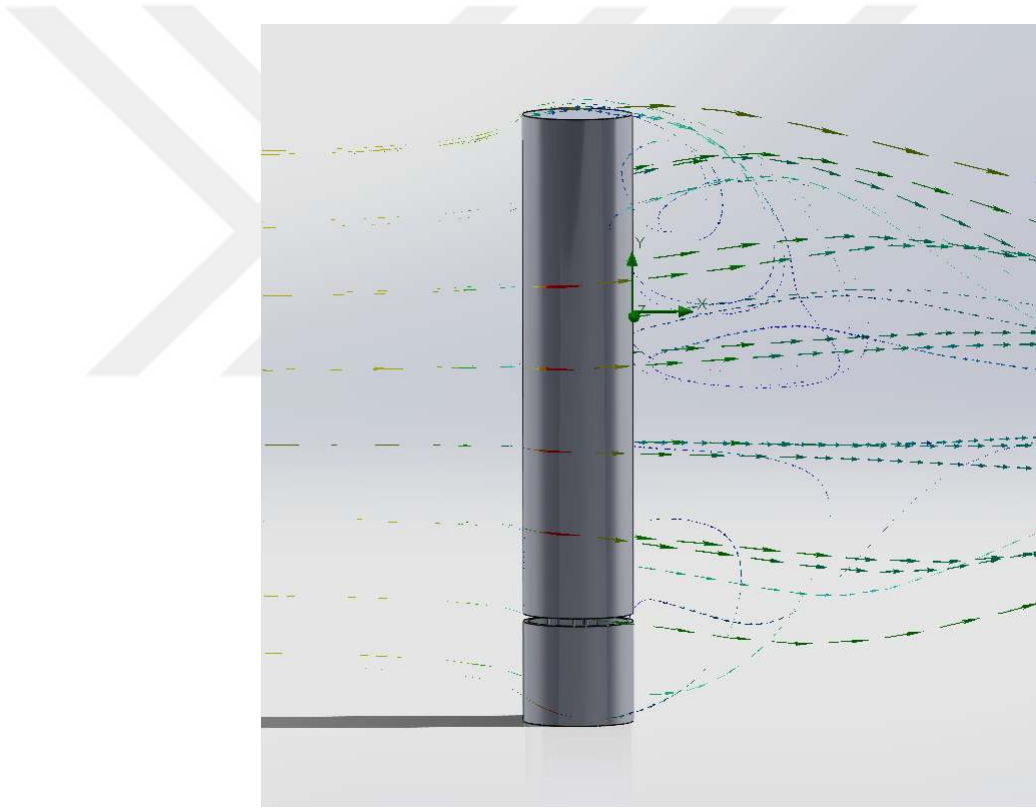
Modellenen türbinleri test etmek için sabit hızlarda rüzgar akışı sağlayabilecek bir test düzenegi hazırlanmıştır. Test düzenegi Bitlis Eren Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnsansız Hava Araçları ve Robotik atölyesinde bulunan malzemeler kullanılarak oluşturulmuş ve testler bu atölyede yapılmıştır. Bu düzenek metal profil üzerine monte edilmiş 940 kv 2312 drone motorlardan, 30 A esclerden, 10 inç karbon fiber pervanelerden, 4s 2100 mAh lipo bataryadan, ATS9s kumanda ve alıcısından oluşmaktadır. Drone motorları dönüş yönleri aynı olacak şekilde metal profilin sağına ve soluna karşılıklı olarak monte edilmiştir. Batarya, esc ve kumanda alıcısı metal profilin gövdesine monte edilmiştir. Eklerde test düzenegine ait fotoğraf ve şema verilmiştir.

4.BULGULAR

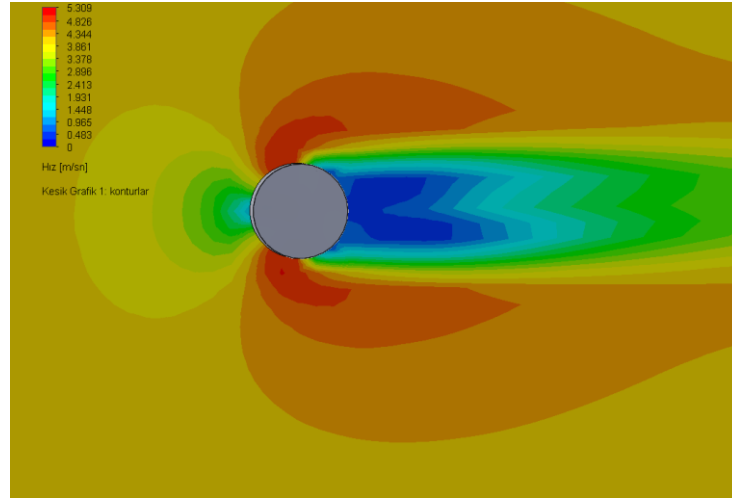
Türbinlerin 3 boyutlu tasarımları SolidWorks Flow Simulation programında 4 m/s akış hızında analiz edilmiştir. Analiz zamana bağımlı 10 sn akış türünde, 101325 Pa basınçta ve 293,2 K sıcaklık parametrelerinde gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda türbinler üzerinde oluşan akışın yörüngeleri ve hız konturları incelenmiş ve karşılaştırma yapılmıştır.

Türbin-1'in 4 m/s Akış Hızında Analiz

Akış yörüngeleri incelendiğinde türbin yüzeyine çarpan akışın türbinin arka kısmında girdap akımları oluşturduğu görülmüştür. Şekil 4.1.'de türbine etki eden akışın yörüngeleri ve Şekil 4.2.'de hız konturları verilmiştir.



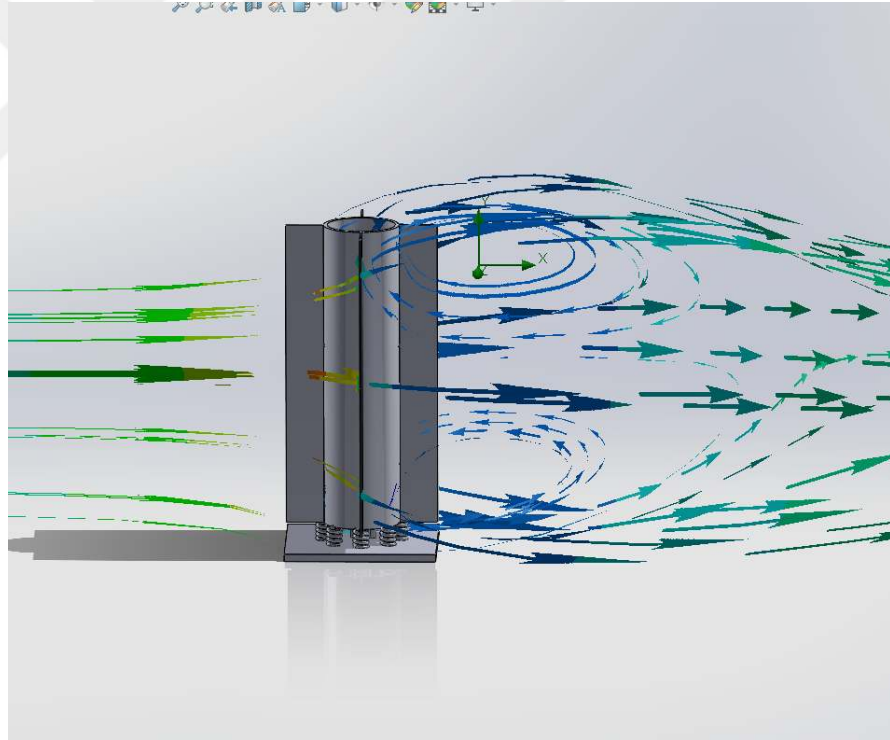
Şekil 4.1. 3 m/s akış hızında türbine etki eden akışın yörüngeleri



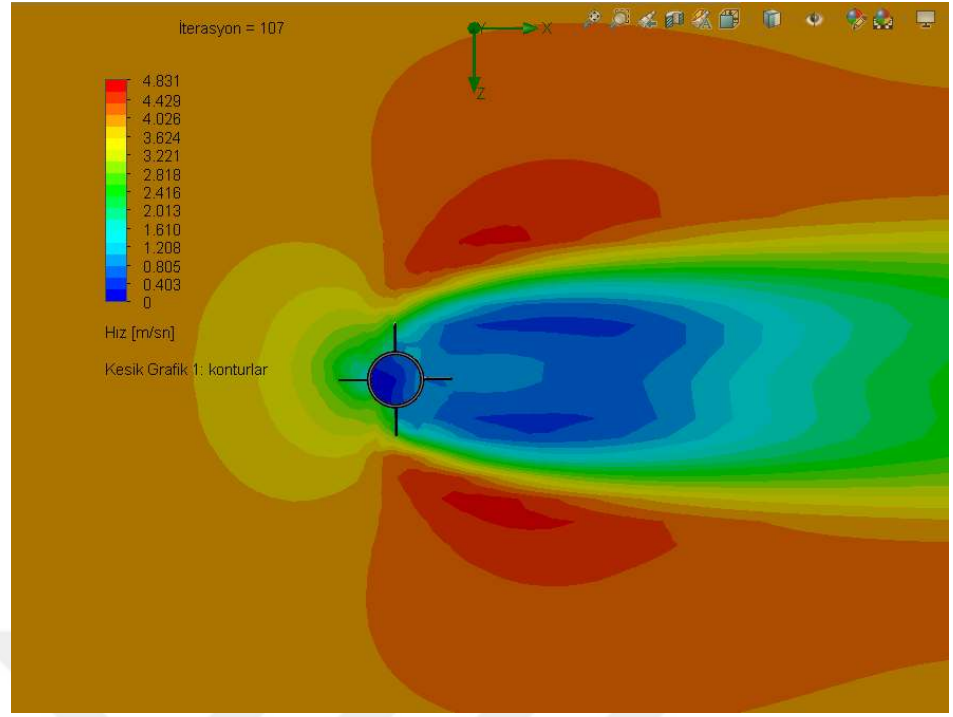
Şekil 4.2. Hız konturları

Türbin-2'in 4 m/s Akış Hızında Analiz

4 m/s akış hızında türbine etki eden akışın yörüngeleri Şekil 4.3. de ve hız konturları Şekil 4.4. de verilmiştir.



Şekil 4.3 5 m/s akış hızında türbine etki eden akışın yörüngeleri



Şekil 4.4. Hız konturları

Analiz sonuçları incelendiğinde Türbin-2 için yapılan tasarımın Türbin-1 için yapılan tasarımdan daha fazla ve daha düzenli girdap akımlarına maruz kaldığı görülmüştür.

4.2. Deneysel Çalışmalar

Montajı tamamlanan türbinler oluşturulan test düzeneği kullanılarak farklı rüzgar hızlarında test edilerek elde edilen gerilim değerleri ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Testlere ait veriler ve görseller her türbin için ayrı olarak verilmiştir.

4.2.1. Türbin-1'in Test Sonuçları

Tek Parçadan Oluşan Bobin (Bobin 1) Kullanımı Sonuçları

U=0,9 m/s Akış Hızında

Test sonucunda türbinin salınım hareketi yapmadığı tespit edilmiş ve multimetrede AC gerilim değeri 0 Volt (V) ölçülmüştür. Anemometre ve multimetrede ölçülen değerler Fotoğraf 4.2.'de verilmiştir.



Fotoğraf 4.1. 0,9 m/s akış hızındaki ölçüm değeri

U=2,6 m/s Akış Hızında

2,6 m/s akış hızında yapılan deneyde türbinin salınım hareketi yapmadığı tespit edilmiştir. Multimetrede AC gerilim değeri 0 V olarak görülmüştür. Anemometre ve multimetrede ölçülen değerler Fotoğraf 4.3.'de verilmiştir.



Fotoğraf 4.2. 2,6 m/s akış hızındaki ölçüm değeri

U=3 m/s Akış Hızında

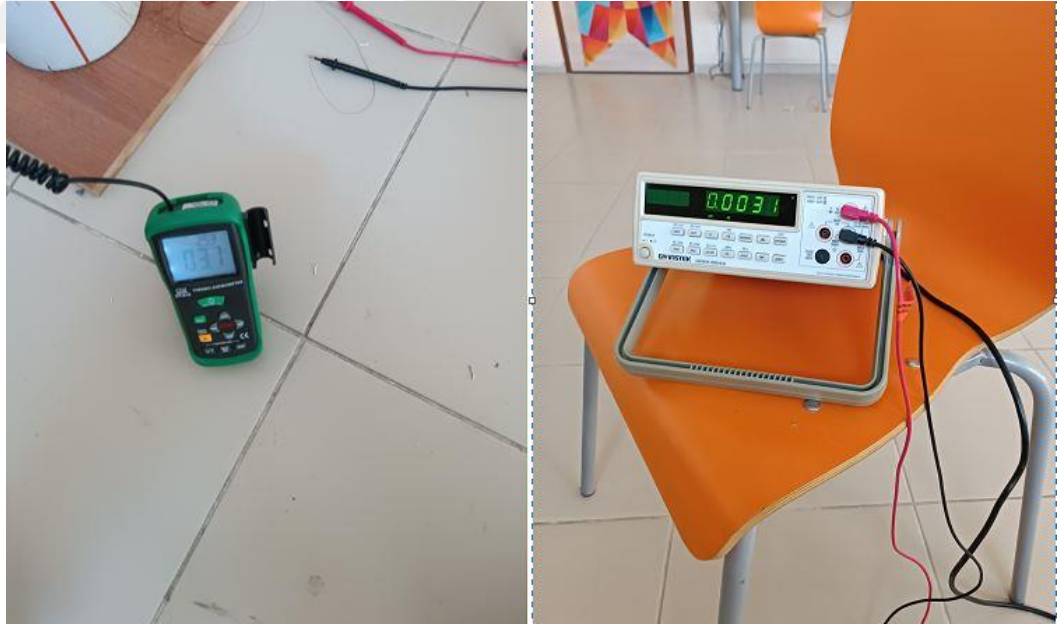
3 m/s akış hızında yapılan deneyde türbinin salınım hareketi yapmaya başladığı görülmüş ve multimetrede AC 16 mV değeri ölçülmüştür. Fotoğraf 4.4'de anemometre ve multimetrede ölçülen değerler verilmiştir.



Fotoğraf 4.3. 3 m/s akış hızındaki ölçüm değeri

U=3,7 Akış Hızında

3,7m/s akış hızında yapılan deneyde salınım hareketinin artmaya başladığı gözlemlenmiştir. Multimetrede AC 31 mV ölçülmüştür. Fotoğraf 4.5’de anemometre ve multimetrede ölçülen değerler verilmiştir.



Fotoğraf 4.4. 3,7 m/s akış hızındaki ölçüm değeri

U=4,1 m/s Akış Hızında

4,1 m/s akış hızında yapılan deneyde multimetrede AC 79 mV değeri ölçülmüştür. Fotoğraf 4.6’de anemometre ve multimetrede ölçülen değerler verilmiştir.



Fotoğraf 4.5. 4,1 m/s akış hızındaki ölçüm değeri

Altı Parçadan Oluşan Bobin (Bobin 2) Kullanımı Sonuçları

Türbinine altı parçadan oluşan bobin monte edilerek testleri yapılmış ve test sonuçları kaydedilmiştir.

U=0,9 m/s Akış Hızında

Test sonucunda türbinin salınım hareketi yapımadığı tespit edilmiş ve multimetrede AC gerilim değeri 0 Volt (V) ölçülmüştür. Anemometre ve multimetrede ölçülen değerler Fotoğraf 4.7.'de verilmiştir.



Fotoğraf 4.6. 0,9 m/s akış hızındaki ölçüm değeri

U=2 m/s Akış Hızında

2 m/s akış hızında yapılan deneyde türbinin salınım hareketi yapımadığı tespit edilmiştir. Multimetrede AC gerilim değeri 0 V olarak görülmüştür. Anemometre ve multimetrede ölçülen değerler Fotoğraf 4.8.'de verilmiştir.



Fotoğraf 4.7. 2 m/s akış hızındaki ölçüm değeri

U=3,2 m/s Akış Hızında

3 m/s akış hızında türbinin salınım hareketi yapmaya başladığı tespit edilmiştir. 3,2 m/s akış hızında ise multimetrede AC 19 mV gerilim değeri ölçülmüştür. Ölçülen değerler Fotoğraf 4.9.'da verilmiştir.



Fotoğraf 4.8. 3,2 m/s akış hızındaki ölçüm değerleri

U=4,3 m/s Akış Hızında

4,3 m/s akış hızında türbinin salınım hareketinin arttığı gözlemlenmiştir. Multimetrede AC 53 mV değeri ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları Fotoğraf 4.10.'da verilmiştir.



Fotoğraf 4.9. 4,3 m/s akış hızındaki ölçüm değerleri

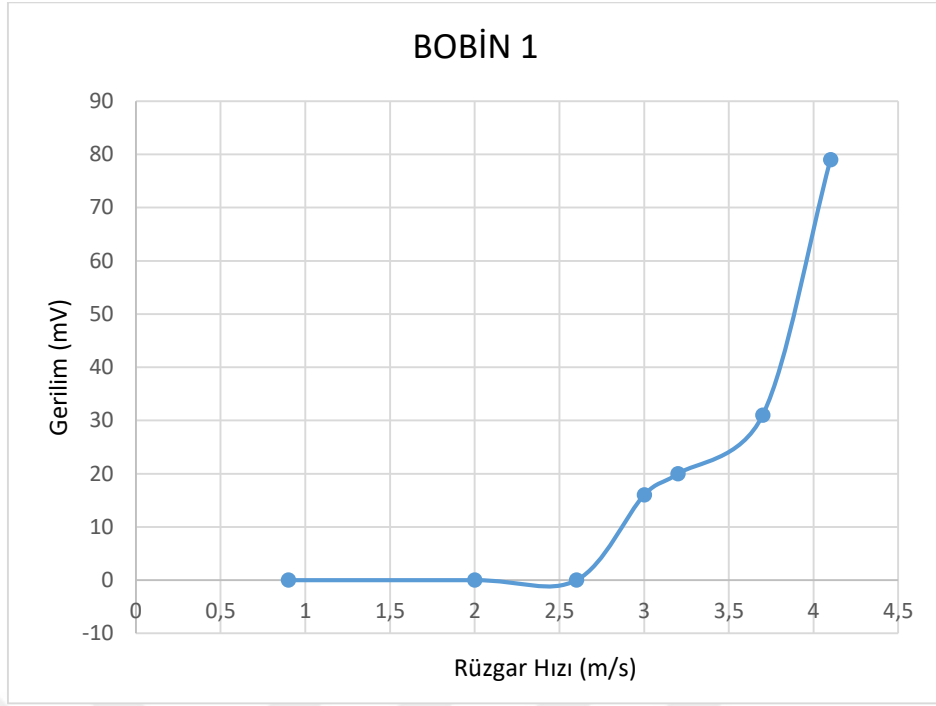
U=4,8 m/s Akış Hızında

4,8 m/s akış hızında multimetrede AC 60 mV değeri ölçülmüş olup Fotoğraf 4.11.'da verilmiştir.

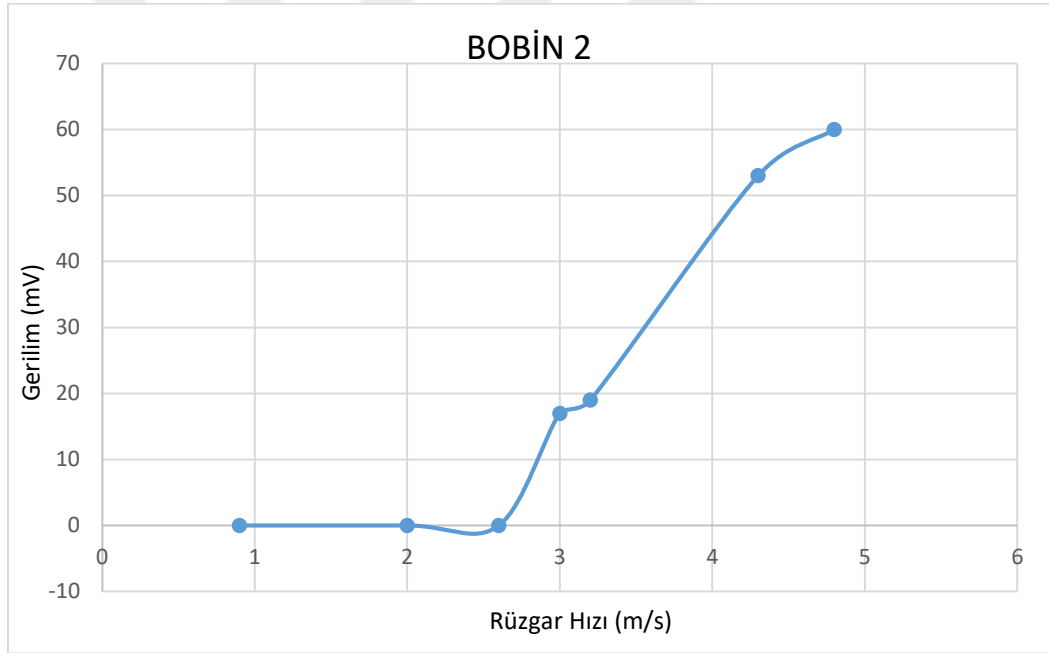


Fotoğraf 4.10. 4,8 m/s akış hızındaki ölçüm değerleri

Türbin -1'de tek parçadan oluşan(bobin 1) ve altı parçadan oluşan (bobin 2) bobinlerin her biri için testler yapılmış olup kaydedilen verilere ait grafikler Şekil 4.5. ve 4.6 da



Şekil 4.5. Rüzgar akışı altında üretilen gerilim



Şekil 4.6. Rüzgar akışı altında üretilen gerilim

Sonuçlar incelendiğinde gerilim üretiminin her iki bobinde de 3 m/s rüzgar hızında başlayarak rüzgar hızı artışına bağlı olarak arttığı görülmüştür. Türbin-1 için yapılan testlerde tek parçadan oluşan bobinin diğer bobine nazaran daha fazla gerilim ürettiği tespit edilmiştir.

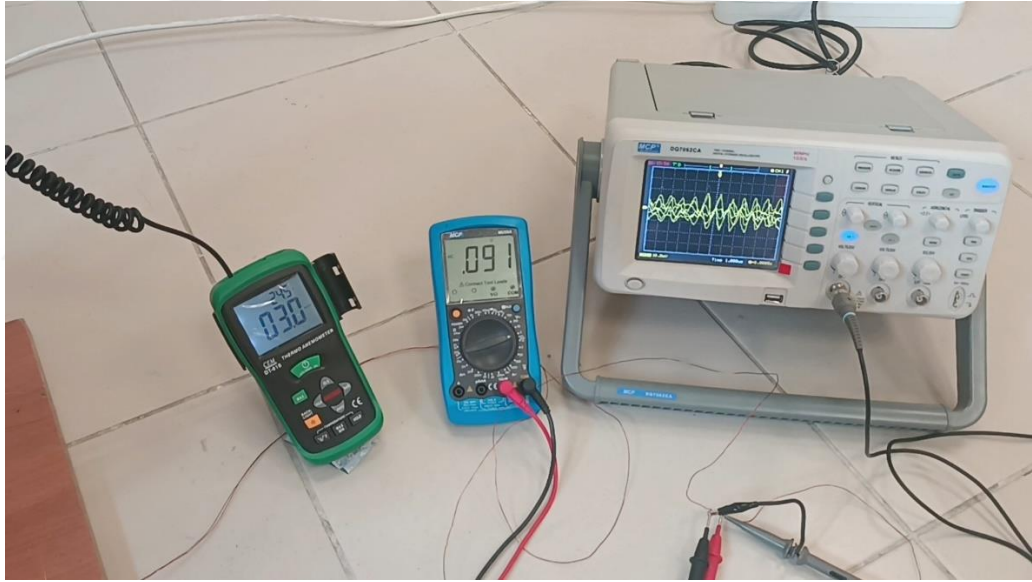
4.2.2. Türbin-2'nin Test Sonuçları

Türbin-2 3-4,2-4,4-5-6-6,4 m/s akış hızlarında test edilmiş olup akış hızları anemometre ve elde edilen gerilim değerleri multimetre yardımıyla ölçülmüştür. Elde edilen gerilim değerlerine ait dalga grafiklerini gözlemek için ölçüme osiloskop eklenmiştir. Ölçüm yapılan değerler fotoğraflanarak kaydedilmiştir.

Testte kullanılan osiloskoptan USB bellek ile bazı gerilim dalga formlarına ait değerler csv dosya formatında alınarak excell ortamında işlenmiş ve gerilim dalga formları ortaya çıkarılmıştır. Osiloskoptan alınan veriler anlık değerleri yansıtmaktadır.

U=3 m/s Akış Hızında

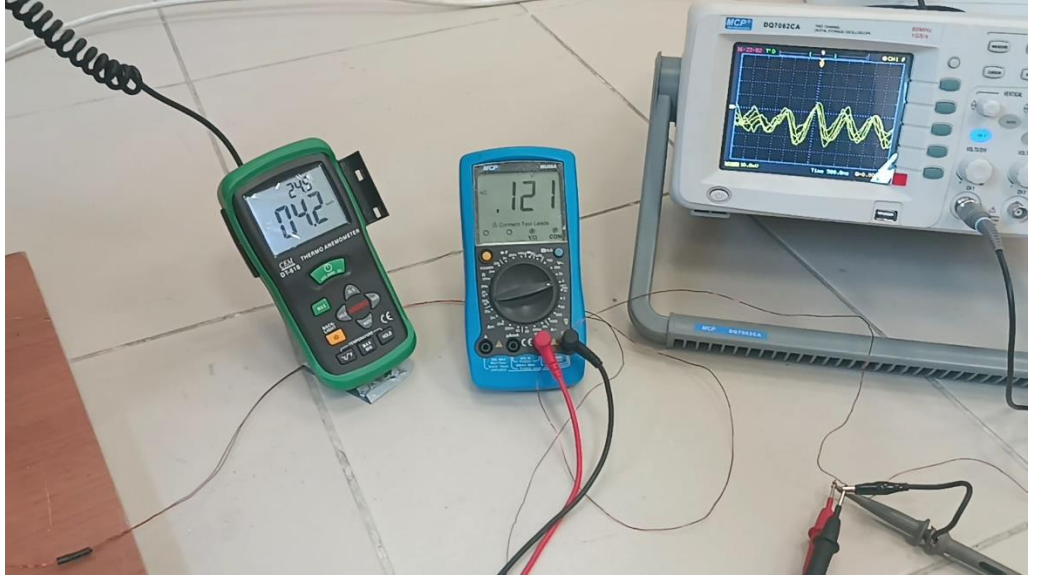
3 m/s akış hızında türbinin salınım hareketine başladığı ve multimetrede gerilim değeri okunduğu gözlemlenmiştir. 3 m/s akış hızında AC gerilim değeri 91 mV olarak ölçülmüştür. Fotoğraf 4.11. de ölçüm değerleri verilmiştir.



Fotoğraf 4.11. 3 m/s akış hızındaki ölçüm değerleri

U=4,2 m/s Akış Hızında

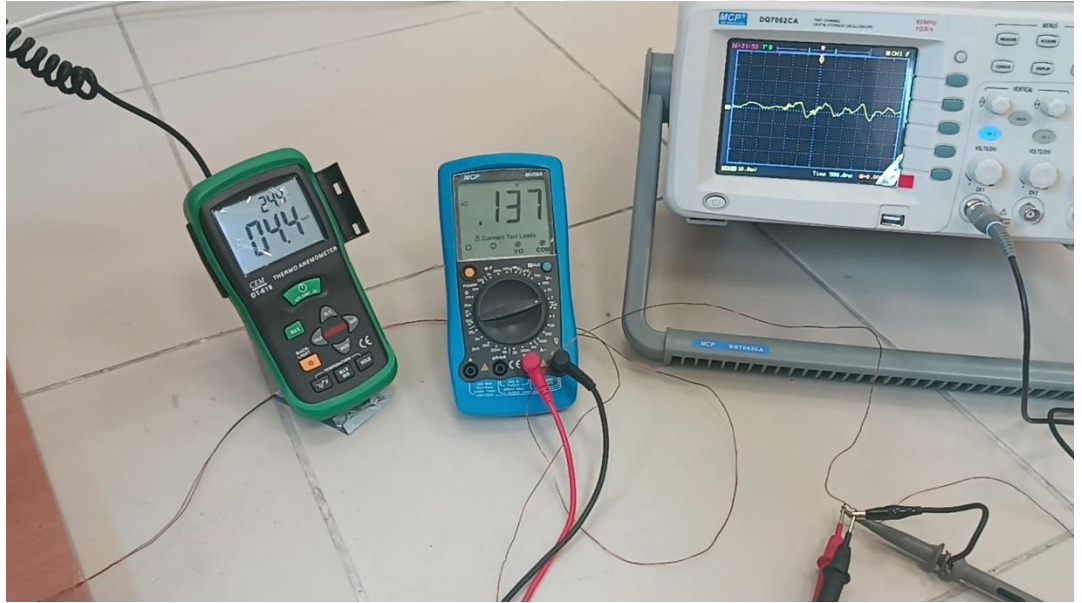
4,2 m/s akış hızında türbinin salınım hızının arttığı gözlemlenmiştir. Multimetrede AC gerilim değeri 121 mV olarak ölçülmüştür. Fotoğraf 4.12. de ölçüm değerleri verilmiştir.



Fotoğraf 4.12. 4,2 m/s akış hızındaki ölçüm değerleri

U=4,4 m/s Akış Hızında

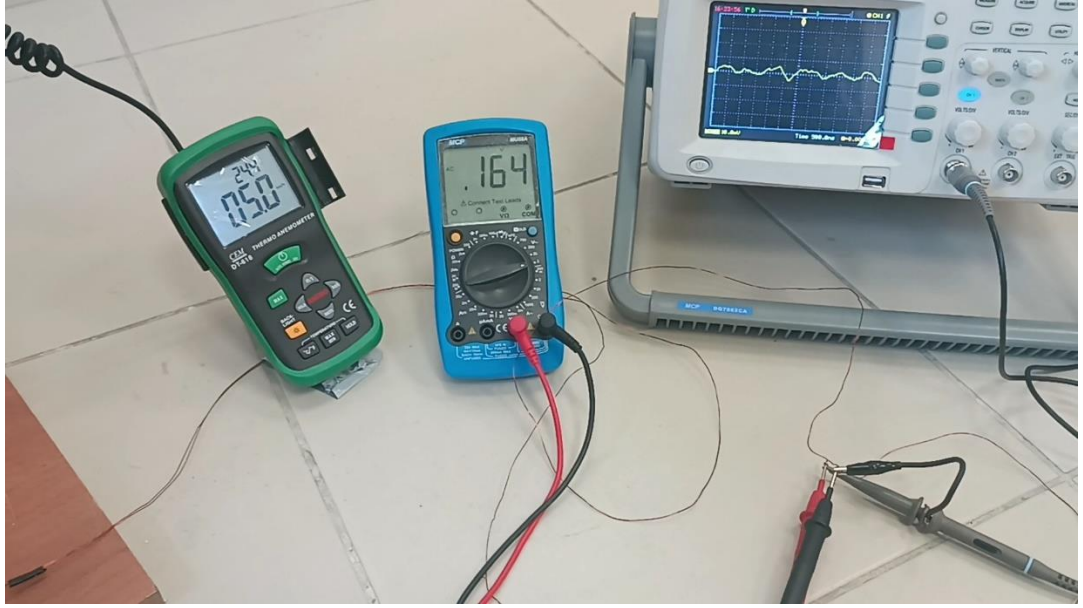
4,4 m/s akış hızında yapılan testte multimetrede AC gerilim değeri 137 mV olarak ölçülmüştür. Fotoğraf 4.13. de ölçüm değerleri verilmiştir.



Fotoğraf 4.13. 4,4 m/s akış hızındaki ölçüm değerleri

U=5 m/s Akış Hızında

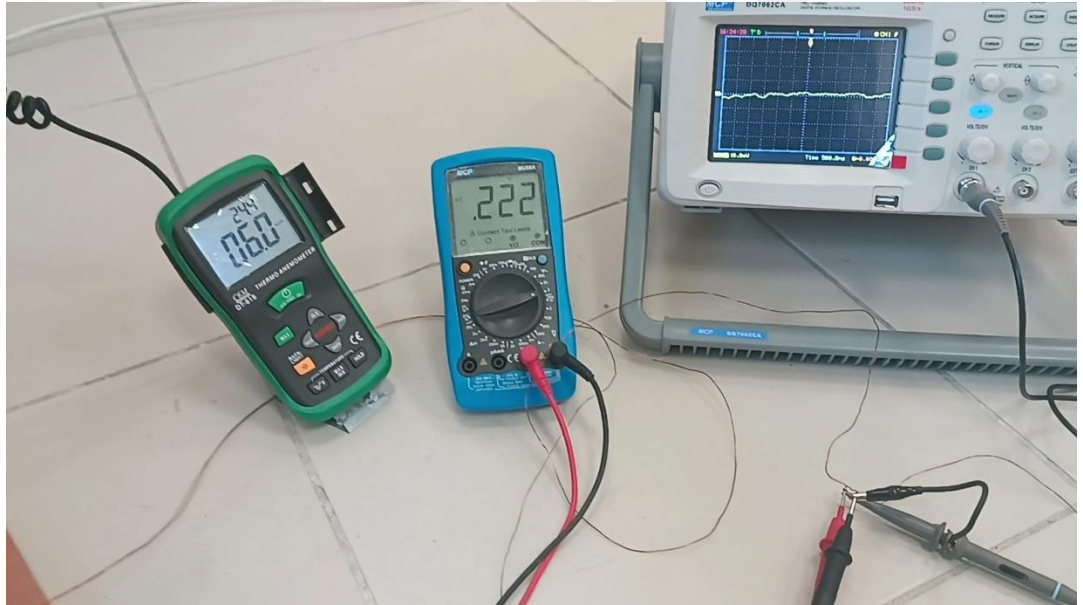
5 m/s akış hızında türbinin salınım hareket büyüklüğünün ve hızının arttığı gözlemlenmiştir. Multimetrede ise AC gerilim değeri 164 mV olarak ölçülmüştür. Fotoğraf 4.14. de ölçüm değerleri verilmiştir.



Fotoğraf 4.14. 4,4 m/s akış hızındaki ölçüm değerleri

U=6 m/s Akış Hızında

6 m/s akış hızında multimetrede AC gerilim değeri 222 mV olarak ölçülmüştür. Ölçümlere ait değerler Fotoğraf 4.15 de verilmiştir.



Fotoğraf 4.15. 6 m/s akış hızındaki ölçüm değerleri

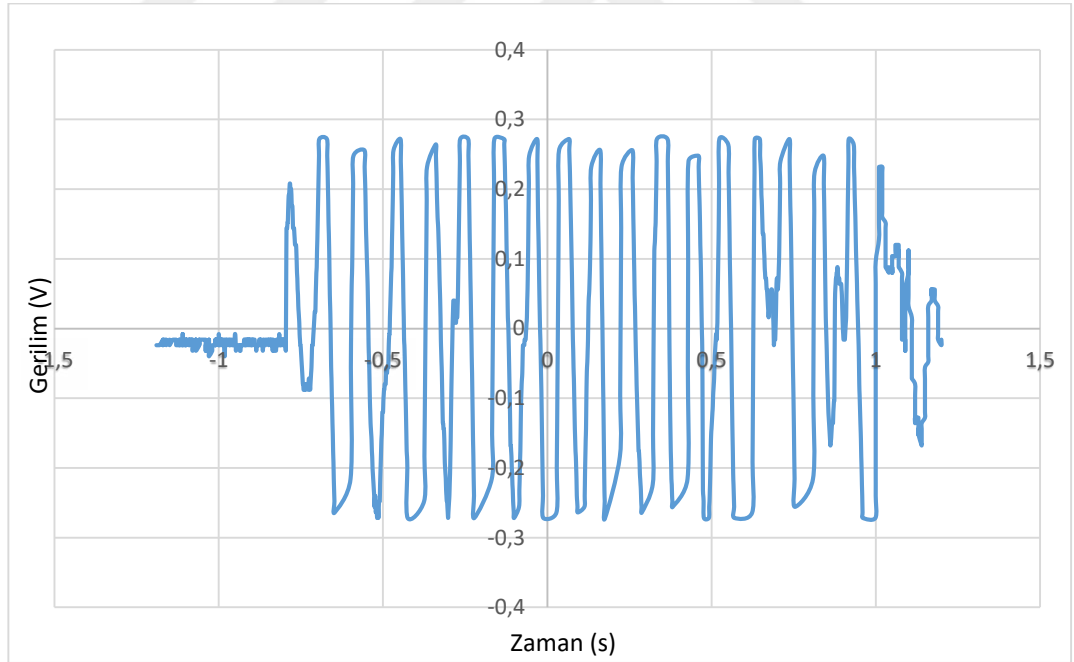
U=6,4 m/s Akış Hızında

6,4 m/s akış hızında yapılan teste multimetrede AC gerilim değeri 272 olarak ölçülmüştür. Fotoğraf 4.16 da verilmiştir.



Fotoğraf 4.16. 6,4 m/s akış hızındaki ölçüm değerleri

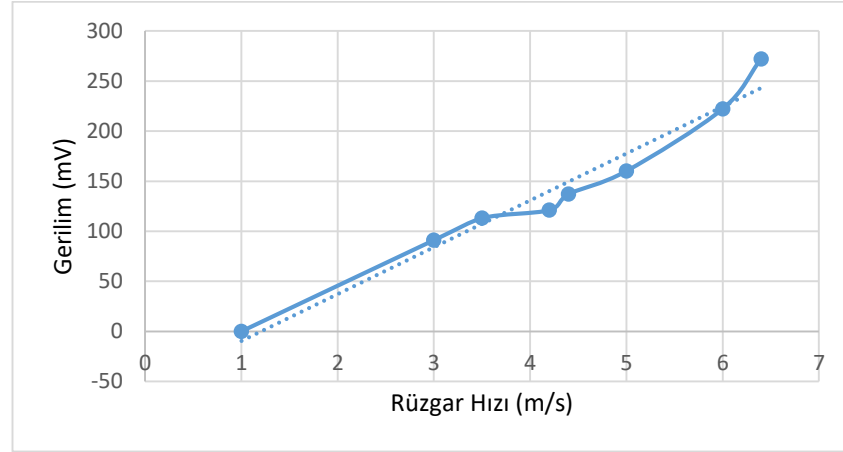
Ölçümler esnasında osilokoptan USB bellek ile csv formatında alınan veriler excelde grafik haline getirilmesi sonucunda Şekil 4.17. deki grafik elde edilmiştir. Grafik 6,4 m/s akış hızındaki test esnasında anlık veri olarak osiloskoptan alınabilmektedir.



Şekil 4.7. 6,4 m/s akış hızındaki Osiloskop çıktısı

Osiloskopta oluşan dalga formu incelendiğinde türbin çıkış geriliminin tam bir sinüzoidal formda olmadığı görülmektedir. Bu durum türbinin salınım hareketini tamamen simetrik olarak yapmadığını göstermektedir. Multimetre ile ölçülen değerler

grafik şeklinde incelendiğinde (Şekil 4.8.) rüzgar hızına bağlı olarak gerilim değerlerinin doğrusal olmayan bir artış gösterdiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.8. Rüzgar hızına bağlı gerilim değişimi

5. TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında; gelecekte insanlığın elektrik ihtiyacını karşılamada büyük rol üstlenecek olan rüzgar enerjisinin elektrik üretme yöntemlerinden biri olan kanatsız rüzgar türbini üzerine bir çalışma yapılmıştır. Kanatsız rüzgar türbinleri nitekim yeni bir fikir olduğu için yapılan literatür araştırmalarında diğer türbinlere nazaran daha az kaynak olduğu ve bu kaynakların çok az kısmının Türkçe kaynaklardan oluştuğu görülmüştür. Bu sebeple kanatsız rüzgar türbinlerinin yapısı, çalışma şekli ve enerji elde edilmesi hakkında bilgilere ulaşmak ve Türkçe literatüre katkı sağlayabilmek için türbinler tasarlanmış ve akış testleri yapılmıştır. Testlerde türbinler farklı rüzgar hızlarında akışa maruz bırakılarak üretilen gerilim değerleri ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerin ve gözlemlerin sonuçları değerlendirildiğinde aşağıdaki kanılara varılmıştır.

Türbin-1’den elde edilen veriler incelendiğinde her iki bobinin kullanımında da gerilimin rüzgar hızına bağlı olarak arttığı görülmüştür. Bu artışın Şekil 4.5. ve Şekil 4.6’da da görüldüğü gibi doğrusal olmadığı tespit edilmiştir. Türbinde kullanılan bobinlerin ölçülen gerilim değerleri karşılaştırıldığında bobin 1 ‘in bobin 2’ye nazaran üretimin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan mıknatısların boyut ve güçlerinin, iletken sarım sayısının ve kesitinin aynı olduğu göz önünde bulundurulursa bu tespit bize tek parçadan oluşan bobin 1’in yapısı nedeniyle daha düzenli bir manyetik alana maruz kaldığını göstermektedir.

Türbin-2 için yapılan testlerde de üretilen gerilimin rüzgar hızına bağlı olarak arttığı görülmüştür. Türbin-2’deki artışın Şekil 4.8.’de görüldüğü üzere türbin-1’e nazaran daha doğrusal şekilde olduğu fark edilmektedir. Türbinlerden elde edilen gerilimler karşılaştırıldığında türbin-2 için tasarlanan jeneratörün kullanıma daha elverişli olduğu tespit edilmiştir.

Testlerde türbin-2 de daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Fakat enerji üretimini arttırmak için türbinin, kullanılan mıknatısın boyutlarının arttırılması gerekmektedir. Bu ise türbinin ağırlığını arttırarak salınım hareketi için kullanılan yayların da boyutlarının büyütülmesini gerektirecektir. Yayların boyutlarının büyümesi sistemin hareketinin düzensizleşmesine yol açacağı ön görülmektedir.

Türbin-1 ve türbin-2’nin yapıları ve test sonuçları karşılaştırıldığında kullanılan mıknatısların boyunun, gücünün, bobin ve mıknatıs arasındaki mesafenin üretilen gerilim üzerinde büyük bir etkisi olduğu, yay kullanımının merkeze sabitlenmiş plastik borudan

daha düzenli salınım hareketi sağladığı tespit edilmiştir. Mıknatıs ve bobin arasındaki mesafe salınım hareketini engelleyemeyecek bir şekilde yakın olmalıdır.

Türbinde yardımcı kanatların kullanılması salınım hareketini arttırdığı gözlemlenmiştir. Bu tür eklemeler, türbinin daha yüksek performans, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasına yardımcı olacaktır. Ancak, her türbin projesi özgün koşullara ve tasarım ihtiyaçlarına sahip olduğundan, en uygun sonuçları elde etmek için detaylı araştırmalar ve testler yapılmalıdır.

Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde kanatsız rüzgar türbinleri için bu tezdekilere benzer ve farklı tasarımlar oluşturulduğu ve test edildiği görülmüştür. literatürdeki bazı tasarımların bu tezdeki prototipler ile karşılaştırılması yapıldığında, Suraj Ghode ve arkadaşları tarafından oluşturulan prototipten daha iyi sonuçlar elde edildiği, Catherine S. Salvador ve arkadaşları tarafından yapılan tek yönlü bir sarkaç gibi salınım hareketi yapan sistemden daha az gerilim ürettiği görülmüştür.

6.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada yeni bir fikir olan kanatsız rüzgar türbini ele alınmıştır. Bu türbin, klasik modellere nazaran döner mekanizmaya sahip olmayan ve rüzgar kaynaklı girdap akımlarının sebep olduğu salım hareketi ile enerji üreten bir sistemdir. Türbinde elektrik üretmek için lineer jeneratör kullanılmaktadır. Kullanılan lineer jeneratör bakır sargılı bobinlerden ve neodyum mıknatıslardan oluşmaktadır.

Kanatsız rüzgar türbini üzerine yapılan literatür araştırmalarında farklı tasarımların yapıldığı görülmüştür. literatür araştırmasında özellikle Türkçe çalışmaların azlığı fark edilmiştir. Bu sebeple hem literatüre katkı sağlayabilmek, hem de kanatsız rüzgar türbininin yapısı, elektrik üretim yöntemi, hareket mekanizmasının çalışma prensibi hakkında bilgiler edinmek için bu çalışma yapılmıştır. Bu doğrultuda farklı rüzgar türbinleri SolidWorks programında tasarlanmış, yapılan araştırmalar sonucunda iki farklı prototip test edilmiştir. Prototiplerde farklı hareket mekanizmaları ve jeneratörler kullanılarak elde edilen sonuçlar incelenmiştir.

Türbinler oluşturulan sistemden sağlanan kontrollü hava akışı ile test edilerek üretilen gerilim değerleri multimetre ile ölçülmüştür. Yapılan testlerde ölçülen en yüksek gerilim değerinin türbin-2 de 6,4 m/s akış hızında 272 AC mV olduğu görülmüştür. Türbin-1'in ürettiği gerilim değerleri ve akış hızları Çizelge 6.1'de ve Türbin-2'ye ait değerler Çizelge 6.2. de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Türbin-1'e ait değerler

Bobin 1		Bobin 2	
Rüzgar hızı (m/s)	Gerilim (mV)	Rüzgar hızı (m/s)	Gerilim (mV)
0,9	0	0,9	0
2	0	2	0
2,6	0	2,6	0
3	16	3	17
3,2	20	3,2	19
3,7	31	4,3	53
4,1	79	4,8	60

Çizelge 6.2. Türbin-2'ye ait değerler

Rüzgar Hızı (m/s)	Gerilim (mV)
1	0
3	91
3,5	113
4,2	121
4,4	137
5	160
6	222
6,4	272

Türbinlerin yaklaşık olarak 3 m/s rüzgar hızında gerilim üretmeye başladığı ve üretimin rüzgar hızının artışına bağlı olarak artış gösterdiği görülmektedir. Elde edilen değerler karşılaştırıldığında türbin-2'de kullanılan jeneratörün ve hareket mekanizmasının kullanıma daha elverişli olduğu tespit edilmiştir.

6.1. Öneriler

- Türbinlere yapılacak eklemeler türbinin salınım hareketini olumlu yönde etkileyebilmektedir.
- Kanatsız rüzgar türbinlerinde daha iyi sonuçlar elde edilebilmesi için kusursuz bir simetriye sahip olması gerektiği tespit edilmiştir. Yapılacak olan çalışmalarda bu konuya dikkat edilmelidir.
- Bu çalışmada türbin gövdesi için PVC boru kullanılmıştır. Ancak, gelecekteki çalışmalarda daha hafif malzemelerin kullanılması önerilmektedir. Daha hafif malzemelerin kullanılması, türbinin toplam ağırlığını azaltabilir ve bu da türbinin daha düşük rüzgar hızlarında dahi etkin bir şekilde çalışmasına olanak tanıyabilir. Ayrıca, hafif malzemelerin kullanılması, montaj süreçlerini kolaylaştırabilir ve türbinin taşınabilirliğini artırabilir. Bu nedenle, gelecekteki çalışmalarda türbin gövdesi için daha hafif ve dayanıklı malzemelerin kullanılması üzerine odaklanmak önemli olacaktır.
- Türbinin hareket mekanizmasında kullanılacak olan malzemenin esnekliği dikkate alınmalıdır. Elastik malzemeler türbinin salınımını olumsuz etkileyebilir.

- Türbinde kullanılacak olan mıknatısların gücü arttı  a elde edilen gerilim de erdi de artacağı artacaktır. Fakat mıknatıs gücündeki artışın sistemdeki diğer bileşenlere etkisi dikkate alınmalıdır.
- Kullanılacak olan neodyum mıknatısların çekim gücü yüksek olup, birden fazlasının bir arada bulunması tehlike arz etmektedir. Bu sebeple çalışmalarda dikkatli olunmalıdır.
- Bobinlerde sarım sayısını arttırmak üretilen gerilim değerini de arttıracaa ı için kullanılan mıknatısın gücü doğrultusunda sarım sayısı arttırılabilir.
- Yapılacak olan çalışmalarda akış tersleri için rüzgar tünelleri kullanılabilir.
- Gelecek çalışmalarda daha g c l  bir prototip oluşturularak doğal koşullarda elde edilecek değerler incelenebilir.
- Yapılacak olan çalışmalarda türbin boyutu arttırılacak ise türbinin boy ve çapı orantılı olacak şekilde arttırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] “Yenilenebilir Enerji Kaynakları- Türkiye Cumhuriyeti Dış İşleri Bakanlığı” <https://www.mfa.gov.tr/yenilenebilir-enerji-kaynaklari.tr.mfa>. (Erişim tarihi Mayıs 6, 2023)
- [2] İ. Dinçer, “Rüzgar Enerjisi Teknolojileri Raporu,” Türkiye Bilimler Akademisi, Tek Ses Ofset Matbaacılık, 2019
- [3] “Vortex Bladeless” <https://vortexbladeless.com/> (Erişim tarihi Mayıs 6, 2023)
- [4] “Enerji- Wikipedia” <https://tr.wikipedia.org/wiki/Enerji> (Erişim tarihi Mayıs 6, 2023)
- [5] E. Koç, ve K. Kaya “Enerji Kaynakları-Yenilenebilir Enerji Durumu,” *Mühendis ve Makina*, cilt. 56, ss 36- 47, 2015
- [6] “Statistical Review of World Energy- BP Energy Charting Tool.” <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/energy-charting-tool-desktop.html.html#/results/et/oil-cons/natgas-cons/coal-cons/nucl-cons/hyelec-cons/renew-cons/unit/EJ/regions/tWORLD/calc/cg/view/table> (Erişim tarihi Mayıs 15, 2023)
- [7] “Elektrik Nedir? Evimize Nasıl Ulaşır?- Aydem Perakende” <https://www.aydemperakende.com.tr/blog/elektrik-nedir-elektrik-evimize-nasil-ulasir> (Erişim tarihi Mayıs 13, 2023)
- [8] “Wikipedia” <https://tr.wikipedia.org/wiki/Elektrik> (Erişim tarihi Mayıs 13, 2023)
- [9] “Tomas Edison- Biography” <https://www.biography.com/inventors/thomas-edison> (Erişim Mayıs 14, 2023)
- [10] “Nikola Tesla- History” <https://www.history.com/topics/inventions/nikola-tesla> (Erişim tarihi Mayıs 14, 2023)
- [11] N. Özdemir., “İmparatorluktan Cumhuriyete Türkiye’de Elektriğin Tarihsel Gelişimi (1850-1938),” *Osmanlı Medeniyeti Araştırmaları Dergisi*, cilt. 2, sayı 3, ss 17-32, 2016
- [12] ‘Elektrik-Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’ <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik> (Erişim tarihi Mayıs 14, 2023)
- [13] M. Hekim, “Jeotermal Santrallerde Atık Isıdan Termoelektrik Etki İle Enerji Geri Kazanımının İncelenmesi,” Doktora Tezi, Fen Bil. Ens., Pamukkale Üniv., Denizli, Türkiye, 2021.
- [14] B.D. Altan, “Perdeleme Yöntemi ile Savonius Rüzgar Çarkının Performansının İncelenmesi” Doktora Tezi, Fen Bil. Ens., Denizli, Türkiye, 2006.
- [15] “WWEA Yıllık Raporu 2022- Dünya Rüzgar Enerjisi Birliği (WWEA), <https://wwindea.org/wwa-annual-report-2022/> (Erişim tarihi Mayıs 15, 2023)
- [16] A. Özdamar, “Dünya ve Türkiye’de Rüzgar Enerjisinden Yararlanılması Üzerine Bir Araştırma” *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, cilt. 6 sayı 2-3, ss 133-145, 2000
- [17] “Rüzgar- T.C. Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı” <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-ruzgar> (Erişim tarihi Mayıs 20, 2023)

- [18] “Rüzgar enerji santralleri raporu- TUREB”
<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNmFmYWY0MTYtNjUyNS00NzQ1LWIwMTMtOTI5ZTNkM2FiYWxliwidCI6ImU5YzY0NjU4LWFKMWQtNDUwOS1hODk0LTE2NWZhYjU2NjEyMyIsImMiOjI9> (Erişim tarihi Mayıs 23, 2023)
- [19] U. Elibüyük and İ. Üçgül, “Rüzgar Türbinleri, Çeşitleri Ve Rüzgar Enerjisi Depolama Yöntemleri”, *Yekarum*, cilt. 2, no. 3, 2014.
- [20] “Rüzgar Türbinlerinin Çeşitleri ve Birbirleriyle Karşılaştırılması”
https://www.emo.org.tr/ekler/4986d86a17424ee_ek.pdf (Erişim tarihi Haziran 4, 2023)
- [21] “Rüzgar Türbini Tasarımı- Wikipedia”
https://tr.wikipedia.org/wiki/R%C3%BCzg%C3%A2r_t%C3%BCrbini_tasar%C4%B1m%C4%B1 (Erişim tarihi Haziran 4, 2023)
- [22] S.K. Çetin, M.S. Genç, ve F. Daldaban, “Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri-Küçük Ölçekli Uygulamalar,” *BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, cilt. 6, no.2, ss 539-551, 2019, doi: 10.35193/bseufbd.643828
- [23] K.N. Shelke ve M.D. Duraphe, “Magenn Air Rotor System (Mars)” *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, Vol. 2, no. 6, pp.1566-1568, 2012
- [24] Challenergy, <https://challenergy.com/en/> (Erişim tarihi Haziran 4, 2023)
- [25] A. Karakuş, “Düşük Reynolds Sayılı Akışlarda Girdap Kaynaklı Titreşimlerin İncelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bil. Ens., İstanbul, Türkiye, 2019.
- [26] T. Başkır, “Kanatsız Rüzgar Türbini Tasarını, Üretimi Ve Performans Testleri,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bil. Ens., Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2022.
- [27] M.I.S. Samsudin ve S. Mohd, “Development of A Small-Scale Vortex-Induced Wind Turbine,” *Progress In Aerospace and Aviation Technology*, vol. 2 no. 1, pp10-18, 2022, doi: <https://doi.org/10.30880/paat.2022.02.01.002>
- [28] C.S. Salvador, J.A. Teresa, J.M. Martinez, M.C. Bacasnot, K.V. Orilla, R.J. Cabana, W.I. Ladaran, “Design and Construction of Arc Shaped and Disc Shaped Pendulum for Vortex Bladeless Wind Generator,” *2017 25th International Conference on Systems Engineering (ICSEng)*, Las Vegas, NV, USA, pp. 363-369, 2017 doi: 10.1109/ICSEng.2017.39.
- [29] O. Ö. Mengi, E. Akköse, and K. Yanmaz, “Kanatsız Rüzgar Türbini: Kule için Hangi Materyali Kullanalım?”, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 7, no. 2, pp. 145–155, 2018, doi: 10.17100/nevbiltek.428184.
- [30] M. W. Sabab and S. Mohd, “Aerodynamic Characteristic Of Vortex Bladeless Wind Turbine: A Short Review”, *RPMME*, vol. 2, no. 1, pp. 177–186, 2021.
- [31] U. Aybey, “Girdap Kaynaklı Titreşimler İle Rüzgar Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretimi,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bil. Ens., Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2022
- [32] S. Ghode, S. Magdum, T. Pisal, M.M. Jadhav, “Design And Development Of Vortex Bladeless Turbine,” *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, vol. 2, pp. 285-293, 2023

EKLER

Akış Kaynağı



Test Düzenekinin Şeması

