

**RÜZGAR YOĞUNLAŞTIRMA SİSTEMİ İLE ENTEGRE  
EDİLMİŞ BİR DÜŞEY EKSENLİ RÜZGAR TÜRBİNİNİN  
PERFORMANSI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

**Sena ERDEN**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RÜZGAR YOĞUNLAŞTIRMA SİSTEMİ İLE ENTEGRE EDİLMİŞ BİR  
DÜŞEY EKSENLİ RÜZGAR TÜRBİNİNİN PERFORMANSI ÜZERİNE BİR  
ARAŞTIRMA**

**Sena ERDEN**

0000 0001 8377 7525

Prof. Dr. Ali VARDAR

0000 0001 6349 9687

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2019

**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ ONAYI

Sena ERDEN tarafından hazırlanan “RÜZGAR YOĞUNLAŞTIRMA SİSTEMİ İLE ENTEGRE EDİLMİŞ BİR DÜŞEY EKSENLİ RÜZGAR TÜRBİNİNİN PERFORMANSI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman :** Prof. Dr. Ali VARDAR

**Başkan :** Prof. Dr. Ali VARDAR  
0000 0001 6349 9687  
Bursa Uludağ Üniversitesi,  
Ziraat Fakültesi,  
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye :** Doç. Dr. Nazmi İZLİ  
0000 0002 2084 4660  
Bursa Uludağ Üniversitesi,  
Ziraat Fakültesi,  
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye :** Doç. Dr. Osman GÖKDOĞAN  
0000 0002 4933 7144  
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi,  
Ziraat Fakültesi,  
Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği  
Bölümü

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN**  
**Enstitü Müdürü**

.. / .. / ....

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
  - görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
  - başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
  - atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
  - kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
  - ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı
- beyan ederim.**

**23/12/2019**

**Sena ERDEN**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

RÜZGAR YOĞUNLAŞTIRMA SİSTEMİ İLE ENTEGRE EDİLMİŞ BİR DÜŞEY EKSENLİ RÜZGAR TÜRBİNİNİN PERFORMANSI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

**Sena ERDEN**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Ali VARDAR

Artan nüfusun en büyük sorunlarından birisi de enerji ihtiyacıdır. Enerji ihtiyacı yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları ile karşılanmaktadır. Fosil yakıtların azalması ve çevreye verdiği kalıcı zararlar göz önünde bulundurulduğunda yenilenebilir enerjiye yönelim her geçen gün artmaktadır. Rüzgar, güneş, hidrolik, biyokütle enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının doğada var olması, sürekli kendilerini yenilemelerive çevresel kirliliği azaltmaları gibi özelliklere sahiptirler.

Tarımsal işletmelerde ve kırsal alanlarda enerji ihtiyaçları oldukça fazladır. Bu ihtiyacı karşılamak ve işletmelerin maliyetlerini düşürmek için bu alanlarda yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar enerjisi büyük avantajlar sağlamaktadır. Rüzgar potansiyeline sahip kırsal bölgelerde küçük çaplı rüzgar türbinleri; tahıl öğütülmesi, su çıkarılması ve pompaların çalıştırılması gibi farklı alanlarda kullanılmaktadırlar.

Bu çalışma ile rüzgar hızı potansiyeli düşük olan kırsal bölgelerde, tarımda elektrik ihtiyacı olan uygulamalarda kullanılacak küçük ölçekli Savonius rüzgar türbini tasarlanmıştır. Bu rüzgar türbini yoğunlaştırma sisteminin içine yerleştirilerek düşük rüzgar hızlarından daha fazla yararlanılması amaçlanmıştır. Ayrıca rüzgar türbininin tasarımı iki, üç ve dört olmak üzere farklı kanat sayılarında yapılmıştır. Bu çerçevede en verimli sonuçların hangi kanattan alınacağı da bu çalışmanın diğer hedeflerinden birisidir.

Deneysel olarak farklı kanat sayıları incelendiğinde, iki kanatlı rotora sahip olan Savonius rüzgar türbininin daha yüksek performans sağladığı bulunmuştur. Yoğunlaştırma sisteminin etkisi incelendiğinde iki kanatlı türbinde daha yüksek mekanik güç elde edilirken üç ve dört kanatlı için yoğunlaştırma sisteminin mekanik güç artmasına bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Rüzgâr enerjisi, savonius rüzgar türbini, yenilenebilir enerji, yoğunlaştırma sistemi

**2019, viii + 62 sayfa.**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

### **A RESEARCH ON THE PERFORMANCE OF A VERTICAL AXIS WIND TURBINE INTEGRATED WITH A WIND CONCENTRATOR SYSTEM**

**Sena ERDEN**

Bursa Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Biosystems Engineering

**Supervisor:** Prof. Dr. Ali VARDAR

One of the biggest problems of the growing population is the need for energy. Energy needs are met by renewable and non-renewable energy sources. Considering the decrease in fossil fuels and the permanent damage to the environment, the trend towards renewable energy is increasing day by day. Renewable energy sources such as wind, solar, hydraulic and biomass energy have characteristics such as existence in nature, continuous self-renewal and reduction of environmental pollution.

Energy needs are high in agricultural farms and rural areas. Wind energy from renewable energy sources provides great advantages in these areas to meet this need and reduce the costs of enterprises. Small-scale wind turbines in rural areas with wind potential are used in different fields such as grain grinding, water extraction and pump operation.

In this study, a small scale Savonius wind turbine was designed to be used in applications requiring electricity in agriculture in rural areas with low wind speed potential. It is aimed to use more low wind speeds by placing a concentrator system around this wind turbine. In addition, the design of the wind turbine is made in two, three and four different blades. In this context, one of the other objectives of this study is to obtain the most efficient results from which blades.

During the experiment, the different number of blades were examined and it was found that the Savonius wind turbine with 2 blades has higher performance. When the effect of the concentrator system was researched, it was found that for the concentrator system had no effect on the increase of mechanical power on the 3 and 4 blades while the 2-bladed turbine had higher mechanical power.

**Keywords:** Wind energy, Savonius wind turbine, renewable energy, concentrator system

**2019, viii + 62 pages.**

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmamın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana zaman ayırıp her sorunu çözmek için tüm bilgisini ve tecrübesini aktaran, gelecekteki mesleki hayatım boyunca da bu bilgilerden faydalanacağımı düşündüğüm saygıdeğer danışman hocam; Prof. Dr. Ali VARDAR'a teőekkürlerimi borç bilirim. Yine çalışmamda konu, kaynak ve yöntem açısından bana sürekli yardımda bulunarak yol gösteren kıymetli Dr. Onur TAŞKIN'a teőekkürlerimi sunarım.

Teőekkürlerin az kalacağı, bilgilerini ve tecrübelerini benimle paylaşıp verdikleri fikirlerle tez çalışmamda en doğru sonuçlar almamda çok büyük katkıları olan, maddi ve manevi her konuda destek sağlayan CAN KALİBRO ailesine teőekkürlerimi borç bilirim. Son olarak çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen, desteğini ve yardımını asla esirgemeyen, sürekli motivasyonumu yüksek tutmamı sağlayan Emin KILIÇ'a ve hayatımın her evresinde bana maddi manevi tüm desteklerini sağladıkları gibi bu tez çalışmamda da sürekli yanımda olan, en büyük şansım aileme teőekkürlerimi sunarım.

Sena ERDEN

23/12/2019

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	15
3.1. Materyal.....	155
3.1.1. Rotor.....	15
3.1.2. Yoğunlaştırma Sistemi.....	23
3.1.3. Laboratuvar Koşulları için Deney Düzenekleri.....	24
3.1.4. Ölçü Aletleri ve Cihazlar.....	27
3.2. Yöntem.....	35
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	37
4.1. Devir Sayısı.....	44
4.2. Mekanik Güç.....	48
4.3. Elektriksel Güç.....	52
5. SONUÇ.....	57
KAYNAKLAR.....	59
ÖZGEÇMİŞ.....	62



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklamalar</b>
A	Rüzgar türbini rotor kesit alanı (m <sup>2</sup> )
P	Rüzgar türbini gücü (kW)
C <sub>p</sub>	Rotorun güç katsayısı
D	Rüzgar türbini rotor çapı (m)
P <sub>E</sub>	Elektriksel güç (W)
I	Akım (A)
U	Gerilim (V)
ρ	Hava yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )
λ	Uç hız oranı
n	Devir sayısı (rpm)
p	Hava basıncı (Pa)
GW	Gigawatt
MW	Megawatt
kWh	Kilowatt saat
P <sub>M</sub>	Mekanik güç (W)
V	Rüzgar hızı (m/s)
V <sub>ç</sub>	Çevresel hız (m/s)
η	Rüzgar türbininin mekanik verimi
R	Gaz sabiti (J/K.kg)
T	Sıcaklık (K)
r	Rüzgar türbininin yarıçapı (m)
h	Rüzgar türbini kanadının yüksekliği (m)
Y2	Yoğunlaştırma sistemin kullanıldığı 2 kanatlı rüzgar türbini
YS2	Yoğunlaştırma sistemin kullanılmadığı 2 kanatlı rüzgar türbini
Y3	Yoğunlaştırma sistemin kullanıldığı 3 kanatlı rüzgar türbini
YS3	Yoğunlaştırma sistemin kullanılmadığı 3 kanatlı rüzgar türbini
Y4	Yoğunlaştırma sistemin kullanıldığı 4 kanatlı rüzgar türbini
YS4	Yoğunlaştırma sistemin kullanılmadığı 4 kanatlı rüzgar türbini

### **Kısaltmalar Açıklamalar**

GWEC	Küresel Rüzgar Gücü İstatistikleri
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
DM	Deutsche Mark

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Türkiye ve Uluslararası Enerji Ajansı üye olan ülkelerindeki kişi başına düşen enerji ve elektrik arzı.....	3
Şekil 2.2. Küresel güç üretme kapasitesi .....	4
Şekil 2.3. Şehirlerin yenilenebilir enerji gücünü kullanma oranları .....	5
Şekil 2.4. Küresel kümülatif kurulu rüzgar kapasitesi .....	6
Şekil 2.5. Dünya’da rüzgar gücü kurulu güç oranları ve sıralaması .....	6
Şekil 2.6. Türkiye’de elektrik üretim amaçlı kurulu gücün yıllar itibariyle gelişimi .....	7
Şekil 2.7. Türkiye’de elektrik üretiminin birincil enerji kaynakları içindeki dağılımı ....	7
Şekil 2.8. Savonius türbinin üstten ve yandan görünüşü .....	9
Şekil 2.9. İki rotorlu Savonius rüzgar türbini ve sistemin perdeli ve perdesiz hali .....	10
Şekil 2.10. Tek ve çift kademeli Savonius rüzgar türbini .....	11
Şekil 2.11. En iyi performans için ideal uzaklık .....	12
Şekil 2.12. Helezonik Savonius rotoru .....	13
Şekil 3.1. Savonius rüzgar türbininin ilk tasarımı .....	15
Şekil 3.2. İki kanatlı Savonius rüzgar türbininin teknik çizimleri .....	16
Şekil 3.3. Üç kanatlı Savonius rüzgar türbininin teknik çizimleri .....	17
Şekil 3.4. Dört kanatlı Savonius rüzgar türbininin teknik çizimleri .....	18
Şekil 3.5. Sistemde elektrik jeneratörü olarak kullanılacak DC motor .....	19
Şekil 3.6. Yoğunlaştırma sistemi ile birlikte Savonius rüzgar türbini .....	19
Şekil 3.7. Mil ve kanat montajı .....	20
Şekil 3.8. İki kanatlı Savonius rüzgar türbini .....	21
Şekil 3.9. Üç kanatlı Savonius rüzgar türbini .....	21
Şekil 3.10. Dört kanatlı Savonius rüzgar türbini .....	22
Şekil 3.11. Probun konumu .....	22
Şekil 3.12. Yoğunlaştırma sistemi .....	23
Şekil 3.13. Radyal fan .....	24
Şekil 3.14. Aksiyal aspiratör .....	25
Şekil 3.15. Aksiyal aspiratör .....	25
Şekil 3.16. Laboratuvar deney düzeneklerinin genel görünüşü .....	26
Şekil 3.17. Denetim ve kontrol kamerası .....	26
Şekil 3.18. Kontrol ünitesi .....	27
Şekil 3.19. Rüzgâr hızı ölçüm cihazı .....	29
Şekil 3.20. Termal rüzgâr hızı probu .....	29
Şekil 3.21. Basınç ölçüm probu .....	30
Şekil 3.22. Sıcaklık probu .....	31
Şekil 3.23. Devir hızı ölçüm cihazı .....	32
Şekil 3.24. Multimetre .....	33
Şekil 3.25. Elektrik devresi .....	34
Şekil 3.26. Elektrik devre şeması .....	34
Şekil 4.1. Yoğunlaştırma sisteminin hücreleri .....	37
Şekil 4.2. Yoğunlaştırma sistemli iki kanatlı Savonius rüzgar türbininin denemeleri sırasında meydana gelen sıcaklık ve basınç değişimi .....	39
Şekil 4.3. Yoğunlaştırma sistemi kullanılmayan iki kanatlı Savonius rüzgar türbininin denemeleri sırasında meydana gelen sıcaklık ve basınç değişimi .....	40
Şekil 4.4. Yoğunlaştırma sistemli üç kanatlı Savonius rüzgar türbininin denemeleri sırasında meydana gelen sıcaklık ve basınç değişimi .....	40

Şekil 4.5. Yoğunlaştırma sistemi kullanılmayan üç kanatlı Savonius rüzgar türbininin denemeleri sırasında meydana gelen sıcaklık ve basınç değişimi .....	41
Şekil 4.6. Yoğunlaştırma sistemli dört kanatlı Savonius rüzgar türbininin denemeleri sırasında meydana gelen sıcaklık ve basınç değişimi .....	42
Şekil 4.7. Yoğunlaştırma sistemi kullanılmayan dört kanatlı Savonius rüzgar türbinini denemeleri sırasında meydana gelen sıcaklık ve basınç değişimi .....	43
Şekil 4.8. Devir hızlarına ilişkin deneme sonuçları .....	44
Şekil 4.9. Devir sayısı ve rüzgar hızı arasındaki ilişki .....	45
Şekil 4.10. İki kanatlı Savonius rüzgar rotorunda yoğunlaştırma sistemi kullanımının devir sayısı üzerindeki etkisi .....	46
Şekil 4.11. Üç kanatlı Savonius rüzgar rotorunda yoğunlaştırma sistemi kullanımının devir sayısı üzerindeki etkisi .....	47
Şekil 4.12. Dört kanatlı Savonius rüzgar rotorunda yoğunlaştırma sistemi kullanımının devir sayısı üzerindeki etkisi .....	48
Şekil 4.13. Mekanik gücün kanat sayıları ve yoğunlaştırma sistemiyle olan ilişkisi.....	49
Şekil 4.14. Mekanik güç ve rüzgar hızı arasındaki ilişki .....	50
Şekil 4.15. İki kanatlı rotora sahip Savonius rüzgar türbininde yoğunlaştırma sisteminin mekanik güç üzerindeki etkisi .....	50
Şekil 4.16. Üç kanatlı rotora sahip Savonius rüzgar türbininde yoğunlaştırma sisteminin mekanik güç üzerindeki etkisi .....	51
Şekil 4.17. Dört kanatlı rotora sahip Savonius rüzgar türbininde yoğunlaştırma sisteminin mekanik güç üzerindeki etkisi .....	52
Şekil 4.18. Elektriksel gücün kanat sayıları ve yoğunlaştırma sistemiyle olan ilişkisi .	53
Şekil 4.19. Elektriksel güç ve rüzgar hızı arasındaki ilişki .....	54
Şekil 4.20. İki kanatlı rotora sahip Savonius rüzgar türbininde yoğunlaştırma sisteminin elektriksel güç üzerindeki etkisi .....	54
Şekil 4.21. Üç kanatlı rotora sahip Savonius rüzgar türbininde yoğunlaştırma sisteminin elektriksel güç üzerindeki etkisi .....	55
Şekil 4.22. Dört kanatlı rotora sahip Savonius rüzgar türbininde yoğunlaştırma sisteminin elektriksel güç üzerindeki etkisi .....	56

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. DC motorun özellikleri .....	18
Çizelge 4.1. Ön denemelerde radyal fanla yapılan rüzgar hızı ölçüm sonuçları .....	38
Çizelge 4.2. Ön denemelerde aksiyal aspiratörle yapılan rüzgar hızı ölçüm sonuçları	38

## 1.GİRİŞ

Nüfusumuz her geçen gün artmakta ve enerjiye olan ihtiyacımız çoğalmaktadır. Buna nazaran fosil yakıtların gittikçe azalması ve yakın gelecekte tükenecek olması bizleri alternatif enerjilere yönlendirmektedir. Hem ekonomik açıdan hem de çevresel açıdan bakıldığında yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi artmaktadır. Yenilenebilir bir enerji kaynağı olan rüzgar enerjisi, geniş kullanım olanaklarına sahip ve çevre dostu bir enerji kaynağı olmasıyla enerji kaynakları arasında önemli bir yer tutmaktadır.

Rüzgar enerjisinin tarımsal amaçlı kullanım alanları olarak kurutma, ısıtma, soğutma, aydınlatma, seracılık, su çıkarma ve drenaj işleri, ısı pompalarının çalıştırılması vb. sayılabilir. Ülkemiz tarım sektöründe rüzgar enerjisinden daha çok, su çıkarma amaçlı yararlanmaktadır. Tarım sektöründe doğrudan elektrik üreten rüzgar türbinleri yaygın değildir. Bazı Avrupa ülkelerinde ise tarımda rüzgar enerjisinin kullanımı oldukça yaygındır. Ülkemizdeki rüzgar potansiyeli çoğu Avrupa ülkesinden oldukça fazladır. Rüzgar potansiyelinin yüksek olduğu yerlerde büyük rüzgar türbinleri kurulabilmektedir. Büyük rüzgar türbinlerinin yüksek maliyetlerinden dolayı tarım sektöründe kullanılmak üzere çok fazla tercih edilmemektedirler. Genellikle tarımsal amaçlı küçük rüzgar türbinleri kullanılmaktadır. Ülkemizde tüm bölgelerde rüzgar potansiyeli olmasına rağmen bazı bölgelerde rüzgar teknolojisi ekonomik olarak enerji üretebilecek seviyede değildir. Bu yüzden tarımsal amaçlı kullanılacak rüzgar türbin sistemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Küçük rüzgar türbinlerinden Savonius tipi dikey eksenli rüzgar türbinleri düşük rüzgar hızlarında çalışmaya başlayabilmeleri, rüzgarı her yönden kolayca alıp elektrik üretmeye kolayca başlamaları, düşük maliyetleri ve montaj kolaylıkları sayesinde tercih edilebilecek özelliklere sahiptir

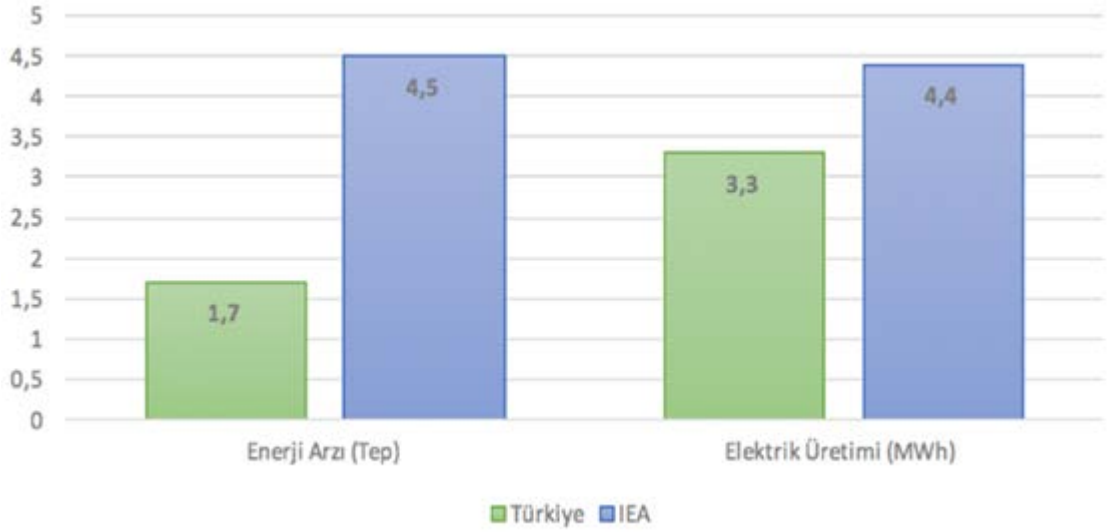
Düşük rüzgar potansiyeline sahip bölgelerdeki rüzgar türbinlerinin geliştirilmesi üzerine yapılan çalışmalardan bir tanesi de yoğunlaştırma sistemi kullanmaktır. Bu zamana kadar yoğunlaştırmalı tip rüzgar türbinlerinin üzerine makaleler yazılmasına rağmen Uluslararası çalışmalarda sayıları çok azdır. Vardar ve ark. (2015) düşük rüzgar hızı potansiyeline sahip kırsal bölgelerde tarımsal amaçlı olarak küçük ölçekli

yoğunlaştırmalı tip rüzgar türbin sistemleri tasarlanmış ve prototiplerini geliştirmişlerdir. Bu yoğunlaştırma sistemlerinin 3 farklı tipte tasarımını ortaya koymuşlardır: konik, panelli ve panelsiz. Yaptıkları çalışma sonucunda verimliliği konik rüzgar yoğunlaştırma sisteminde yaklaşık %81, panelli rüzgar yoğunlaştırma sisteminde yaklaşık %71 ve panelsiz rüzgar yoğunlaştırma sisteminde yaklaşık %90 olarak tespit etmişlerdir. Vardar ve ark. (2015) tarafından tasarlanan yoğunlaştırma sistemi bu çalışmada kullanılmıştır.

Bu çalışmada düşük rüzgar hızına sahip bölgelerde kullanılabilecek iki, üç ve dört kanatlı dikey eksenli Savonius rüzgar türbinlerinin ve bu türbinlerin yoğunlaştırma sistemi ile entegrasyonunun güç ve performans artışına etkilerinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

## 2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Ülkelerin sanayilerindeki gelişme enerji tüketimi ve üretimi ile doğrudan ilişkilidir. Enerjiye olan talep her geçen gün artmaktadır. Knox-Hayes ve ark. (2013) bu talebin içinde bulunduğumuz yüzyılın sonuna kadar üç katına çıkacağını bildirmişlerdir. OECD ülkelerinin dahil olduğu Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) üyelerinin kişi başına düşen enerji arzı ortalaması 2015 için yıllık 4,5 ton eşdeğer petrol (TEB) seviyesindeyken, Türkiye'nin ortalaması 1,7 TEB seviyesinde görülmektedir. Kişi başına düşen elektrik üretimi açısından bakıldığında da (Şekil 2.1) Türkiye'de kişi başına elektrik üretiminin IEA ortalamasının 1/3'ü seviyesindedir (Anonim 2015).



**Şekil 2.1.** Türkiye ve Uluslararası Enerji Ajansı üye olan ülkelerindeki kişi başına düşen enerji ve elektrik arzı (Anonim 2015)

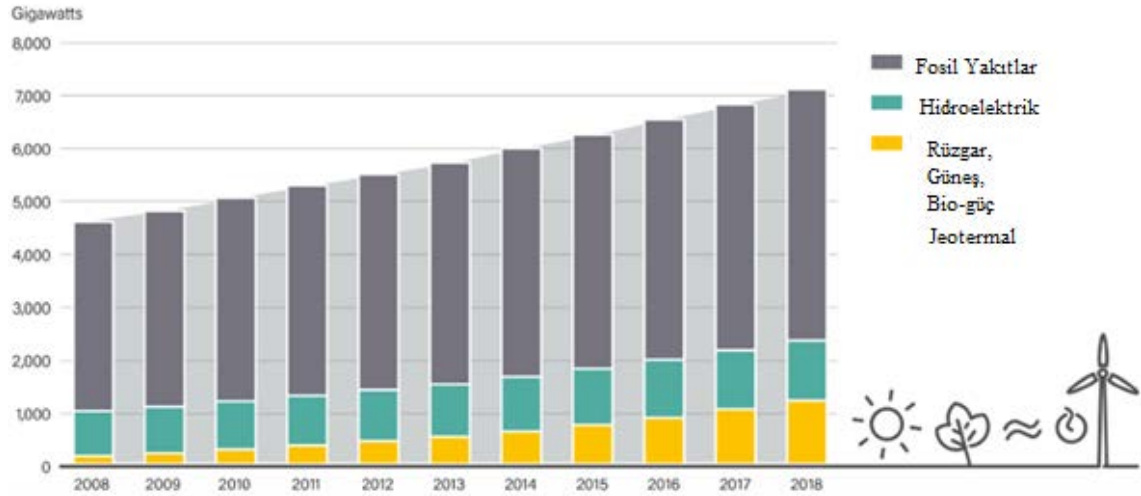
Enerjiyi üretmek için yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynaklarına ihtiyaç duyarız. Yenilenemez enerjiler yani fosil yakıtlar şu anda dünyada tüketilmekte olan enerjinin %80'ini sağlamaktadır (Nakicenavic ve Gubler 2000).

Fosil yakıtların her geçen yıl azalması ve çevreye verdiği zararlar göz önüne alındığında alternatif enerji kaynaklarına yönelim daha fazla artmıştır. Hem ekonomik hem de

çevresel açıdan yapılan araştırmalar dikkate alındığında yenilenebilir enerji kaynakları istinasız kullanılacak ilk alternatif olarak boy göstermektedir (Shoaib ve ark. 2019).

Çevre sorunları muazzam ölçüde yayıldıkça birçok ülke yenilenebilir enerji teknolojilerine yönelmiştir. Gelişmekte olan dünyanın lideri olabilmek için de bu teknolojilerin üretilmesi ve kullanılması gerekmektedir. Bu ülkeler enerji verimliliği, çevre ve sürdürülebilir kalkınma ile ilgili birçok araştırma yapmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları artık dünyanın büyük bir bölümünde enerji sektöründe ana seçeneklerden biri haline gelmiştir. 2018’de 90’dan fazla ülkede 1 GW’dan fazla, 30 ülkede ise 10 GW’dan fazla yenilenebilir güç kapasitesi bulunmaktadır. Yenilenebilir enerji kapasitesi 2018’de rüzgar ve güneş enerjisi liderliğinde %8 oranında bir artış göstermiştir (Şekil 2.2) ve en az 9 ülke değişken yenilenebilir enerji ile elektriğinin %20’den fazlasını üretmiştir (Anonim 2019a).

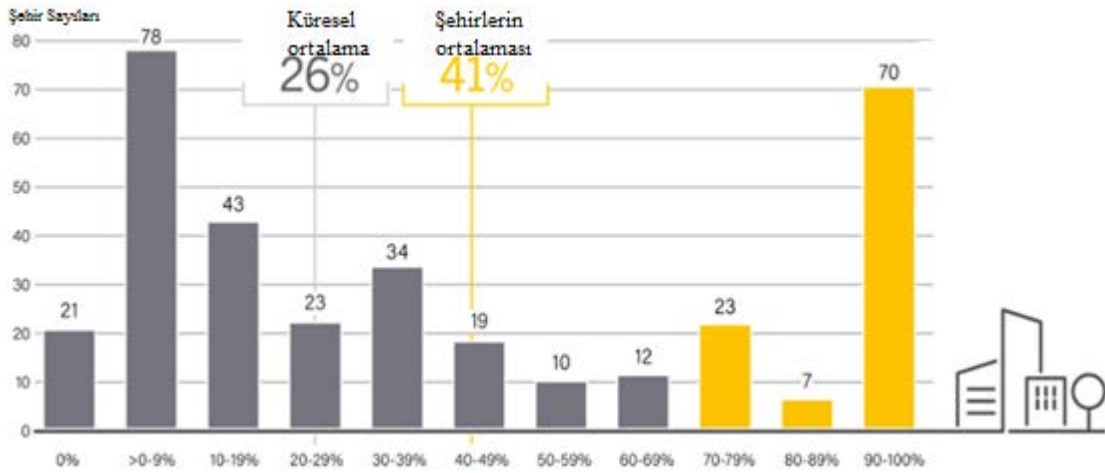


Şekil 2.2. Küresel güç üretme kapasitesi (Anonim 2019a)

Enerji, ısıtma, soğutma ve ulaştırma sektörleri arasındaki entegrasyonu geliştirmek için dijitalleşmeyle birlikte tamamen yenilenebilir enerjiye dayalı bir dünyaya geçiş sağlanacaktır. Son yıllarda elektriğin %100’ünü yenilenebilir kaynaklardan tedarik ve temin etme konusunda şehir ve ülkelerin artan bir hareketi olmuştur. Kosta Rika, Cibuti ve İsveç kadar çeşitli ülkeler güç sektörlerinde %100 yenilenebilir olma hedeflerini belirlemiştir. İzlanda ve Norveç ise tüm elektriğini yenilenebilir enerjiden üretmektedir.



2018'in sonunda dünya çapında en az 100 kentin, elektrik enerjisinin %70'inin veya daha fazlasının yenilenebilir kaynaklardan olduğu bildirilmiştir. Bu kentlere Auckland (Yeni Zelanda), Dar es Salaam (Tanzanya), Nairobi (Kenya) ve Seattle (U.S) gibi yerler de dahildir. Latin Amerika'da 40'tan fazla şehir ise tamamen yenilenebilir enerji kaynakları ile elektriğini üretmektedir (Anonim 2019a). Şekil 2.3'te enerjisini yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılayan şehirlerin sayısı ve yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanma oranları verilmiştir.



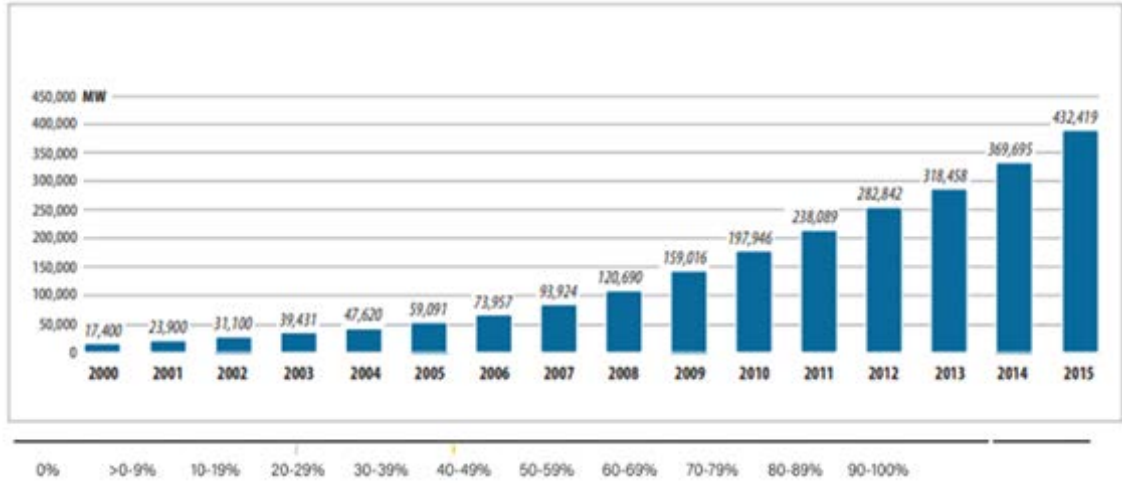
**Şekil 2.3.** Şehirlerin yenilenebilir enerji gücünü kullanma oranları (Anonim 2019a)

Yenilenebilir enerji kaynaklarının temeli güneş enerjisine dayanmaktadır. Güneşten yeryüzüne gelen ışınımın önemli bir kısmı uzaya geri yansır, yeryüzünde kalan kısmı ise dönüşüme uğrayarak ihtiyacımız olan enerjinin temel kaynağını oluşturur (Vardar ve Alibaş 2008).

Güneşten yer yüzeyine her saat 100 000 000 000 000 kWh'lik enerji gelmektedir. Bu gelen enerjinin yaklaşık % 1-2'si rüzgar enerjisine dönüşmektedir (Özgener 2002).

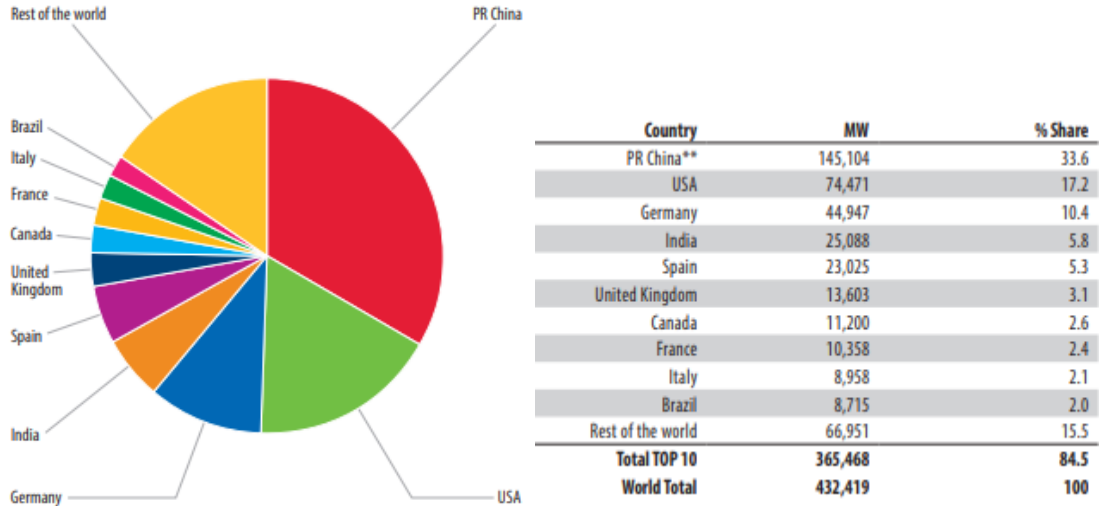
Rüzgar enerjisi, rüzgar hızının küpü ile doğru orantılı olduğundan rüzgar hızı ölçümlerinin doğru bir şekilde yapılması ve değerlendirilmesi çok önemlidir. Çünkü bu ölçümler bize belli bir rüzgâr hızının bir yılda kaç saat veya kaç on dakika estiğini vermektedir (Çubukçu ve Özdamar 2000).

Global Enerji Konseyinin son raporuna göre rüzgar enerjisi için mevcut küresel kümülatif kurulu güç 432 MW'tır (Şekil 2.4). Son 5 yılda %119 oranında bir artış olmuştur.



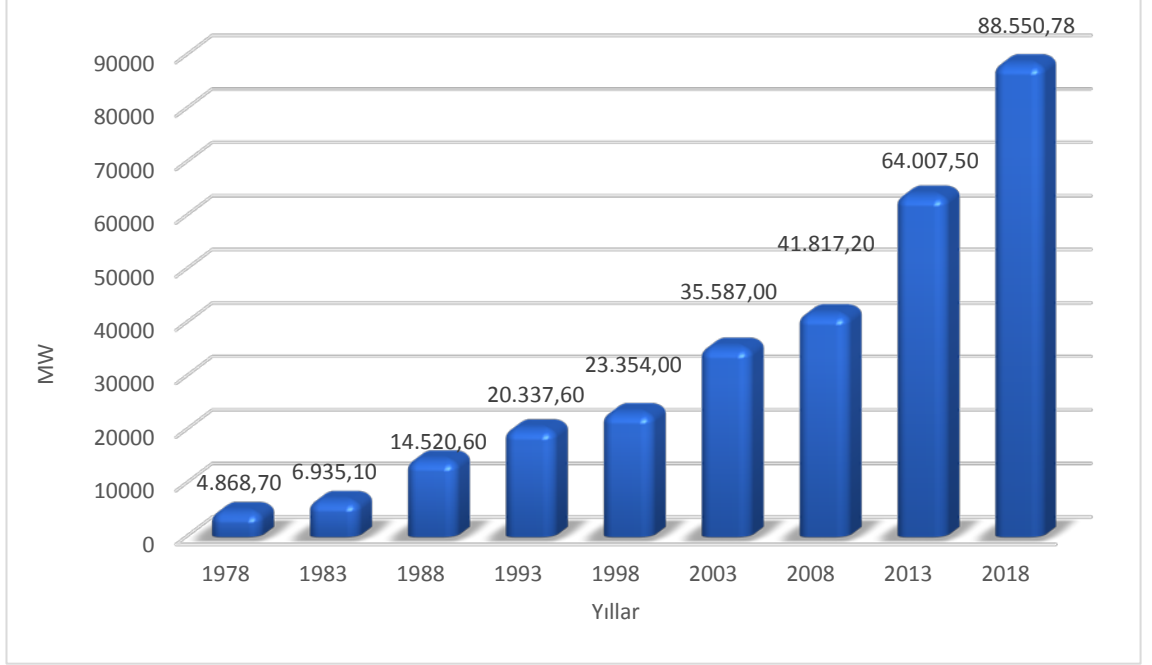
Şekil 2.4. Küresel kümülatif kurulu rüzgar kapasitesi (Anonim 2019a)

Dünya'da rüzgar piyasasındaki kurulu güç sıralaması; Çin 145,1 GW, ABD 74,5 GW, Almanya 44,9 GW, Hindistan 25,1 GW, İspanya 23,0 GW şeklindedir (Şekil 2.5).

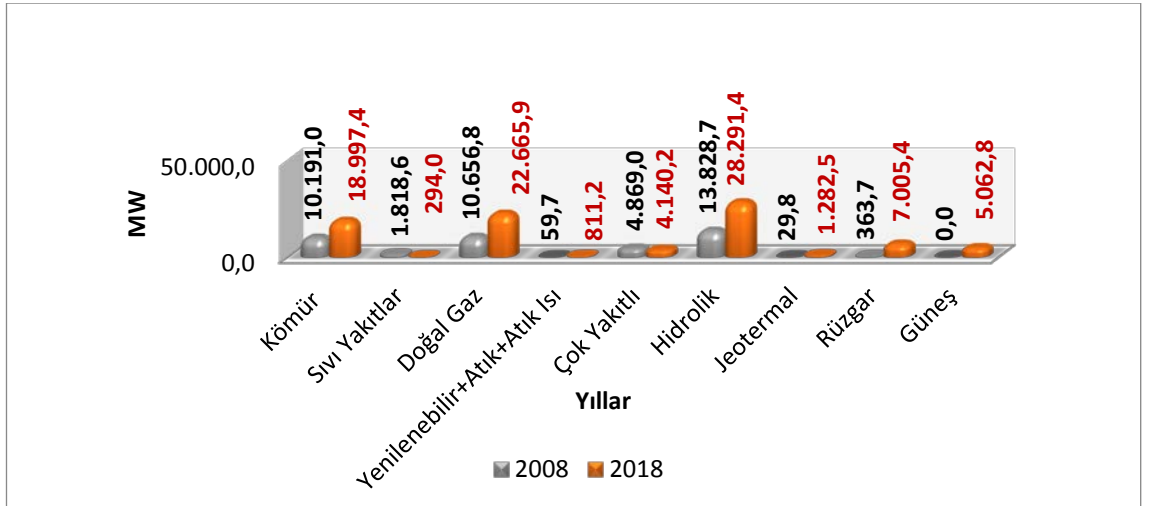


Şekil 2.5. Dünya'da rüzgar gücü kurulu güç oranları ve sıralaması (Anonim 2016)

Türkiye’de kurulu güç her geçen yıl artmaktadır. TEİAŞ’ın istatistiklerine göre Türkiye’nin 2018 yılındaki kurulu gücü 88 550 MW’tır (Şekil 2.6). Bu değer içerisinde rüzgar enerjisinin payı ise 7 005 MW’tır (Şekil 2.7).



**Şekil 2.6.** Türkiye’de elektrik üretim amaçlı kurulu gücün yıllar itibariyle gelişimi  
(Anonim 2019b)



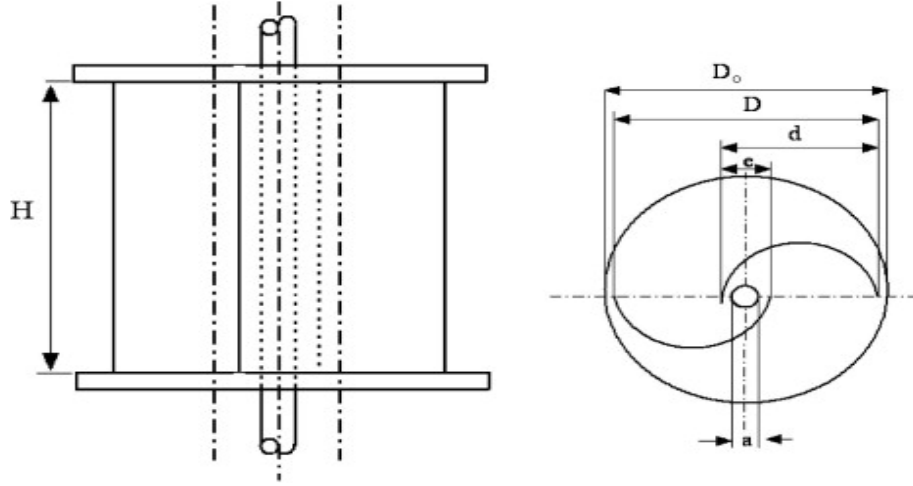
**Şekil 2.7.** Türkiye’de elektrik üretiminin birincil enerji kaynakları içindeki dağılımı  
(Anonim 2019b)

Türkiye'nin 2025 yılı hedefi olan 25,2 milyar kWh rüzgar elektriğine ulaşabilmek için, kapasite faktörü %18 alındığında, 600 kW nominal güçlü 2 664 adet rüzgar türbininin kurulması gerekmektedir. 1 rüzgar türbini yatırım giderine göre hesap yapıldığında; bu 3,7 milyar DM yatırım demektir (Özdamar 2000).

Rüzgardan elektrik üretmek için yatay eksenli ve dikey eksenli rüzgar türbinleri kullanılır. Yatay eksenli rüzgar türbinlerinin yaygın olarak kullanılmasının sebebi enerji üretim veriminin yüksek olmasıdır. Fakat geometrik yapılarından dolayı üretimleri (imalatları) zordur. Dikey eksenli rüzgar türbinleri ise daha basit bir yapıya sahip olduğundan ve üretim olanaklarının kısıtlı olduğu yerlerde, daha düşük verime sahip olmasına rağmen alternatifliğini hala devam ettirmektedir (Şentürk ve Özdamar 2017).

Yatay eksenli rüzgar türbinleri aerodinamik bir kanat formuna sahip oldukları için güç faktörü değerleri 0,50'ye dayanır. Dikey eksenli türbinlerden Savonius tip rotorlarda güç faktörleri 0,25 ile 0,30 aralığındadır. Savonius türbinlerin moment faktörleri yatay eksenlilere göre daha büyük değerler almaktadır. Bu sebeple Savonius rotorlar, durağan haldeyken gelen düşük rüzgar akımları ile dönmeye başlayabilir. Savonius rüzgar türbinleri tasarımları nedeniyle hakim rüzgar yönünden bağımsız çalışırken, yatay eksenli rüzgar türbinleri hakim rüzgar yönüne çevrilmek için elektrik motorlarına ihtiyaç duyarlar. Yatay eksenli rüzgar türbinlerinde ana aksanlar (dişli kutusu, jeneratör gibi) kulenin tepesine konulurken, Savonius rüzgar türbinlerinde tüm aksanlar zemine yerleştirilebilir. Savonius rüzgar türbinleri maddi olanakların ve montaj becerilerinin kısıtlı olduğu yerlerde düşük verimliliklerine rağmen halen tercih edilebilecek bir alternatiftir (Şentürk ve Özdamar 2017).

Savonius türbin, 1922 yılında Finlandiyalı mühendis Sigurd Johannes Savonius tarafından icat edilen dikey eksenli bir rüzgar türbinidir. En basit haliyle bu türbin; karşılıklı yönde iki tane yarım silindirin merkezdeki bir mile sabitlenmesinden meydana gelir (Şekil 2.8). Bu yarım silindirler rüzgarı yakalar ve şaftı döndürür. Böylece silindirler rüzgarın akış yönüne gelmiş olurlar. Daha sonra ise silindirler bu işlemi tekrarlayarak milin daha fazla dönmelerini ve tam bir dönüş yapmasını sağlarlar. Rüzgar estiğinde ve şaft döndüğünde devam eden bu işlemler, bir pompayı ve jeneratörü çalıştırmak için kullanılabilir (Ragheb 2011).

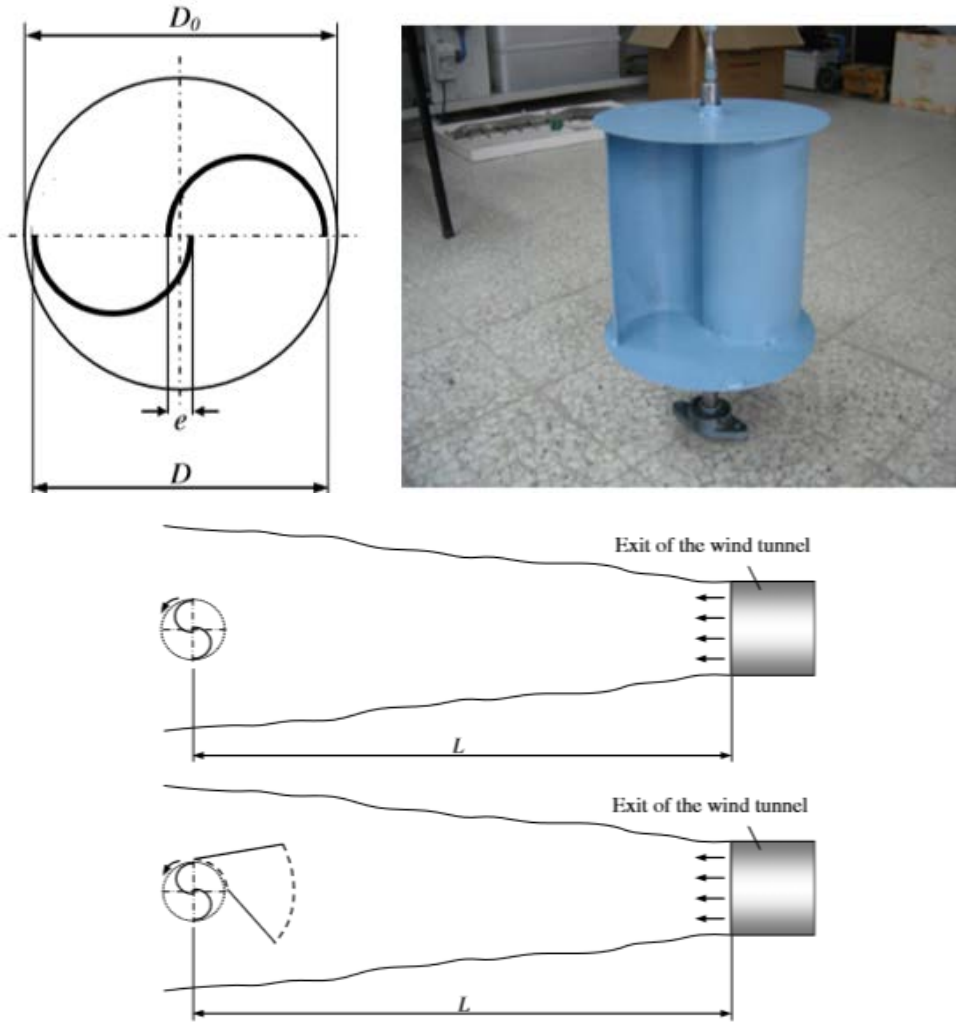


**Şekil 2.8.** Savonius türbininin üstten ve yandan görünüşü (Ragheb 2011).

Savonius rüzgar türbinlerinin dönme eksenleri rüzgar yönüne diktir. Bu türbinlerin kanatları da düşeydir. Verimleri yaklaşık olarak %35'tir. Türbinlerin üreteç ve vites kutusu toprak seviyesinde olduğundan büyük maliyet gerektiren bir kuleye ihtiyaçları yoktur ve Yaw mekanizmasına gerek duymazlar. Bu yüzden düşük rüzgar hızlarında çalışabilirler. Kanat sayısının artması, malzeme ağırlığında artmasına sebep olduğundan yüksek rüzgar hızlarında verimsiz çalışırlar. Rotor çapı 5 m olan bir türbinden yaklaşık olarak 0,5 kW güç elde edilir (Nurbay ve Çınar 2005).

Savonius rotorlar, iki yatay disk arasına yerleştirilmiş ve merkezleri birbirine göre simetrik olarak kaydırılmış iki yarım silindirden de oluşturulabilir. Savonius rotorlarda, belirli hızla gelen rüzgar, silindirin iç kısmında pozitif dış kısmında ise negatif bir moment oluşturur. Pozitif moment negatif momentten büyük olduğu zaman türbin pozitif moment yönünde dönmeye başlar (Ushiyama ve Nogai 1988).

Altan ve Atılgan (2008) Savonius rüzgar türbininin önüne perdeler yerleştirerek denemeler yapmışlar ve ideal perde açılarını belirlemişlerdir (Şekil 2.9). Bu perde rotorun dışbükey kanadı üzerine gelen negatif torku önlemek için yapılmıştır. Rotorun maksimum güç katsayısını optimum perdeleme düzenlemesi ile %38,5'e kadar yükseldiği saptamıştır. (Altan ve Atılgan 2008).



**Şekil 2.9.** İki rotorlu Savonius rüzgar türbini ve sistemin perdeli ve perdesiz hali (Altan ve Atılğan 2008)

Mahmoud ve ark. 2012 yılında Savonius rüzgar türbini üzerine yapılan farklı tasarımları inceleyerek, en etkin çalışma parametrelerini belirlemiştir. Şekil 2.10.'da Savonius türbinin tek ve çift kademeli hali verilmiştir. Bu çalışmada iki, üç, dört kanatlı rotorlar, tek ve çift kademeli, uç plakalı ve uç plakasız, Savonius türbinin optimum geometrilerini belirlemek için farklı en boy oranları (0,5-1-2-4-5) ve örtüşme oranları (0...0.35) ile deneysel olarak incelenmiştir. İki kanatlı rotorun 3 ve 4 kanatlı rotordan daha yüksek mekanik güç sağladığını tespit etmişlerdir. Uç plakalı rotordan, uç plakasız rotora göre daha yüksek verim elde edilebildiğini hesaplamıştır. Çift kademeli rotorun da, tek kademeli rotora göre daha yüksek performans sağladığını bulmuşlardır (Mahmoud ve ark. 2012).



**Şekil 2.10.** Tek ve çift kademeli Savonius rüzgar türbini (Mahmoud ve ark. 2012)

Reupke ve Robert (1991) Savonius rüzgar türbinlerinin çalışma etkinliğini arttırmak için, türbin kanatlarının kavisli kısımlarının yerine menteşelenmiş kanatçıklar yerleştirmişlerdir. Kanatçıklar rüzgara doğru ilerlerken, rüzgar basıncının etkisinde otomatik olarak açılmakta ve daha az akış direnci elde edilmektedir. Kanatçıkların ilk konumuna gelirken de, tekrar otomatik olarak kapandığını tespit etmişlerdir. Ayrıca çok düşük uç hız oranlarında, düzeltilmiş parçalı kanatlı çarklardan klasik Savonius rüzgar türbinlerine oranla daha yüksek momentler de elde etmişlerdir.

Roy ve ark. (2014) Savonius rüzgar türbini için yeni bir kanat tasarımı geliştirerek bu türbinin aerodinamik performansını yönlendirilmiş bir jet altında değerlendirmişler ve türbin performansında önemli gelişmeler olduğunu saptamışlardır.

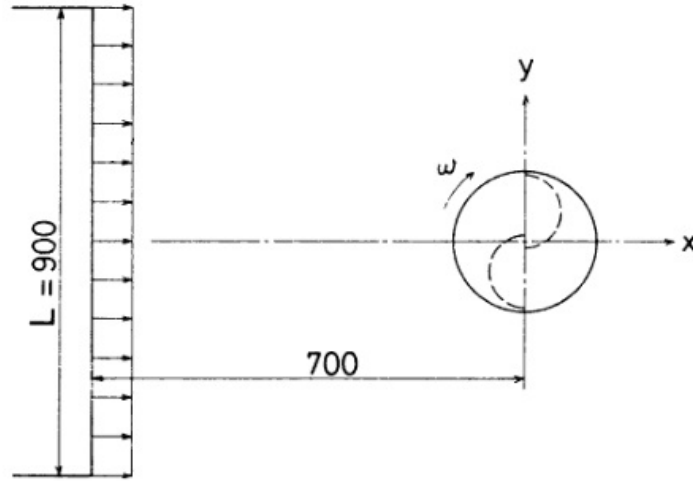
Mohamed ve ark. (2011) ise klasik Savonius türbininin verimliliğini, dönen kanadı koruyan bir engel levhası yerleştirerek %40 oranında arttırmışlardır.

Göktaş ve Kılıç (2019) tarafından yapılan çalışmada, Savonius tipi dikey rüzgar türbini tasarlanmış ve çevresindeki havanın hız ve basınç dağılımı sayısal olarak incelenmiştir. Türbin  $0^{\circ}$ - $45^{\circ}$ - $90^{\circ}$ - $135^{\circ}$  olmak üzere dört farklı açıda konumlandırılıp bu açılar için 3-6-9 m/s rüzgar hızı ve basınç dağılımı grafikleri elde edilmiştir. En büyük hava hızı 9 m/s ve  $0^{\circ}$  konumda kanat çevresinde en fazla hız 21,33 m/s olarak elde etmişler. Tüm

basınç grafikleri için en yüksek basınç  $0^\circ$  ve  $45^\circ$ 'de  $86,36 \text{ Pa}$  (+ atmosfer basıncı) olarak tespit edilmiştir.

Gül ve Kolip (2018) çalışmalarında Savonius rüzgar türbininin dışbükey olan kanadındaki ters direnci azaltarak kanat performansını arttırmaya yönelik bir kanat tasarımı yapmışlardır. Parabolik olarak yerleştirilmiş, rüzgarın yönüne göre açılıp kapanarak dışbükeydeki ters direnci azaltan parça kanatlar tasarlamışlardır. Bu parça kanatlı tasarımlarında güç katsayısını  $0,38$  olarak bulmuşlar ve diğer modellere göre %40'a yakın bir iyileştirme olduğunu saptanmıştır.

Fujisawa ve Shirai (1987) yaptıkları çalışmada Savonius rüzgar türbininin iç ve dış bükey kanatlarının konumlandırılması üzerine yönelerek en ideal mesafeyi belirlemişlerdir. Şekil 2.11.'de gösterildiği gibi çalışmalarında en iyi performans için ideal uzaklığı  $700 \text{ mm}$  olarak bulmuşlardır.



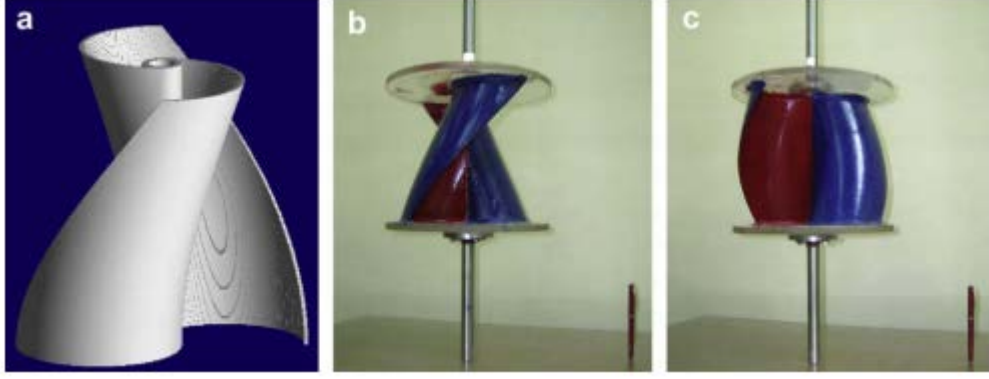
**Şekil 2.11.** En iyi performans için ideal uzaklık (Fujisawa ve Shirai 1987)

Ogawa ve ark. ise (1989) yaptıkları çalışmada Savonius rüzgar türbininin önünde rüzgarı yönlendirecek levhalar kullanarak performans artışı sağlamışlardır.

Saha ve ark. (2008) Savonius rotar sisteminin tek, 2 ve 3 kanatlı aerodinamik performanslarını değerlendirmek için rüzgar tüneli testleri yapmışlardır ve en iyi güç katsayısına iki kanatlı rotorda ulaştıklarını rapor etmişlerdir.



Kamoji ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada en boy oranı 0,88 olan Helical Savonius rotorun, en boy oranı 0,93 ve 1,17 olan rotordan daha yüksek performans gösterdiğini bulmuşlardır. Yaptıkları çalışmada kullandıkları Helezonik Savonius Rüzgar türbini Şekil 2.12.'de verilmiştir.



**Şekil 2.12.** Helezonik Savonius rotoru (Kamoji ve ark 2008)

Kanat en boy oranı, kanat üst üste binme, boşluk ve uç uzantıları, Alexander ve Holownia (1978) tarafından test edilmiştir. Bu testler bir rüzgar tüneline 6 ve 9 m/s rüzgâr hızlarında ve Savonius rotor konfigürasyonları üzerinde yapılmıştır. En boy oranındaki artışın rotor performansında iyileşmeye neden olduğu sonucuna varmışlardır. Üç ve dört kanat kullanılarak yapılan testler, iki kanat kullanılarak yapılan testlerden önemli ölçüde daha az verim sağlamıştır. Çalışmada ayrıca uzantıların ve rotor örtülme oranlarının artmasıyla verimliliğin de arttığı saptanmıştır.

Shankar (1979) Savonius rüzgar türbinlerinin 2 ve 3 kanatlı geometrileri üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada iki kanatlı Savonius rüzgâr türbinlerinin, üç kanatlılara göre neredeyse %50 daha yüksek tepe gücü çıkışına sahip olduğunu bulmuştur.

Aldoss ve Najjar (1985) Savonius çarkının performansı üzerine ‘sallanan kanatlı çark’ kullanarak deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında Savonius rüzgar türbinlerinin performansını, hem rüzgarın gerisinde hem de rüzgara doğru, çark kanatlarının bir optimum açı ile geriye doğru sallanmasını sağlayarak geliştirmişlerdir.

Araya ve ark. (2015) akış ve motor sürücülü türbini, belirlenen hızlarda su kanalı tesisinde çalıştırmışlardır. Çalışmada su kanalının önüne 3 kanatlı türbin yerleştirilmiş

ve türbin türbülansının deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada rotor torkunu ölçmek için türbin milinin üstüne dijital enkoderli (Futek TRS705) döner bir tork sensörü bağlanmıştır.

Howell ve ark. (2010) yaptığı çalışmada kanat yüzey pürüzlülüğünün türbin performansına etkisini incelemiştir. Türbin çıkış gücünü ölçmek için basit bir tork fren sistemi kullanmışlardır. Dengeli iki yay arasındaki ayrılmış mesafe değiştirilerek, türbin rotor sürücü şaftına uygulanan tork azaltılıp arttırılmıştır. Yay dengesi ve sürücü şaftı yarıçapına uygulanan güçteki farklılıkları kullanarak uygulanan tork hesaplanmıştır. Güç çıkışını hesaplamak için hesaplanan bu tork, optik takometre tarafından herbir dönüşte toplanan veri ile bulunan türbin dönüş hızıyla birleştirilmiştir. Atalet momenti ise Spin Yöntemi ile bulunmuştur. Bu yöntem rotorun dönüş hızının değişmesi esnasında açısal hızın optik enkoder ile anlık olarak ölçülmesi ve böylelikle ivmenin hesaplanması temeline dayanmaktadır.

Eboibi ve ark. (2016) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise tork doğrudan torkmetre ile ölçülmemiştir. Tork, türbin sistemindeki atalet momenti ile ivmelenme ölçülerek hesaplanmıştır. Türbin performansı, önceki çalışmalarında da kullandıkları Spin yöntemi ile ölçülmüştür.

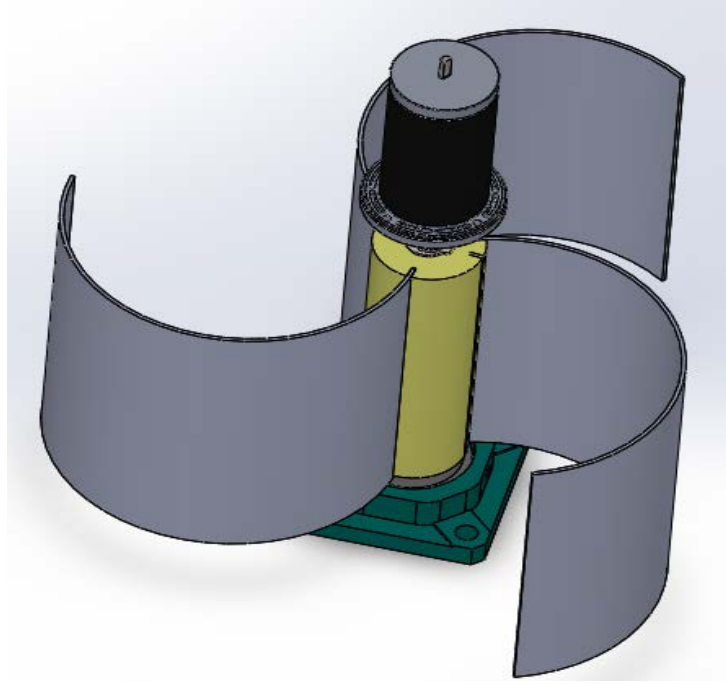
Li ve ark. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada ise 2 kanatlı düşey eksenli rüzgar türbini testi, güç performansı, rüzgar tüneli ve arazi testleri ile yapılmıştır. Testlerde pitch açısı, Reynolds sayısı ve rüzgar hızının DERT güç olarak performansa etkisi değerlendirilmiştir. Yapılan rüzgar tüneli ve saha testlerinde kanat uç oranı arttıkça güç katsayıları ile ilişkisi incelemiştir.  $4^\circ$ ,  $6^\circ$ ,  $8^\circ$ 'lerde en yüksek  $C_p$  değerlerinin, sırasıyla  $\lambda = 2,13$  ,  $2,19$  ,  $2,26$  kanat uç hızı oranları için elde edildiği görülmüştür. Güç katsayılarının en yüksek değeri için pitch açısı  $6^\circ$ ,  $\lambda = 2,19$  ve rüzgar hızı  $8 \text{ m/s}$  iken  $C_p = 0,208$  olarak elde edilmiştir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Bu çalışmada; literatür taraması ve imalat kolaylığı göz önünde bulundurularak dikey eksenli rüzgar türbinlerinden Savonius tipi rüzgar türbini üzerinde çalışılmıştır. Bu kapsamda iki, üç ve dört olmak üzere farklı kanat sayılarıyla tasarım yapılmıştır. Kanatlar bir mil üzerinde çıkarılıp takılabilecek özellikte tasarlanmıştır. Sistemde elektrik jeneratörü olarak kullanılacak DC motorun, sistemin üzerine gelecek şekilde mile sabitlenmesi düşünülmüştür. Şekil 3.1.'de rotorun ilk tasarımı görülmektedir.

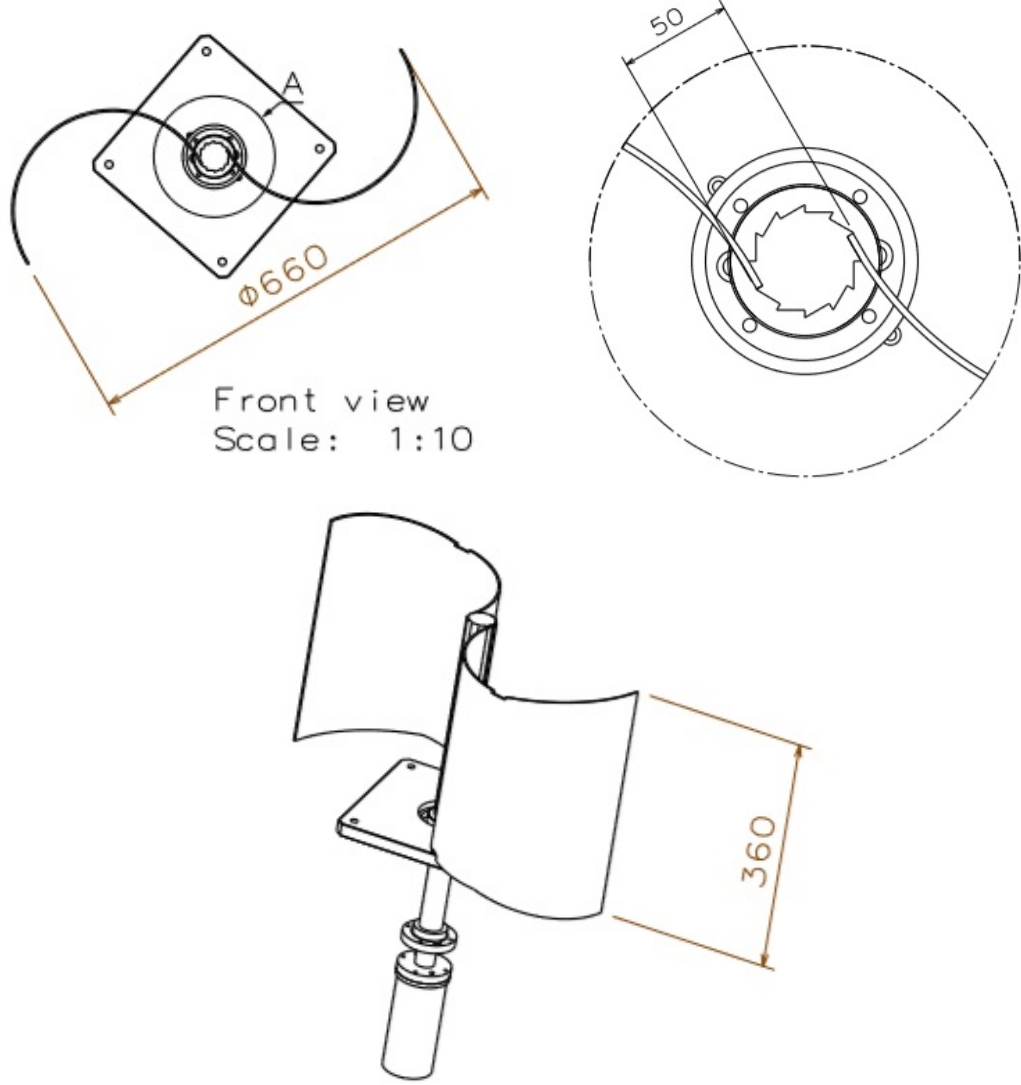
##### 3.1.1 Rotor



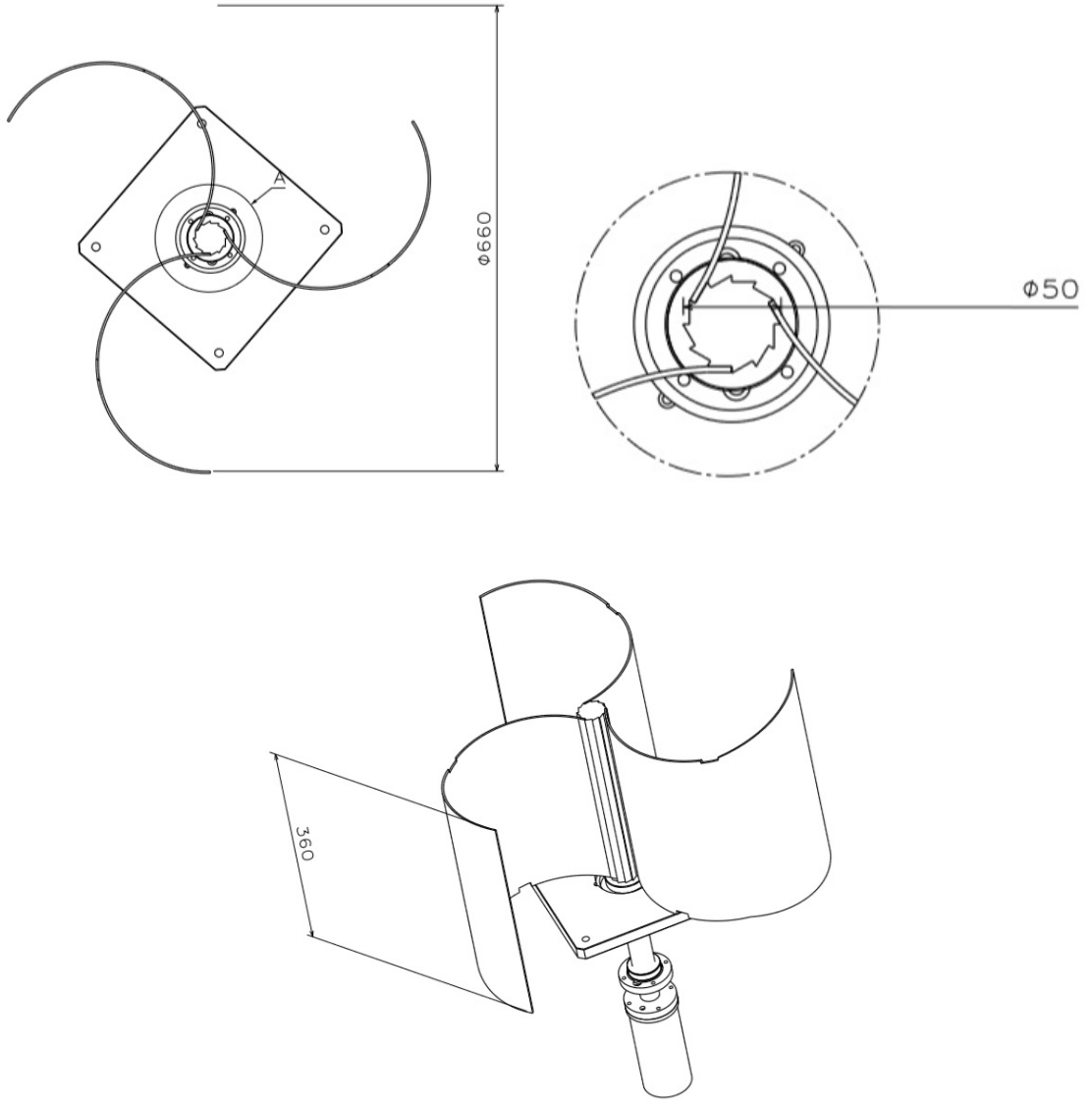
Şekil 3.1. Savonius rüzgar türbininin ilk tasarımı

Tasarım aşamasından imalat aşamasına doğru karşılaşılan teknik zorunluluklardan dolayı tasarım güncellenmiştir. Bu aşamada elektrik jeneratörü olarak kullanılacak DC motor, montaj kolaylığı ve yük binmesinin engellenmesi için sistemin alt tarafına monte edilerek tasarım yeri değişmiştir.

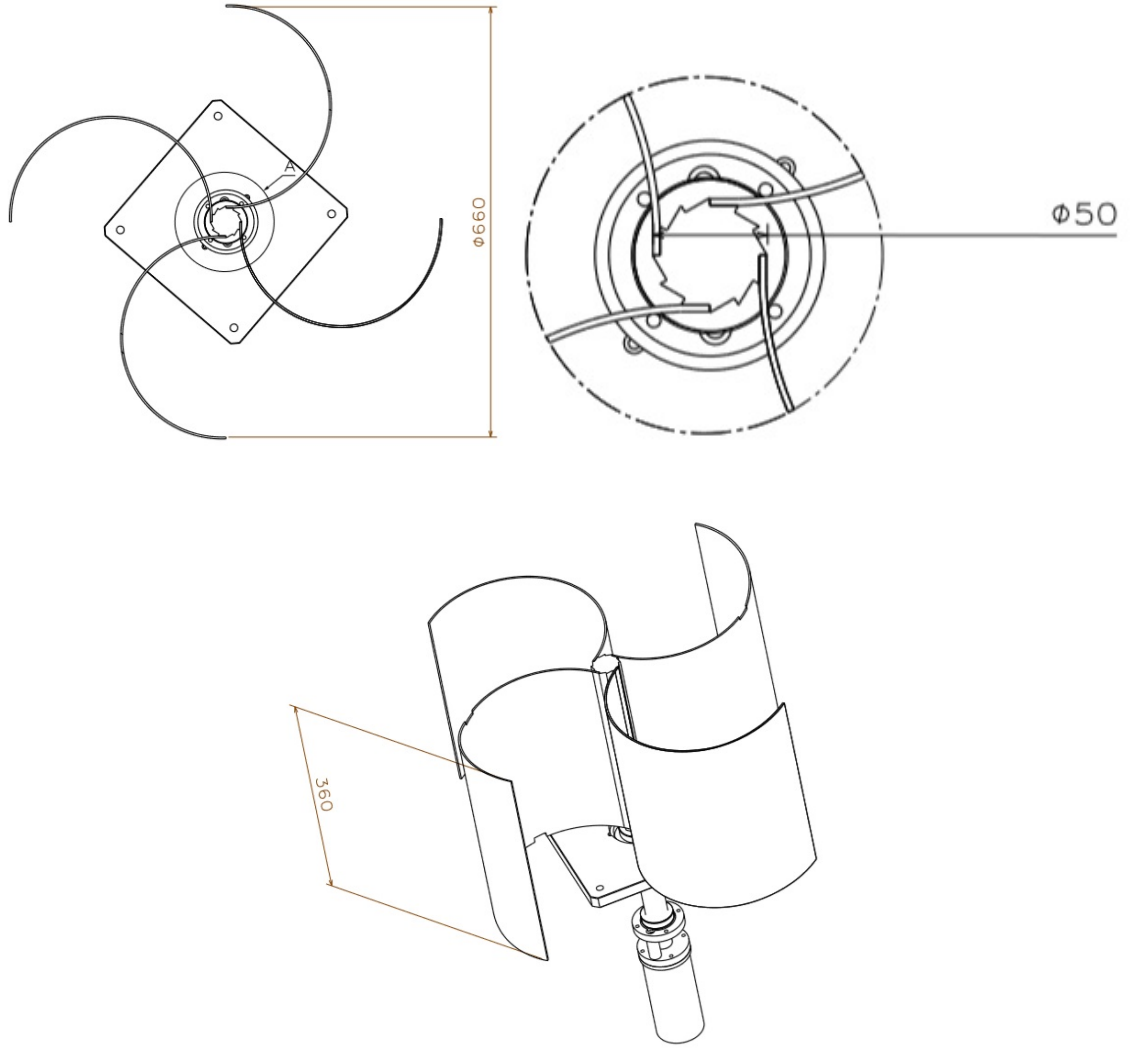
Tasarımı yapılan Savonius rüzgar türbininin iki, üç ve dört kanatlı son halinin teknik çizimleri ve genel ölçüleri Şekil 3.2 , 3.3 , 3.4'te verilmiştir.



**Şekil 3.2.** İki kanatlı Savonius rüzgar türbininin teknik çizimleri



**Şekil 3.3.** Üç kanatlı Savonius rüzgar türbininin teknik çizimleri



**Şekil 3.4.** Dört kanatlı Savonius rüzgar türbininin teknik çizimleri

Sistemde elektrik jeneratörü olarak kullanılacak DC motor (Şekil 3.5) ve özellikleri (Çizelge 3.1)'de verilmiştir:

**Çizelge 3.1.** DC motorun özellikleri

Gerilim	48 Volt
Akım	5,4 Amper
Devir	3000 rpm
Güç	200 Watt
Moment	0,9 Nm (stall)



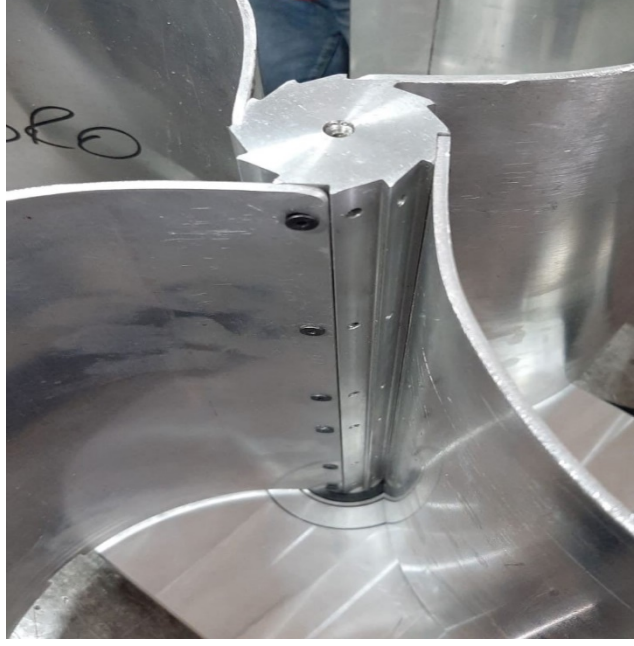
**Şekil 3.5.** Sistemde elektrik jeneratörü olarak kullanılacak DC motor

Tasarımı yapılan ve imalatı gerçekleştirilen Savonius rüzgar türbini, Vardar ve ark. (2015) tarafından tasarlanan ve Bursa Uludağ Üniversitesi atölyesinde muhafaza edilen yoğunlaştırma sisteminin içine monte edilmiştir (Şekil 3.6).



**Şekil 3.6.** Yoğunlaştırma sistemi ile birlikte Savonius Rüzgar Türbini

Kanatlar mile sklp takılabilecek Şekilde tasarlandığından, mile vidalarla sabitlenmiŐtir. Mile, oniki (12) kanat monte edilebilecek Şekilde oyuklar açılmıŐtır (Şekil 3.7).



**Şekil 3.7.** Mil ve kanat montajı

Kanat renginin metalik gri olması sebebiyle devir ölçümlerinde takometre hataları tespit edilmiştir. Burada meydana gelen ölçüm hatalarının yansılardan kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Bu sebeple kanatlar siyah mat spreyci boya ile boyanarak giderilmiŐtir (Şekil 3.8-10).





**Şekil 3.8.** İki kanatlı Savonius rüzgar türbini

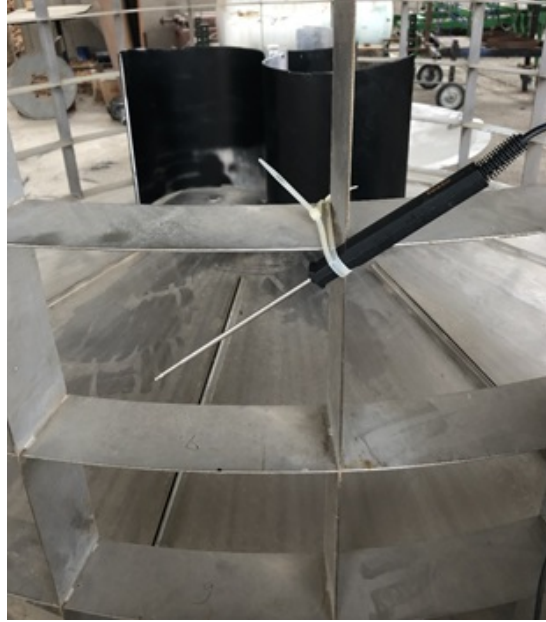


**Şekil 3.9.** Üç kanatlı Savonius rüzgar türbini



**Şekil 3.10.** Dört kanatlı Savonius rüzgar türbini

Rüzgar hızı ve sıcaklık ölçmek için kullanılacak probun konumunu tespit etmek için ön denemeler yapılmıştır. Ön denemelerde en yüksek performansı verecek hücreye karar verilmiştir. (Şekil 3.11).



**Şekil 3.11.** Probun konumu

### 3.1.2. Yoğunlaştırma Sistemi

Vardar ve ark. (2015) yoğunlaştırma sistemini, rüzgârın her yönden gelebileceğini göz önünde bulundurarak sisteme girişte rüzgârın esme yönlerinde hiçbir engelle karşılaşmayacağı şekilde tasarlamışlardır. Yoğunlaştırma sisteminde, rüzgârın sisteme giriş yaptığı kesitin yüksekliği 795 mm, rüzgârın rotor sistemiyle karşılaşacağı merkez kesitin yüksekliği 350 mm'dir. Genel ölçüleri ise; genişlik ve uzunluk 2 050 mm, yükseklik 1 300 mm ve rotor sisteminin yerleştirildiği merkez ünitesinin çapı 520 mm olarak tasarlanmıştır. Yoğunlaştırma sisteminin genel görünüşü Şekil 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.12. Yoğunlaştırma sistemi

### 3.1.3. Laboratuvar Koşulları için Deney Düzenekleri

Laboratuvar koşullarında yapılan denemeler için Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümüne ait Atölye kullanılmıştır. Söz konusu alan rüzgâr denemelerinin kontrollü bir şekilde yapılabilmesi için oldukça uygun bir alan özelliği taşımaktadır. Denemelerde bir adet “Radyal Fan” (Şekil 3.13) ve bir adet “Aksiyal Aspiratör” (Şekil 3.14-15) kullanılmıştır. Radyal fan 5,5 kW gücünde bir elektrik motoruna sahiptir. Aksiyal aspiratörler ise 3 kW motor gücüne, 1500 rpm devir sayısına, 380 V gerilim değerine ve 26 000 m<sup>3</sup>/h hava debisine sahiptir. Denemelerde kullanılan ölçüm aletleri, rüzgâr türbin sistemine uygun konumlarda yerleştirilmiş ve verilerin toplanması amacıyla da ölçüm aletlerine ait bir data logger kullanılmıştır. Data logger aracılığıyla toplanan veriler ise bir bilgisayar aracılığı ile depolanmıştır. Hazırlanan deney düzeneklerinin genel görünüşleri Şekil 3.16’da verilmiştir.



Şekil 3.13. Radyal fan



**Şekil 3.14.** Aksiyal aspiratör



**Şekil 3.15.** Aksiyal aspiratör



**Şekil 3.16.** Laboratuvar deney düzeneklerinin genel görünüşü

Elektriksel akım ve gerilim ölçümlerinde denetim ve kontrol amaçlı olarak A4Tech marka bir kamera kullanılmıştır (Şekil 3.17). Söz konusu denemeler esnasında bilgisayara bağlı olarak çalıştırılan kamera ile denemelerin çekimi yapılarak denetim ve kontrol sağlanmıştır.



**Şekil 3.17.** Denetim ve kontrol kamerası

Yapılan denemelerde ölçüm aletlerine ait data logger aracılığıyla toplanan veriler bir bilgisayara aracılığı ile depolanmıştır. Kullanılan bilgisayar Asus marka bir Netbook'tur.

### 3.1.4. Ölçü Aletleri ve Cihazlar

Denemelerde kullanılan ölçü aletleri ve cihazlar; rüzgâr hızı ölçüm cihazı ve rüzgar hızı ölçüm probu, basınç ölçüm probu, sıcaklık ölçüm probu, devir hızı ölçüm cihazı ve elektriksel ölçüm cihazları (multimetre) olarak sayılabilir. Aşağıda ölçü aletleri ve cihazların özellikleri verilmiştir.

#### Kontrol Ünitesi

Kontrol ünitesi bir adet “Testo 454” model kontrol cihazı, iki adet veri kayıt cihazı (data logger) ve bir adet bağlantı parçasından oluşmaktadır. Bu cihazın kendi üzerinde de bir adet veri kayıt cihazı (data logger) bulunmakta, diğer iki veri kayıt cihazı (data logger) kontrol cihazına entegre edilebilmektedir (Şekil 3.18). Kontrol ünitesi, denemeleri yapılan rüzgâr türbin sistemlerinde rüzgâr hız probunu, sıcaklık probunu ve basınç probunu kontrol etmektedir.



Şekil 3.18. Kontrol ünitesi (Kontrol cihazı, iki adet veri kayıt cihazı ve bağlantı parçası)

Kontrol ünitesi teknik özellikleri (Testo, 2011):

- Entegre yazıcı ünitesi
- 250 000 adet ölçüm sonucunu saklayabilen hafıza
- Bilgisayar bağlantısı
- LCD ekran
- Dahili basınç sensörü (40/200 hPa)
- Pitot tüpü ile hız / debi hesabı
- Cihaza ilgili prob (sensör) takılarak sıcaklık, nem, hava hızı, basınç, devir, ortamdaki CO, CO2 ve WBGT ölçümleri yapılabilmektedir.

### **Rüzgâr Hızı Ölçüm Cihazı ve Probu**

Rüzgâr hızı ölçümü amacıyla bir adet “CFM Master 8901” marka/model rüzgâr hızı ölçüm cihazı (anemometre), bir adet Testo Hot Bulb NTC marka/model termal rüzgâr hız probu kullanılmıştır. Termal hız probu kontrol ünitesi ile entegre çalışmaktadır. Anemometre ise kontrol ünitesinden bağımsız bir cihazdır. Rüzgâr hızı ölçüm cihazı ve problemlerin kalibrasyon sertifikaları bulunmaktadır. Bununla beraber çalışma kapsamında da kalibrasyonları yapılmıştır.

Anemometre (Şekil 3.19), rotor sisteminin gücünün saptanması amacıyla yapılan denemelerde rüzgâr hızının saptanması için kullanılmıştır. Termal rüzgâr hız probu (Şekil 3.20), sistemdeki rüzgâr hızının saptanması için kullanılmıştır.





Şekil 3.19. Rüzgâr hızı ölçüm cihazı (Anemometre)



Şekil 3.20. Termal rüzgâr hızı probu

Anemometre teknik özellikleri:

- Hava hızının yanında hava debisi ve sıcaklık ölçümü yapılabilmektedir.
- Hava hızı ölçüm aralığı : 0,4 ile 35 m/s arasında
- Hassasiyet :  $\pm 2\%$
- Tepki : 1 saniye

Termal rüzgâr hızı probu teknik özellikleri (Testo, 2011):

- Testo Hot Bulb NTC hız probu
- Çapı : 3 mm
- Hava hızı ölçüm aralığı : 0 ile 10 m/s arasında
- Sıcaklık ölçüm aralığı : -20 ile +70 oC arasında
- Hassasiyet :  $\pm 0,03$  m/s (ölçülen değerin  $\pm\%5$ 'i)

### Sıcaklık Ölçüm Probu

Rüzgâr türbin sistemlerinde sıcaklık değerlerinin saptanması amacıyla bir adet Testo 0604 9794 marka/model sıcaklık probu (Şekil 3.22) kullanılmıştır. Sıcaklık ölçüm problemleri kontrol ünitesiyle entegre olarak çalıştırılmıştır. Sıcaklık problemlerinin kalibrasyon sertifikaları da bulunmaktadır.



Şekil 3.22. Sıcaklık probu

Sıcaklık probu teknik özellikleri (Testo, 2011):

- Testo 0604 9794 sıcaklık probu
- Çapı : 1,4 mm
- Prob ucu çapı : 0,05 mm
- Uzunluk : 150 mm
- Ölçüm aralığı : -200 ile +600 °C arasında
- Hassasiyet : 1. Sınıf
- Uzunluk : 150 mm

- Tepki süresi : 1 saniye

### **Basınç Ölçüm Probu**

Çalışma kapsamında hava basıncının ölçümü amacıyla bir adet Testo 0638 1847 marka/model basınç ölçüm probu (Şekil 3.21) kullanılmıştır. Basınç ölçüm probu kontrol ünitesiyle entegre olarak çalıştırılmıştır. Basınç ölçüm probu rüzgâr türbin sistemlerinde ortam basıncının ölçülmesinde kullanılmıştır. Basınç ölçüm probunun kalibrasyon sertifikaları bulunmaktadır.



**Şekil 3.21.** Basınç ölçüm probu

Basınç ölçüm probu teknik özellikleri (Testo, 2011):

- Testo 0638 1847 basınç ölçüm probu
- Ölçüm aralığı : 0 ile +2000 hPa arasında
- Hassasiyet :  $\pm 5$  hPa
- Maksimum ölçüm değeri : +4000 hPa

### Devir Hızı Ölçüm Cihazı

Rotor sistemine ait devir hızının ölçümü amacıyla bir adet Testo 470 marka/model devir hızı ölçüm cihazı (Şekil 3.23) kullanılmıştır. Devir hızı ölçümü optik olarak gerçekleştirilmiştir. Cihaz, kontrol ünitesinden bağımsız çalışmaktadır. Bu sebeple zamansal eşgüdüm bilgisayarın internet bağlantısı yapılarak internet üzerinden sağlanmıştır. Devir hızı ölçüm cihazının kalibrasyon sertifikaları bulunmaktadır. Bununla beraber çalışma kapsamında da kalibrasyonları yapılmıştır.



Şekil 3.23. Devir hızı ölçüm cihazı

Devir hızı ölçüm cihazı'nın teknik özellikleri (Testo, 2011):

- Ölçüm aralığı (optik olarak) : 1 ile 99.999 rpm arasında
- Ölçüm aralığı (mekanik olarak) : 0,1 ile 19.999 rpm arasında
- Hız : 0,10 ile 1.999 m/dak arasında
- Uzunluk : 0,02 ile 99.999 m arasında
- Hassasiyet : Ölçüm değerinin  $\pm 0,02$ 'si kadar
- Rezolüsyon : 0,01 rpm (1 ile 99,9 rpm arasında)  
0,1 rpm (100 ile 999,9 rpm arasında)  
1 rpm (1000 ile 99.999 arasında)

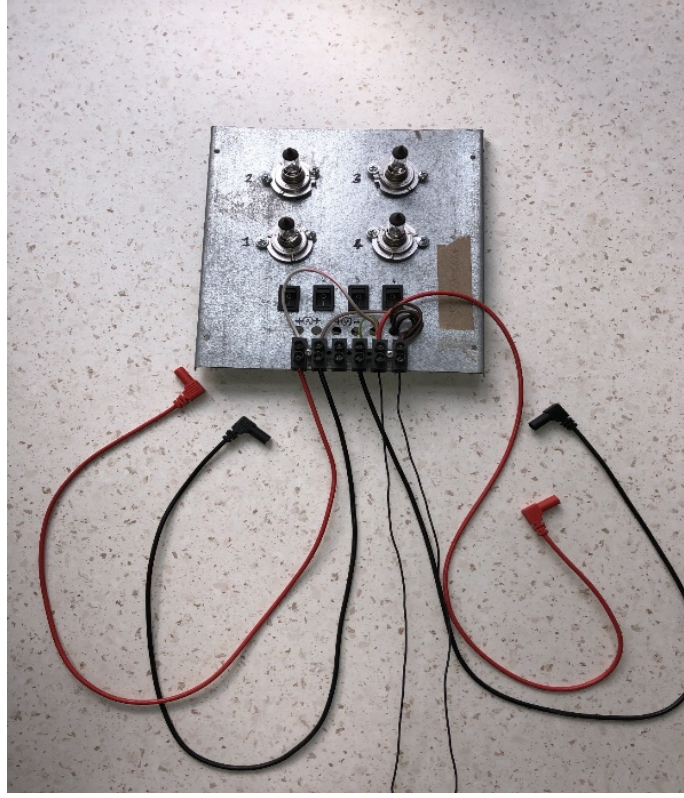
## Elektriksel Ölçüm Cihazları ve Elektrik Devresi

Rotor sisteminin elektriksel performansının tespit edilmesinde ve rüzgâr hızına bağlı olarak geliştirebileceği güç değerlerinin saptanmasında iki adet Protek 506 marka/model dijital multimetre kullanılmıştır (Şekil 3.24). Multimetrelerden biri rotor sisteminin ürettiği elektriksel akım değerini diğeri ise elektriksel gerilim değerini ölçmede kullanılmıştır. Ancak bir elektrik akımının oluşabilmesi ve ölçülebilmesi için üretilen elektriğin tüketilmesi gerekmektedir. Bu çerçevede bir elektrik devresi yapılarak üzerine 55 W'lık 4 adet ampul yerleştirilmiştir (Şekil 3.25). Devre üzerinde yer alan ampuller 55 W, 110 W, 165 W ve 220 W olarak dört farklı kademede devreye alınabilmektedir. Temel bir elektrik bilgisi olarak ampermetre devreye seri olarak ve voltmetre devreye paralel olarak bağlanır. Bu nedenle akım ölçmede kullanılan multimetre devreye seri olarak ve gerilim ölçmede kullanılan multimetre devreye paralel olarak bağlanmıştır. Aşağıda elektrik devresinin şematik şekli gösterilmiştir (Şekil 3.26).

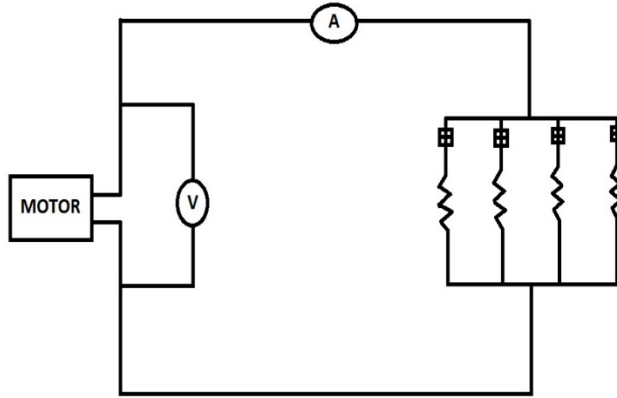


Şekil 3.24. Multimetre

Multimetre teknik özellikleri (Protek, 2011): Bilgisayar ile bağlantı, ACV (dBm), DCV, mV (AC/DC), Hz (ACV), Direnç,  $\mu$ A (AC/DC), mA (AC/DC), 20A (AC/DC), Süreklilik, Lojik, Diyot, Kapasite, Endüktans, Sıcaklık, Sinyal çıkışı



Şekil 3.25. Elektrik devresi



Şekil 3.26. Elektrik devre şeması

### 3.2. Yöntem

Denemelerde yapılan ölçümler aşağıda verilmiştir:

- Sistemin rüzgâr hızı
- Sistemin sıcaklık değeri
- Sistemin basınç değeri
- Elektriksel gerilim
- Elektriksel akım
- Rotor devir sayısı

Güç değerlerinin saptanmasında iki farklı yöntem kullanılmıştır. Bunlardan biri, rüzgâr pervanesinin bağlı bulunduğu elektrik motorunun çıkışında elektriksel dirençler kullanılarak elektriksel akım (I) ve gerilim (U) değerlerinden gücün saptanmasıdır (Çebi, 1999). Elektriksel güç ( $P_E$ ) olarak da ifade edebileceğimiz bu güç değeri 1 no.lu eşitlikle belirlenmiştir (Ackermann, 2009):

$$P_E = I \cdot U \quad (1)$$

Güç değerlerinin saptanmasında kullanılan diğer yöntem ise, rüzgâr hızı, hava yoğunluğu, rotor kesit alanı, rotor devir hızı, rotorun güç katsayısı ve rotorun mekanik verimi gibi argümanlar yardımıyla gücün saptanmasıdır. Bu kapsamda kullanılan eşitlikler aşağıda verilmiştir:

Rüzgâr Türbininden elde edilebilecek güç eşitliği (Betz, 1926; Klug, 2001):

$$P = 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p \cdot \eta \quad (2)$$

Rüzgâr türbinlerindeki mekanik kayıplar son kullanılan teknolojilerde minimize edilmiştir. Bu nedenle bu çalışmadaki mekanik kayıplar hesaplara dahil edilmemiştir. Buna göre (3) numaralı eşitlik aşağıdaki gibi revize edilebilir:

$$P = 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p \quad (3)$$

Alan: Rotorun kesit alanı hesaplanılmıştır.

$$A = D \cdot h \quad (4)$$

Havanın yoğunluğu (öztül kütle) (Rehman ve Al-Abbadi, 2005; Ültanır, 1987):

$$\rho = \frac{P}{R \cdot T} \quad (5)$$

Çevresel hız (Johnson, 2001):

$$V_{\zeta} = \frac{\pi \cdot n \cdot r}{30} \quad (6)$$

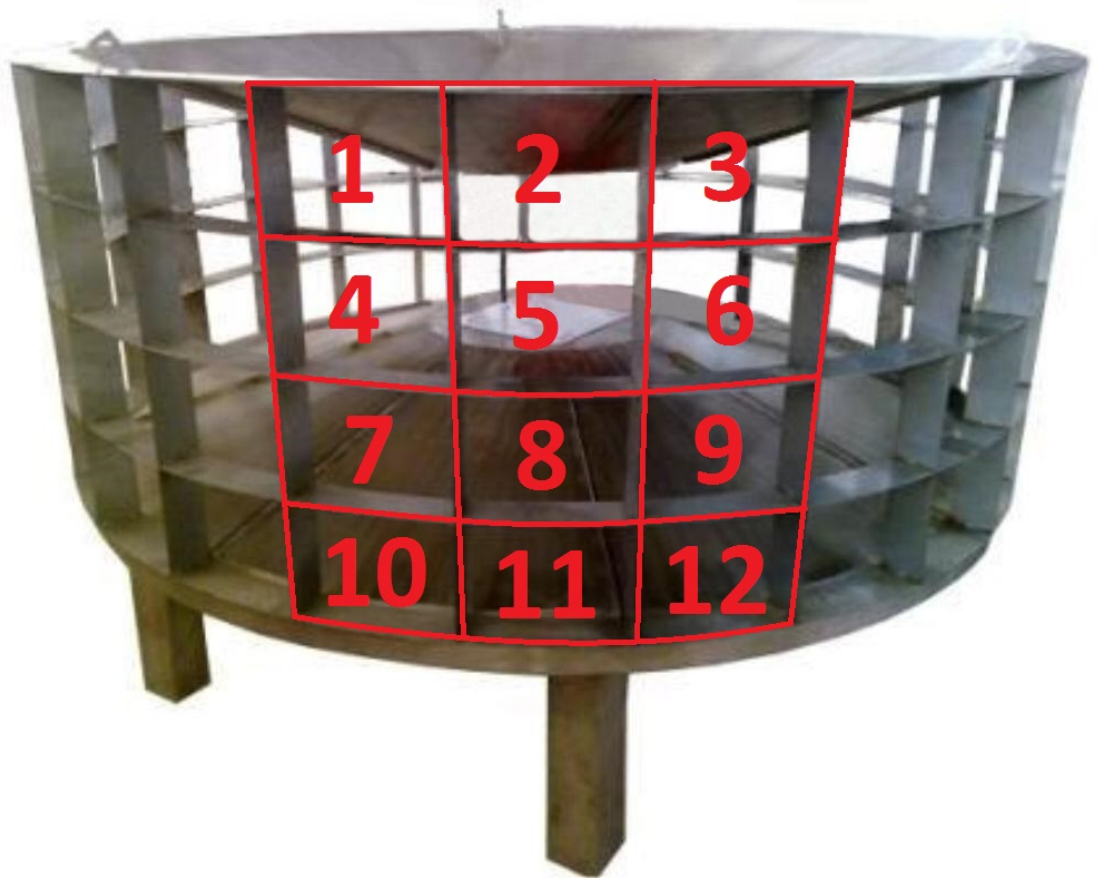
Uç hız oranı (Johnson 2001, Zahoransky ve ark. 2010):

$$\lambda = \frac{V_{\zeta}}{v} \quad (7)$$



#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında rüzgar hızı probunun yerleştirileceği hücreyi belirlemek için radyal fan ve aksiyal aspiratör kullanılmıştır. Hücreler Şekil 4.1’de gösterildiği gibi sınıflandırılmıştır. Radyal fan ve aksiyal aspiratör yoğunlaştırma sisteminden 1,5 m, 2 m ve 2,5 m uzaklığa yerleştirilerek her hücre için 10 farklı rüzgar hızı ölçümü yapılmıştır. Rüzgar hızlarının her hücre için ortalamaları alınmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir (Çizelge 4.1 ve 4.2).



Şekil 4.1. Yoğunlaştırma sisteminin hücreleri

**Çizelge 4.1.** Ön denemelerde radyal fanla yapılan rüzgar hızı ölçüm sonuçları (m/s)

1,5 m Ortalama 3,09 m/s			2 m Ortalama 2,63 m/s			2,5 m Ortalama 2,96 m/s		
1,44 ±1,04	3,09 ±0,61	0,84 ±0,56	2,18 ±1,12	3,15 ±1,55	1,56 ±0,54	2,53 ±1,83	4,01 ±1,81	1,43 ±1,47
2,77 ±1,67	7,11 ±0,41	2,34 ±2,06	3,96 ±1,54	4,69 ±2,09	2,32 ±2,18	3,98 ±2,18	4,95 ±1,15	2,85 ±1,75
3,19 ±1,79	7,32 ±0,92	2,69 ±1,29	2,76 ±1,46	2,84 ±1,64	2,34 ±1,04	3,33 ±1,87	3,69 ±1,69	2,62 ±2,12
1,15 ±0,75	3,58 ±1,08	1,63 ±1,57	1,95 ±1,95	1,45 ±1,75	2,35 ±1,35	1,93 ±1,63	2,45 ±1,35	1,77 ±1,13

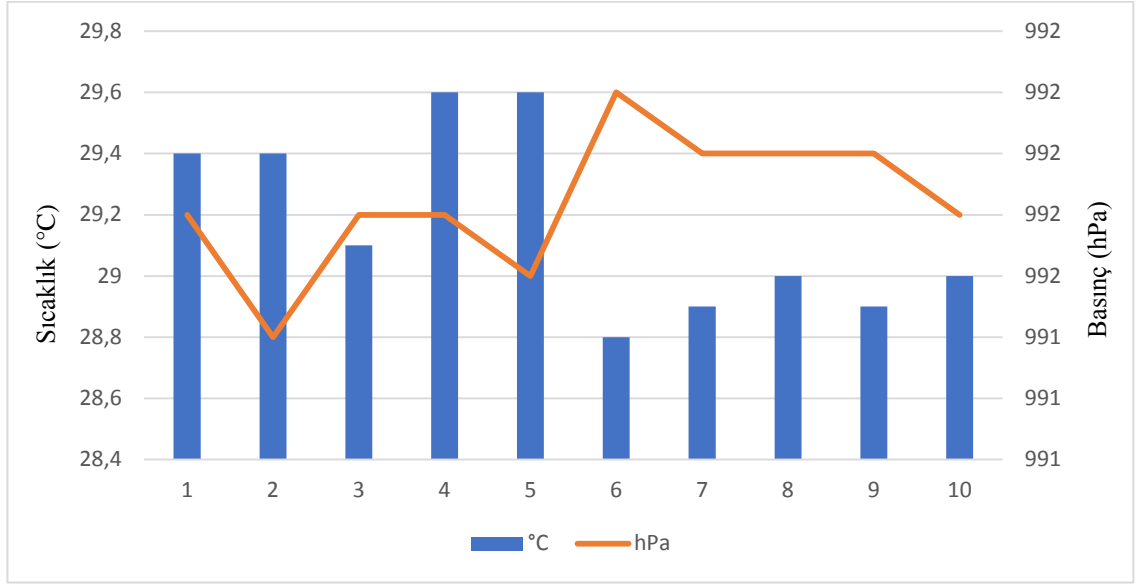
**Çizelge 4.2.** Ön denemelerde aksiyal aspiratörle yapılan rüzgar hızı ölçüm sonuçları (m/s)

1,5 m Ortalama 5,03 m/s			2 m Ortalama 4,36 m/s			2,5 m Ortalama 3,58 m/s		
6,06 ±0,64	5,8 ±1,5	4,23 ±1,13	4,08 ±0,58	5,28 ±1,38	4,74 ±0,86	2,88 ±1,02	3,68 ±0,82	4,09 ±1,11
5,62 ±1,22	3,64 ±1,96	4,83 ±0,83	4,48 ±1,18	3,23 ±1,83	4,07 ±0,97	4,03 ±0,63	3,12 ±0,42	3,86 ±0,54
4,63 ±2,33	2,07 ±0,87	5,67 ±1,07	4,7 ±1,4	3,24 ±0,76	4,39 ±1,31	3,93 ±0,57	2,75 ±0,95	4,06 ±0,86
6,32 ±0,98	4,65 ±0,95	6,79 ±0,91	4,69 ±0,61	4,19 ±0,81	5,26 ±0,96	3,72 ±1,22	3,34 ±0,86	3,52 ±0,88

Her iki fan ve her üç uzaklık için de standart sapmalar hesaplanarak çalışmada kullanılacak fanın aksiyal fan olduğuna karar verilmiştir. Ön denemeler sonucunda da probun yerleştirileceği hücrenin en az sapma gösteren 6 numaralı hücre olacağı tespit edilmiştir.

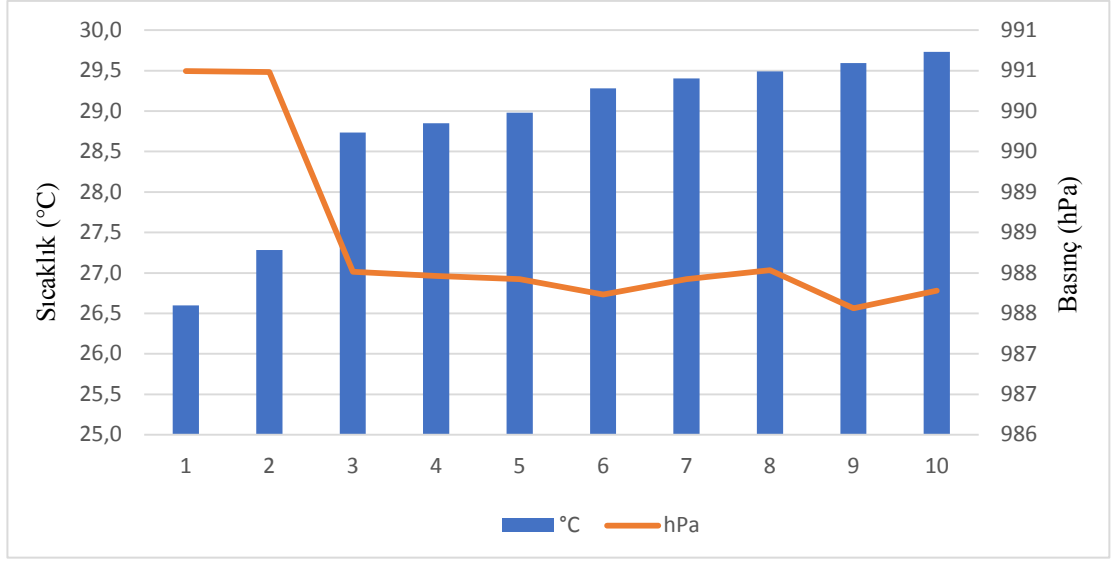
Denemeler sırasında meydana gelen ortam sıcaklığı ve basınç değerlerine ilişkin sonuçlar aşağıda verilmiştir.

İki kanatlı rüzgar rotorunda, yoğunlaştırma sisteminin kullanıldığı denemelerde sıcaklık 28,8 – 29,6 °C aralığında ve basınç ise 991 – 992 hPa aralığında gerçekleşmiştir. Sonuçlar Şekil 4.2’de verilmiştir.



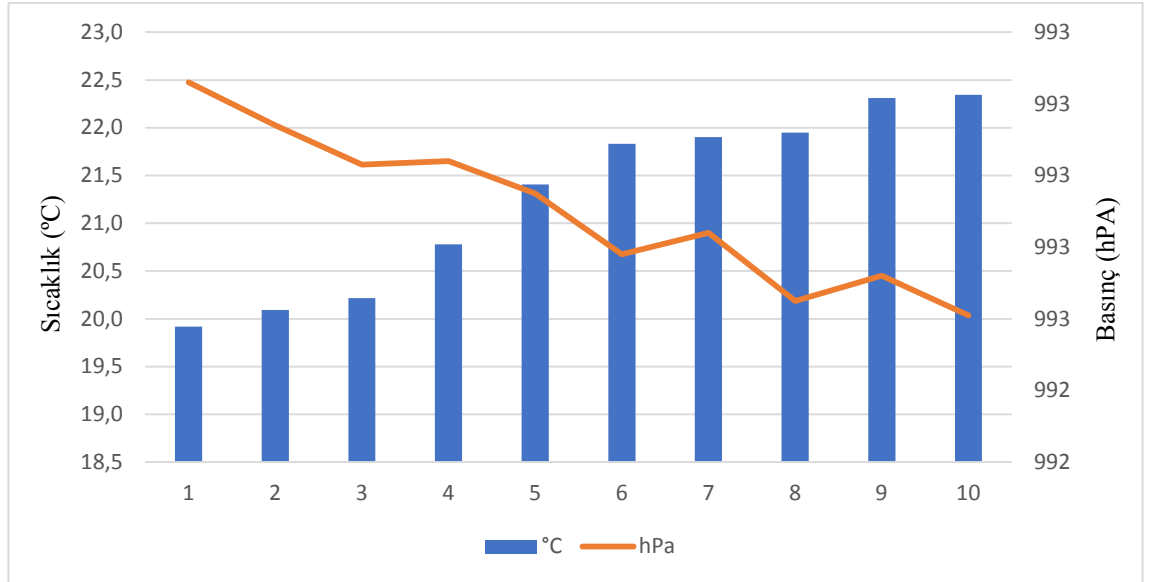
**Şekil 4.2.** Yoğunlaştırma sistemli iki kanatlı Savonius rüzgar türbininin denemeleri sırasında meydana gelen sıcaklık ve basınç değişimi

Yoğunlaştırma sisteminin kullanılmadığı iki kanatlı rüzgar rotoru ile yapılan denemeler sırasında ise sıcaklık 26,3 – 29,7 °C aralığında ve basınç 988 – 990 hPa aralığında gerçekleşmiştir. Denemeler esnasında meydana gelen sıcaklık ve basınç değişimleri Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



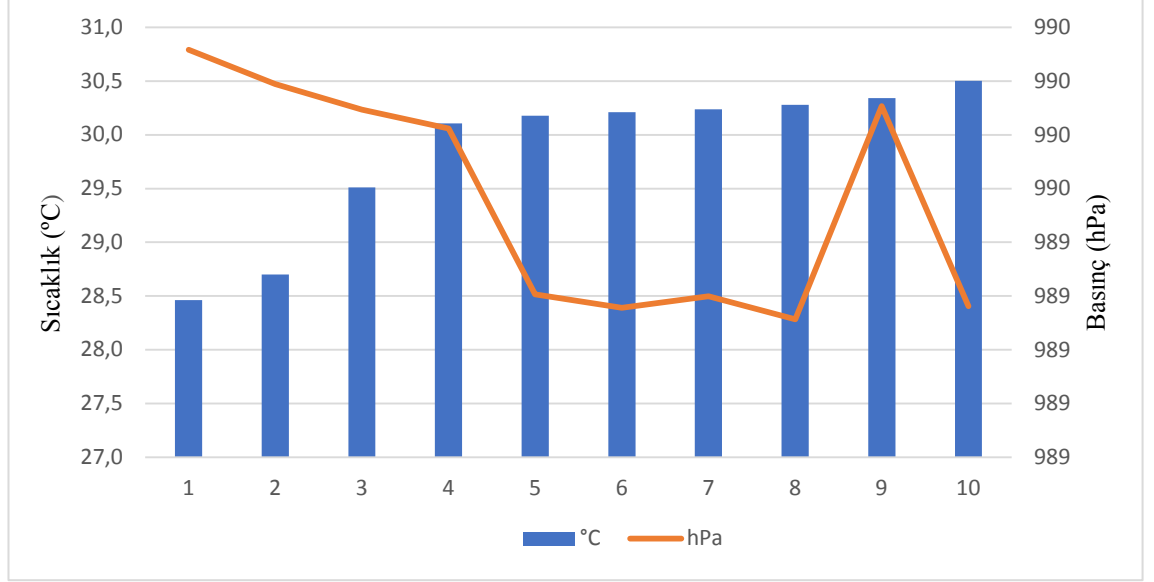
**Şekil 4.3.** Yoğunlaştırma sistemi kullanılmayan iki kanatlı Savonius rüzgar türbininin denemeleri sırasında meydana gelen sıcaklık ve basınç değişimi

Üç kanatlı rüzgar rotorunda, yoğunlaştırma sisteminin kullanıldığı denemelerde sıcaklık 19,9 – 22,3 °C aralığında ve basınç ise 993 hPa olarak gerçekleşmiştir. Sonuçlar aşağıda Şekil 4.4'de verilmiştir.



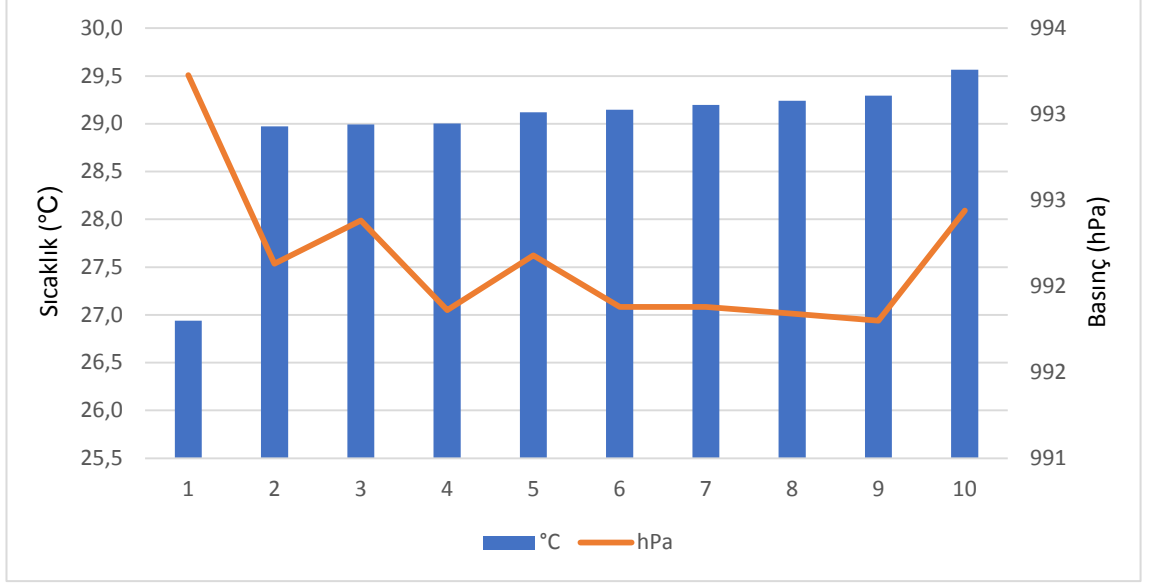
**Şekil 4.4.** Yoğunlaştırma sistemli üç kanatlı Savonius rüzgar türbininin denemeleri sırasında meydana gelen sıcaklık ve basınç değişimi

Yoğunlaştırma sisteminin kullanılmadığı üç kanatlı rüzgar rotoru ile yapılan denemeler sırasında ise sıcaklık 22,8 – 30,3 °C aralığında ve basınç 988 – 990 hPa aralığında gerçekleşmiştir. Denemeler esnasında meydana gelen sıcaklık ve basınç değişimleri Şekil 4.5’de gösterilmiştir.



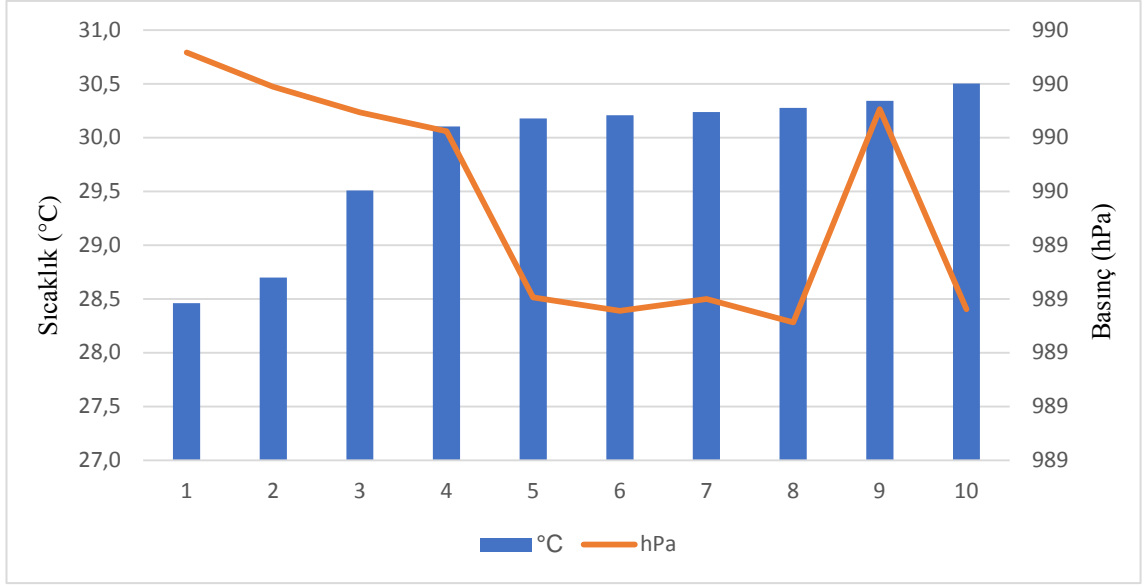
**Şekil 4.5.** Yoğunlaştırma sistemi kullanılmayan üç kanatlı Savonius rüzgar türbininin denemeleri sırasında meydana gelen sıcaklık ve basınç değişimi

Dört kanatlı rüzgar rotorunda, yoğunlaştırma sisteminin kullanıldığı denemelerde sıcaklık 26,9– 29,6 °C aralığında ve basınç ise 992 – 993 hPa aralığında gerçekleşmiştir. Sonuçlar Şekil 4.6’da verilmiştir.



**Şekil 4.6.** Yoğunlaştırma sistemli dört kanatlı Savonius rüzgar türbininin denemeleri sırasında meydana gelen sıcaklık ve basınç değişimi

Yoğunlaştırma sisteminin kullanılmadığı dört kanatlı rüzgar rotoru ile yapılan denemeler sırasında ise sıcaklık 28,5 – 30,5 °C aralığında ve basınç 989 – 990 hPa aralığında gerçekleşmiştir. Denemeler esnasında meydana gelen sıcaklık ve basınç değişimleri Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



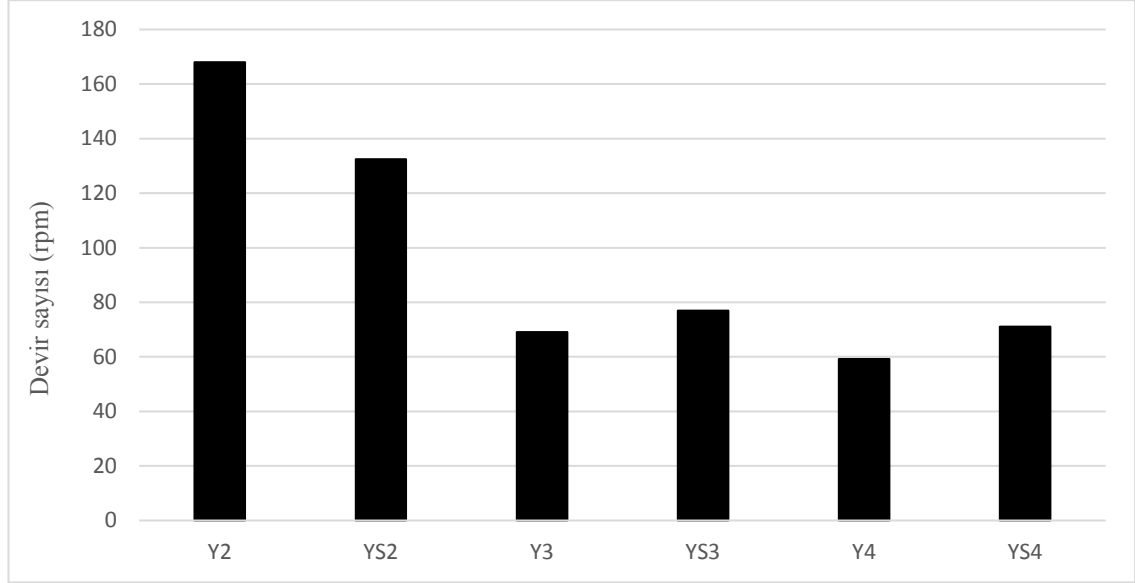
**Şekil 4.7.** Yoğunlaştırma sistemi kullanılmayan dört kanatlı Savonius rüzgar türbininin denemeleri sırasında meydana gelen sıcaklık ve basınç değişimi

Göktaş ve Kılıç (2019) Savonius rüzgar türbininin farklı açlarındaki basınç değerlerini karşılaştırmışlardır ve en yüksek basınç değerini 101 411,36 Pa olarak tespit etmişlerdir. Bu çalışmada ise ortalama basınç değerleri 990 hpa (99000 Pa) civarındadır.

Bu çalışmada aksiyal fan 1,5 metre ve 2 metre uzaklığa yerleştirilmiştir. Yoğunlaştırma sistemi kullanılarak ve yoğunlaştırma sistemi olmadan 6'ncı hücredeki rüzgar hızı, sıcaklığı, basıncı ve devir sayısı ile elektrik jeneratöründen elde edilen akım ve gerilim değerleri eş zamanlı olarak ölçülmüş ve sonuçlar bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

#### 4.1. Devir Sayısı

Denemelerde yoğunlaştırma sistemi kullanılan ve kullanılmayan türbin sistemlerinden elde edilen devir hızlarına ilişkin sonuçlar Şekil 4.8’de verilmiştir.

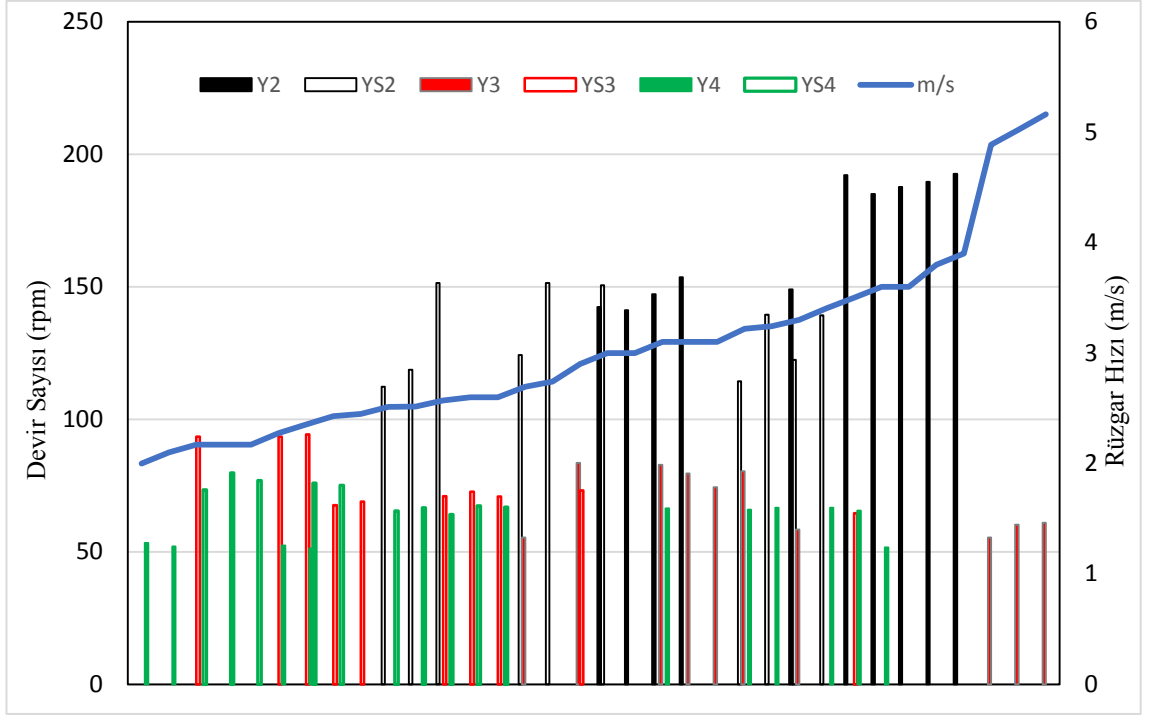


Şekil 4.8. Devir hızlarına ilişkin deneme sonuçları

İki kanatlı rotor ile yapılan denemelerde yoğunlaştırma sisteminin kullanılması ile daha yüksek devir sayılarına ulaşıldığı görülmektedir. Üç kanatlı ve dört kanatlı rotorlar ile yapılan denemelerde ise yoğunlaştırma sistemi kullanıldığında daha düşük devir sayıları elde edilmiştir. İki, üç ve dört kanatlı rotorlar ile yapılan denemeler genel olarak değerlendirildiğinde; iki kanatlı rotora sahip ve yoğunlaştırma sisteminin kullanıldığı rüzgar türbin sistemi ile en yüksek devir sayılarına ulaşılabildiği görülmektedir.

Denemelerde yoğunlaştırma sistemi kullanılan ve kullanılmayan türbin sistemlerinden elde edilen devir hızları ile rüzgar hızları arasındaki ilişkiye ait sonuçlar Şekil 4.9’da verilmiştir.

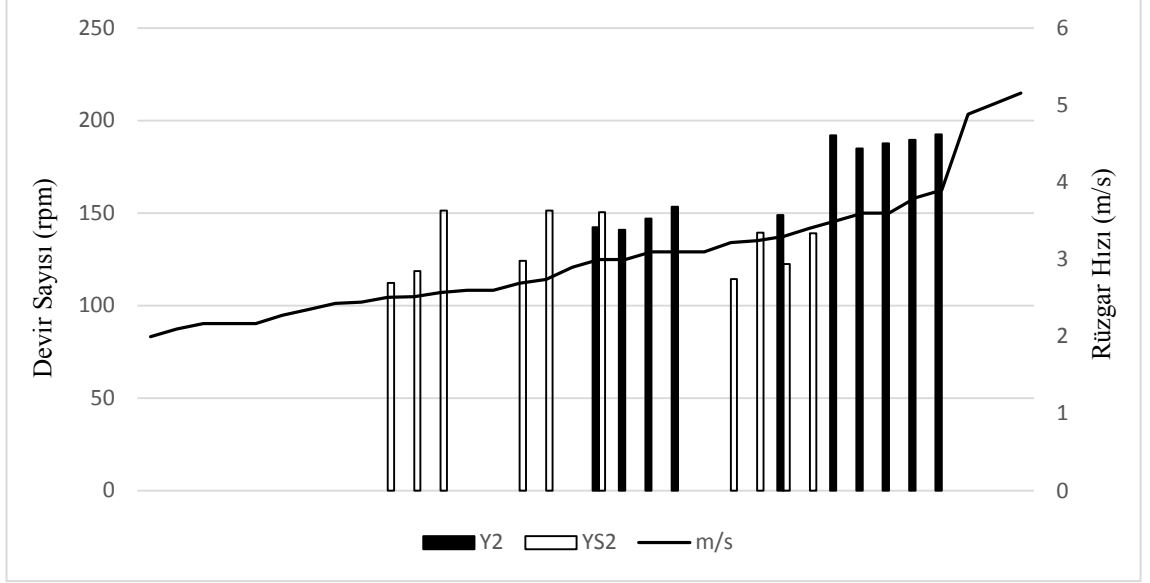




**Şekil 4.9.** Devir sayısı ve rüzgar hızı arasındaki ilişki

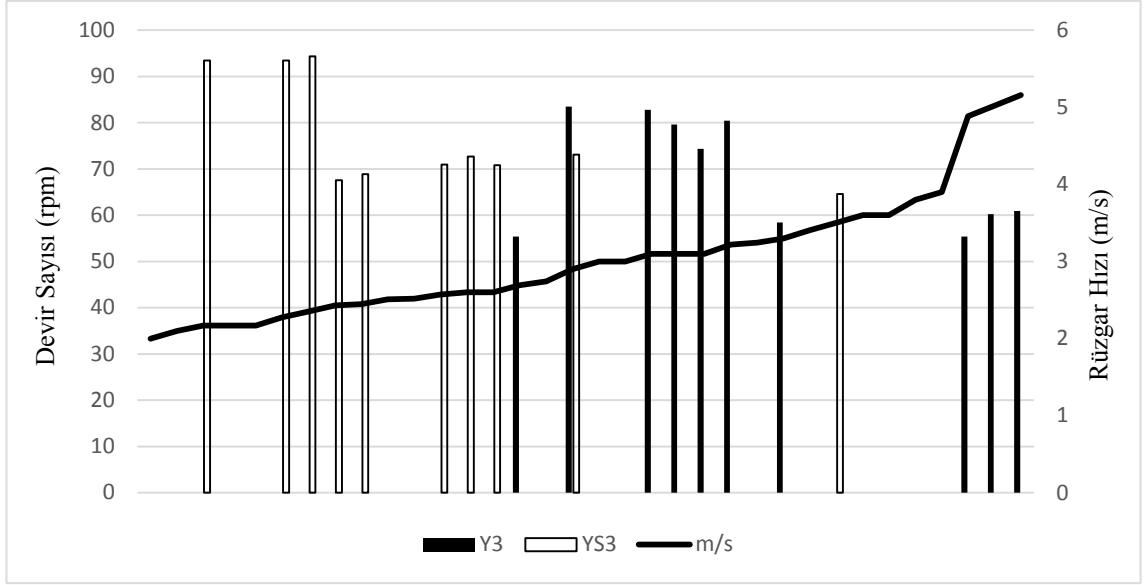
İki kanatlı rotorun yoğunlaştırma sistemi ile birlikte kullanılması durumunda, rüzgar hızı arttıkça devir sayısının da arttığı görülmektedir. Üç ve dört kanatlı rotorların ise yoğunlaştırma sistemi ile birlikte kullanılması durumunda benzer bir artış saptanmamıştır.

Savonius rüzgar rotorlarının yoğunlaştırma sistemi ile birlikte kullanımının rotor devir hızı üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak Şekil 4.10-12’de verilmiştir.



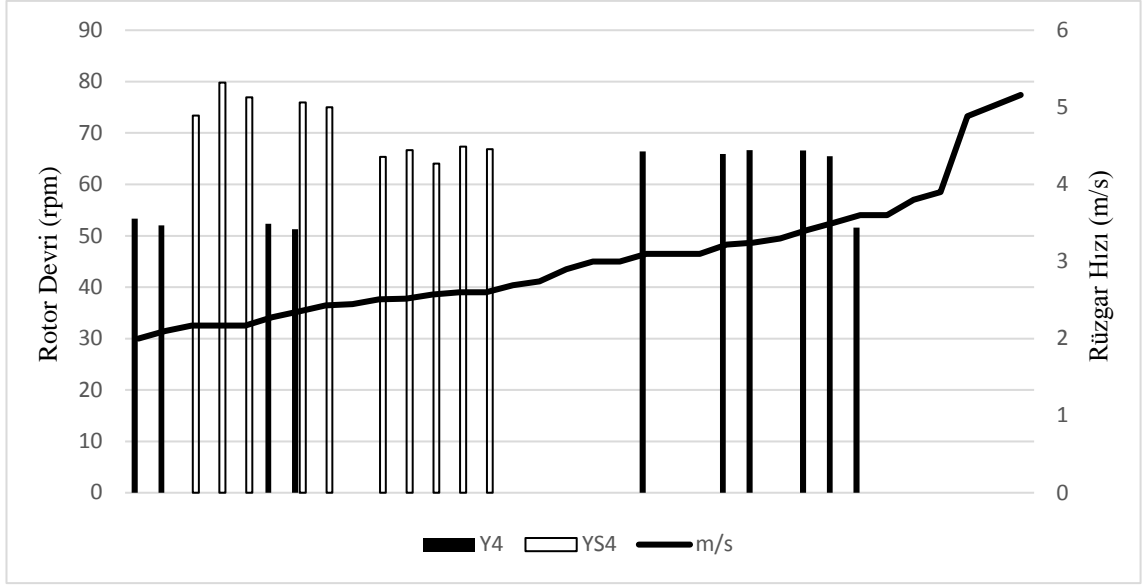
**Şekil 4.10.** İki kanatlı Savonius rüzgar rotorunda yoğunlaştırma sistemi kullanımının devir sayısı üzerindeki etkisi

İki kanatlı rotor ile yoğunlaştırma sisteminin kullanıldığı denemelerde 3 – 3,9 m/s aralığındaki rüzgar hızlarında 141 – 193 rpm değerlerine devir hızına ulaşılmıştır. Rüzgar hızı artarken devir sayısının da arttığı görülmektedir. İki kanatlı rotor ile yoğunlaştırma sisteminin kullanılmadığı denemelerde ise 2,5 – 3,4 m/s aralığındaki rüzgar hızlarında devir hızı 112 – 151 rpm aralığında saptanmıştır. Bu denemede devir sayısı ile rüzgar hızı arasında doğrusal bir ilişkiye rastlanılmamıştır. Yoğunlaştırma sisteminin kullanıldığı ve yoğunlaştırma sisteminin kullanılmadığı koşullardaki benzer rüzgar hızları kıyaslandığında ise yoğunlaştırma sisteminin daha yüksek devir sayısına ulaşılmasında etkili olduğu görülmektedir.



**Şekil 4.11.** Üç kanatlı Savonius rüzgar rotorunda yoğunlaştırma sistemi kullanımının devir sayısı üzerindeki etkisi

Üç kanatlı rotor ile yoğunlaştırma sisteminin kullanıldığı denemelerde 2,7– 5,2 m/s rüzgar hızlarında 55 – 83 rpm aralığında devir hızları ölçülmüştür. Yoğunlaştırma sisteminin kullanılmadığı üç kanatlı rotor denemelerinde ise 2,2 – 3,5 m/s aralığındaki rüzgar hızlarında devir hızı 64 – 94 rpm değerlerinde bulunmuştur. Benzer rüzgar hızlarındaki sonuçlar değerlendirildiğinde yoğunlaştırma sisteminin kullanılmadığı koşullarda daha yüksek devir hızlarına rastlanılmıştır. Bu çerçevede yoğunlaştırma sisteminin üç kanatlı rotora sahip rüzgar türbininde ve deneme koşullarında performans artışı sağladığına ilişkin bir bulgu elde edilememiştir.

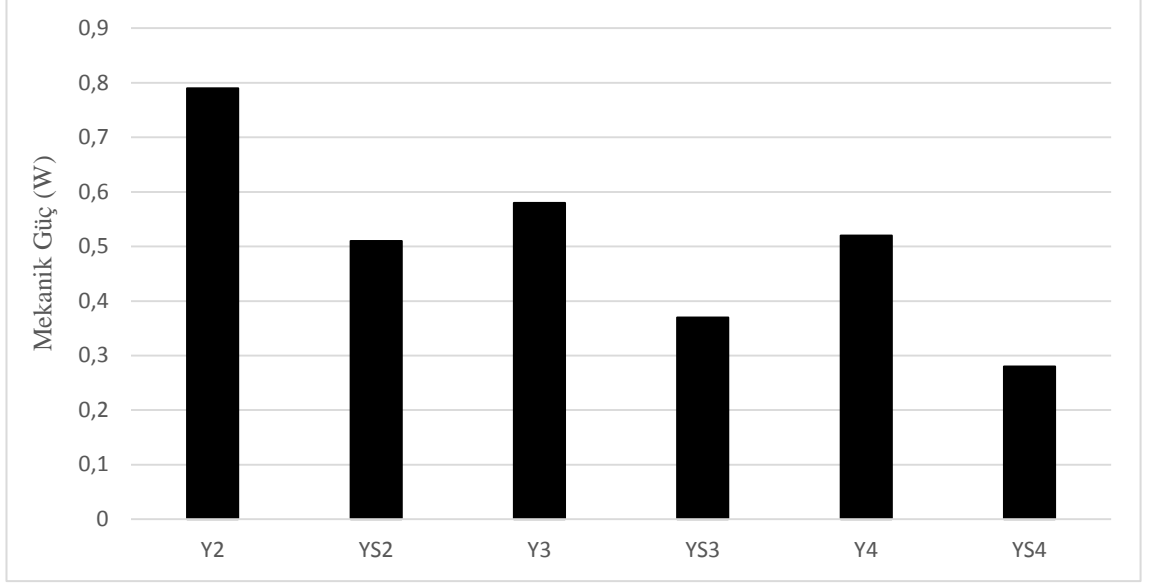


**Şekil 4.12.** Dört kanatlı Savonius rüzgar rotorunda yoğunlaştırma sistemi kullanımının devir sayısı üzerindeki etkisi

Dört kanatlı rotor ile yoğunlaştırma sisteminin kullanıldığı denemelerde 2 – 3,6 m/s rüzgar hızlarında 51 – 66 rpm aralığında devir hızları tespit edilmiştir. Yoğunlaştırma sisteminin kullanılmadığı denemelerde ise 2,2 – 2,6 m/s aralığındaki rüzgar hızlarında devir hızı 64 – 79 rpm değerlerinde bulunmuştur. Benzer rüzgar hızlarındaki sonuçlar incelendiğinde ise yoğunlaştırma sisteminin kullanılmadığı koşullarda, dört kanatlı rotora sahip dikey eksenli rüzgar türbininde daha yüksek devir hızlarına ulaşılmıştır.

#### 4.2. Mekanik Güç

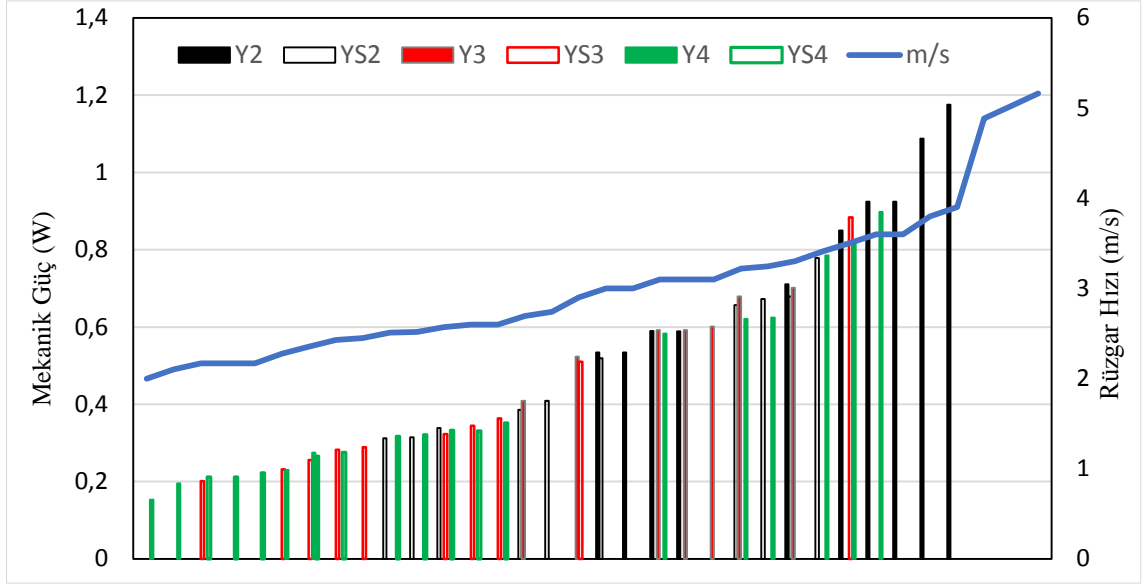
Mekanik gücün kanat sayıları ve yoğunlaştırma sistemiyle olan ilişkisi, mekanik güç ve rüzgar hızı arasındaki ilişki ile farklı kanat sayılarına sahip rotorlarda yoğunlaştırma sisteminin mekanik güç üzerindeki etkileri Şekil 4.13-17’da verilmiştir.



**Şekil 4.13.** Mekanik gücün kanat sayıları ve yoğunlaştırma sistemiyle olan ilişkisi

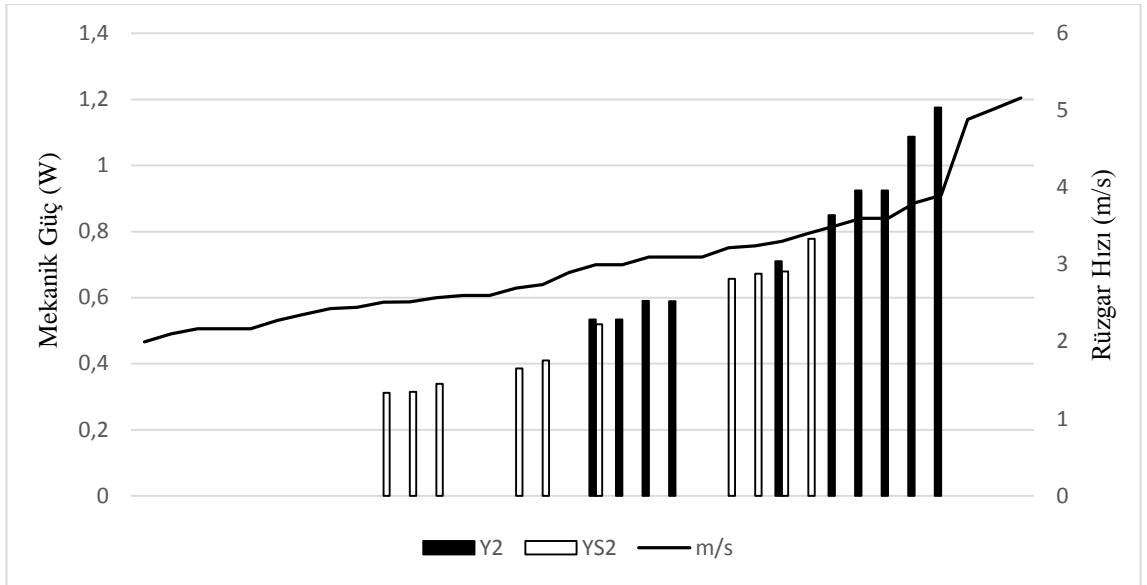
Yoğunlaştırma sisteminin kullanıldığı iki, üç ve dört kanatlı rotorlarda sırasıyla 0,79 W, 0,58 W ve 0,52 W ortalama güç değerleri saptanmıştır. Yoğunlaştırma sisteminin kullanılmadığı iki, üç ve dört kanatlı rotorlarda ise sırasıyla 0,51 W, 0,37 W ve 0,28 W ortalama güç değerleri saptanmıştır. En yüksek güç değerine iki kanatlı rotora sahip rüzgar türbini ile ulaşılmıştır. Bu çerçevede, genel olarak yoğunlaştırma sisteminin kullanılması mekanik gücün artmasında etkilidir.

Nurbay ve Çınar (2005) yayınladıkları makalede rotor çapı 5 m olan bir türbinden yaklaşık olarak 0,5 kW güç elde edilebileceğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada 0,3 m rotor çapına sahip bir savonius rüzgar türbini tasarlanmış ve türbinden ortalama 0,28 – 0,79 W güç elde edilmiştir. Nispeten düşük bir değer bulunmasının sebebi ise boyutsal olarak prototip bir sistem üzerinde çalışılmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.14. Mekanik güç ve rüzgar hızı arasındaki ilişki

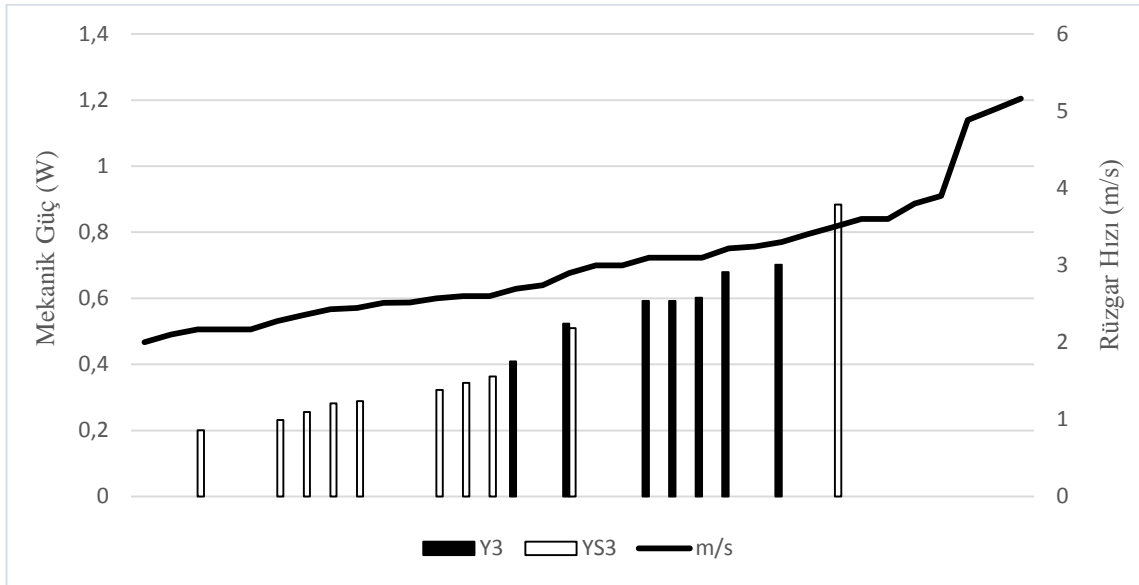
Şekil 4.14’de denemeye alınan tüm rotorlarda teknik ve bilimsel anlamda olması gerektiği gibi rüzgar hızı arttıkça gücün de arttığı görülmektedir. En yüksek rüzgar hızı ve mekanik güç değerleri iki kanatlı rotora sahip ve yoğunlaştırma sistemi kullanılan Savonius rüzgar türbininde elde edilmiştir.



Şekil 4.15. İki kanatlı rotora sahip Savonius rüzgar türbininde yoğunlaştırma sisteminin mekanik güç üzerindeki etkisi

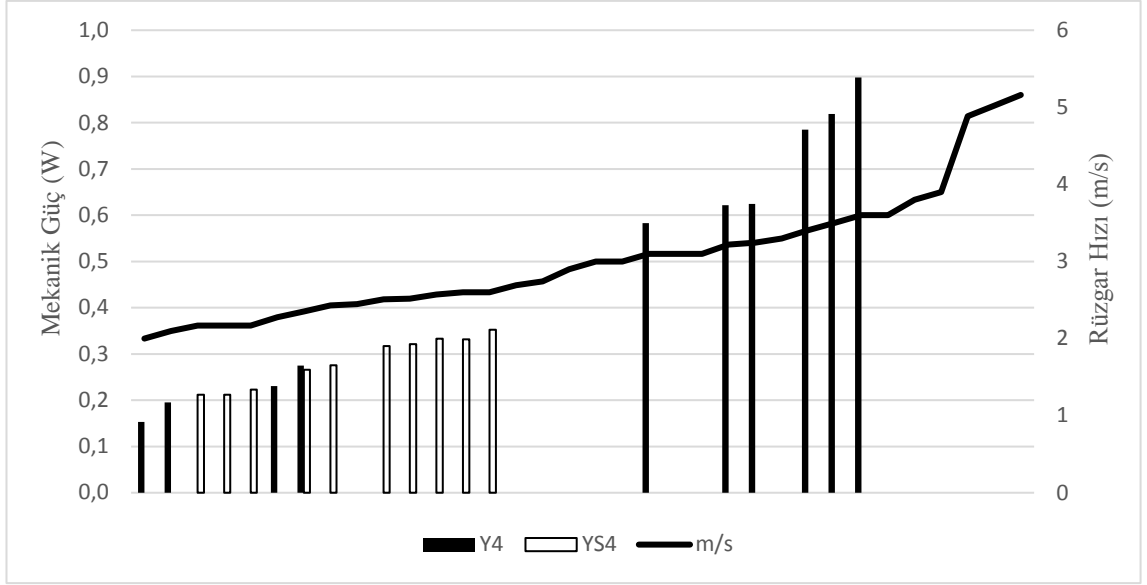
İki kanatlı rotor ve yoğunlaştırma sisteminin kullanıldığı denemede 3 – 3,9 m/s rüzgar hızı aralığında güç değerleri 0,53 – 1,18 W olarak bulunmuştur. Yoğunlaştırma sisteminin kullanılmadığı denemelerde ise 2,5 – 3,4 m/s rüzgar hızı aralığında güç çıkışının 0,31 – 0,78 W aralığında değiştiği görülmüştür. Benzer rüzgar hızlarında (3 ve 3,3 m/s ) yoğunlaştırma sisteminin kullanıldığı iki 2 kanatlı rotora sahip Savonius rüzgar türbininde daha yüksek mekanik güç değerleri elde edilmiştir.

Mahmoud ve ark. (2012) Savonius rüzgar türbini üzerine yaptıkları bir çalışmada iki kanatlı rotorun üç ve dört kanatlı rotordan daha yüksek mekanik güç sağladığını tespit etmişlerdir. Bu çalışmada da benzer şekilde iki kanatlı rotorun üç ve dört kanatlı rotora göre daha fazla mekanik güç sağladığı tespit edilmiştir.



**Şekil 4.16.** Üç kanatlı rotora sahip Savonius rüzgar türbininde yoğunlaştırma sisteminin mekanik güç üzerindeki etkisi

Üç kanatlı rotor ve yoğunlaştırma sisteminin kullanıldığı denemede 2,7 – 3,4 m/s rüzgar hızı aralığında güç değerleri 0,41 – 0,70 W olarak bulunmuştur. Yoğunlaştırma sisteminin kullanılmadığı denemelerde ise 2,2 – 3,5 m/s rüzgar hızı aralığında güç çıkışının 0,20 – 0,88 W aralığında değiştiği görülmüştür. Benzer rüzgar hızlarındaki sonuçlar değerlendirildiğinde (2,9 m/s) yoğunlaştırma sisteminin kullanıldığı denemelerde daha yüksek mekanik güç değerlerine ulaşılmıştır.



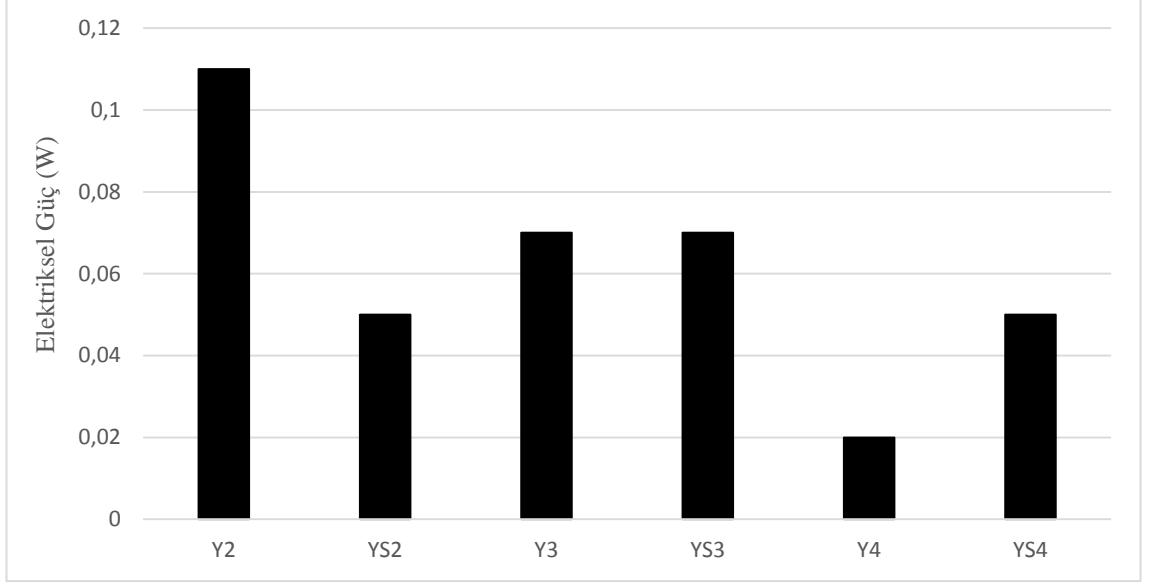
**Şekil 4.17.** Dört kanatlı rotora sahip Savonius rüzgar türbininde yoğunlaştırma sisteminin mekanik güç üzerindeki etkisi

Dört kanatlı rotor ve yoğunlaştırma sisteminin kullanıldığı denemelerde 2 – 3,6 m/s rüzgar hızı aralığında güç değerleri 0,15 – 0,90 W olarak bulunmuştur. Yoğunlaştırma sisteminin kullanılmadığı denemelerde ise 2,2– 2,6 m/s rüzgar hızı aralığında güç çıkışı 0,21 – 0,35 W değerleri arasında elde edilmiştir. Benzer rüzgar hızlarındaki (2,4 m/s) yoğunlaştırma sistemin kullanıldığı denemelerde, Savonius rüzgar türbininde daha yüksek mekanik güce ulaşılmıştır.

### 4.3. Elektriksel Güç

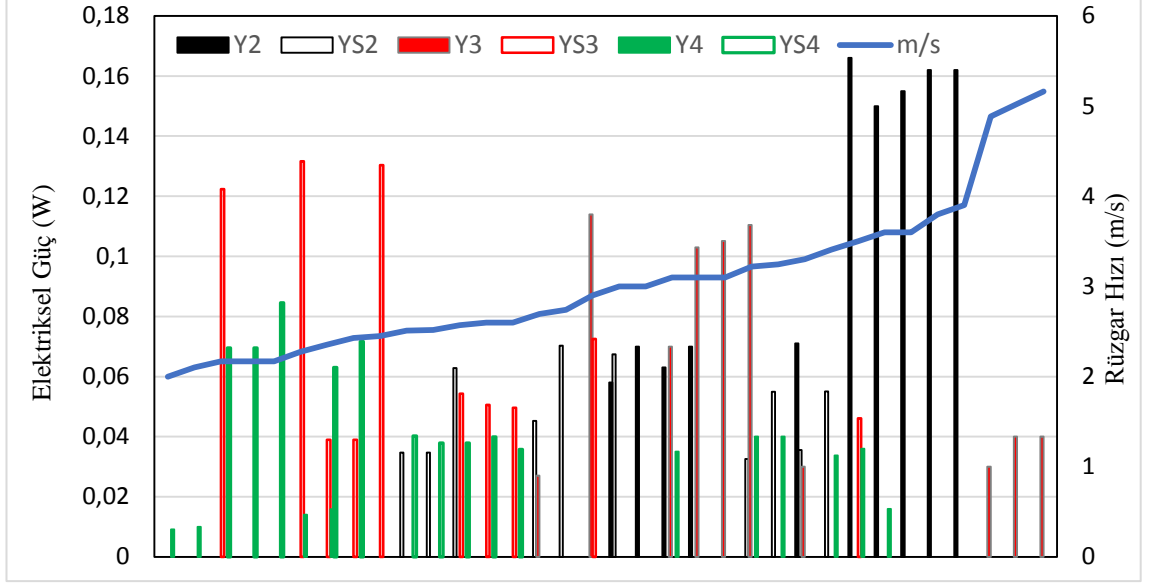
Elektriksel gücün kanat sayıları ve yoğunlaştırma sistemiyle olan ilişkisi, elektriksel güç ve rüzgar hızı arasındaki ilişki ile farklı kanat sayılarına sahip rotorlarda yoğunlaştırma sisteminin elektriksel güç üzerindeki etkileri Şekil 4.18-22’de verilmiştir.





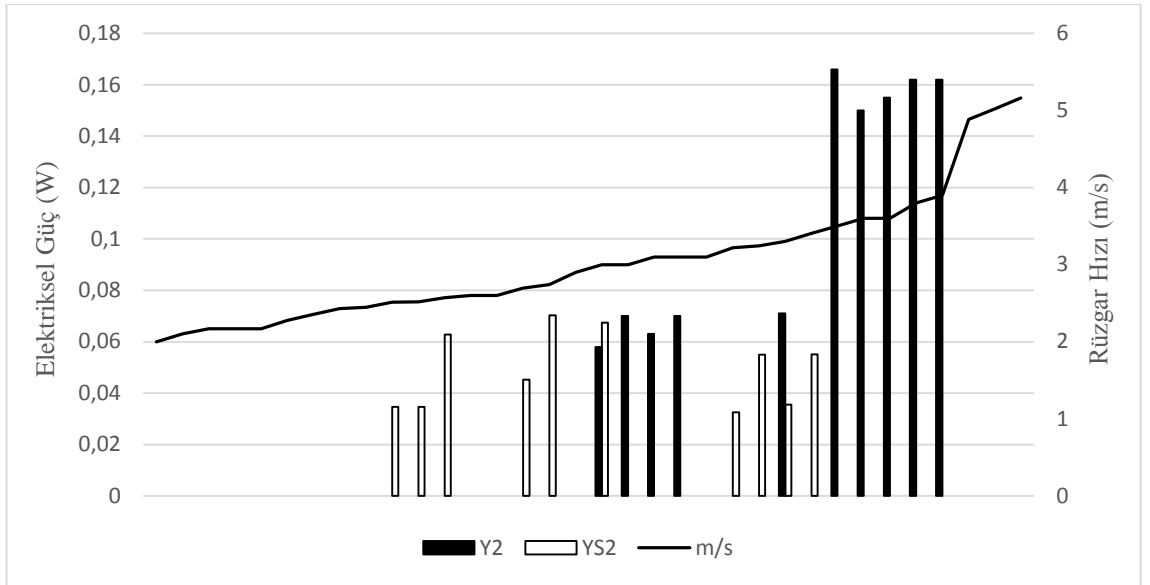
**Şekil 4.18.** Elektriksel gücün kanat sayıları ve yoğunlaştırma sistemiyle olan ilişkisi

Deneyel olarak saptanan akım ve gerilim değerleri matematiksel denklemlerde yerine konularak elektriksel güç değerleri hesaplanmıştır. İki, üç ve dört kanatlı rotora sahip Savonius rüzgar türbinlerinin elektriksel güç değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek elektriksel güç değeri iki kanatlı rotora sahip Savonius rüzgar türbini ile yapılan denemelerde bulunmuştur. Mevcut deney koşullarında yoğunlaştırma sisteminin kullanılması iki kanatlı rotora sahip Savonius rüzgar türbininde yüksek elektriksel güç değerlerine ulaşılmasını sağlarken, üç ve dört kanatlı rotora sahip Savonius rüzgar türbinlerinde böyle bir etki yaratmadığı saptanmıştır.



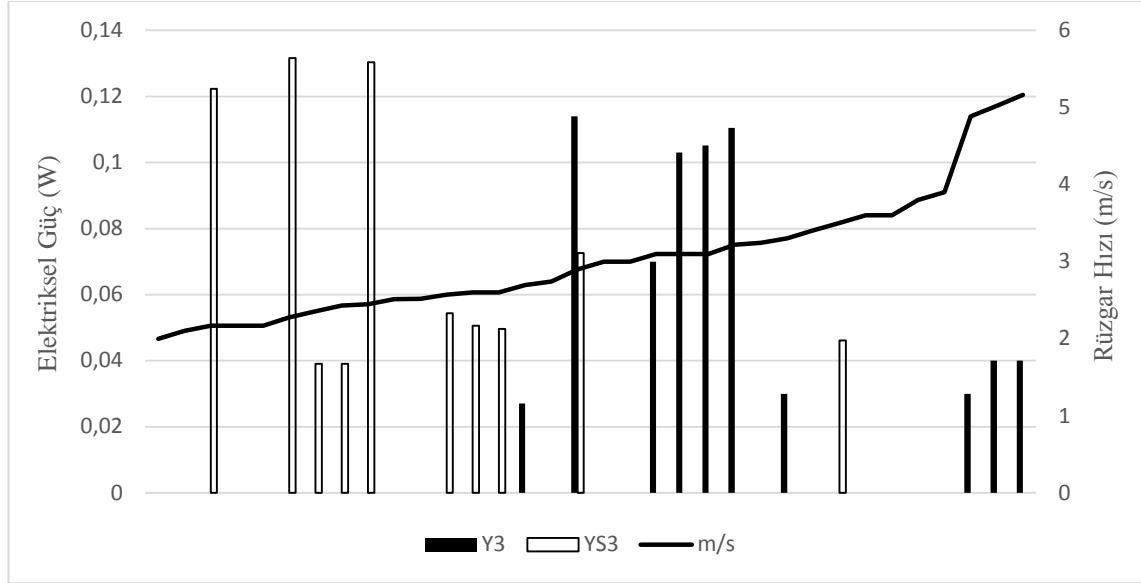
**Şekil 4.19.** Elektriksel güç ve rüzgar hızı arasındaki ilişki

Şekil 4.19'da denemeye alınan tüm rotorlarda teknik ve bilimsel anlamda olması gerektiği gibi rüzgar hızı arttıkça elektriksel gücün de arttığı görülmektedir. En yüksek rüzgar hızı ve elektriksel güç değerleri ise yine 2 iki kanatlı rotora sahip ve yoğunlaştırma sistemi kullanılan Savonius rüzgar türbininde elde edilmiştir.



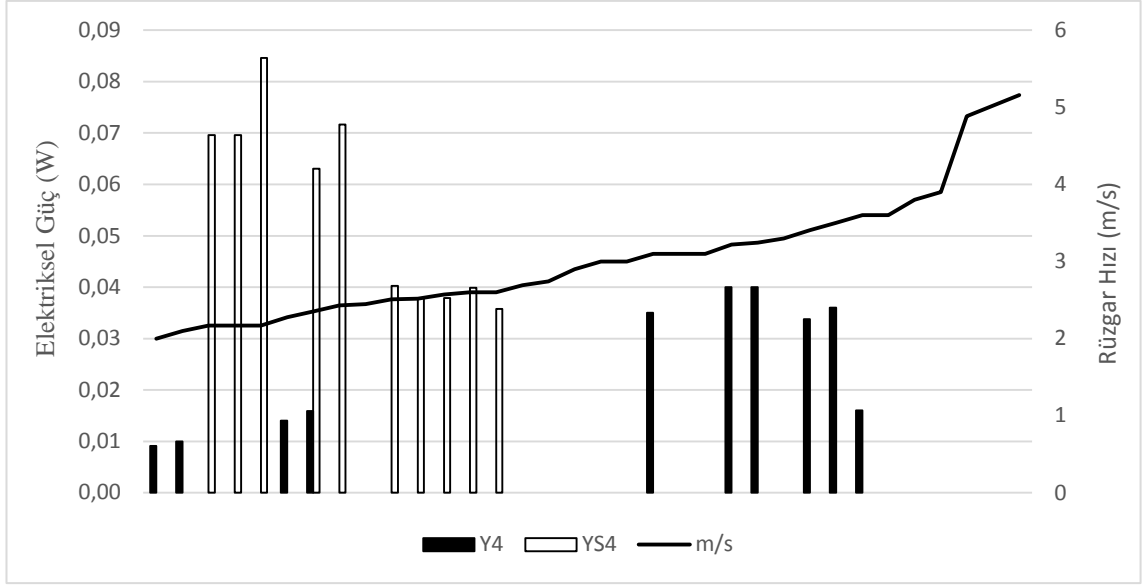
**Şekil 4.20.** İki kanatlı rotora sahip Savonius rüzgar türbininde yoğunlaştırma sisteminin elektriksel güç üzerindeki etkisi

İki kanatlı rotor ve yoğunlaştırma sisteminin kullanıldığı denemede 3 – 3,9 m/s rüzgar hızı aralığında elektriksel güç değerleri 0,06 – 0,16 W olarak bulunmuştur. Yoğunlaştırma sisteminin kullanılmadığı denemelerde ise 2,5 – 3,4 m/s rüzgar hızı aralığında güç değerlerinin 0,03 – 0,07 W aralığında düzensiz bir dağılıma sahip olduğu görülmüştür. Bunun sebebi ise düşük rüzgar hızlarında ve boyutsal olarak prototip bir sistem üzerinde çalışılması olarak değerlendirilmektedir.



**Şekil 4.21.** Üç kanatlı rotora sahip Savonius rüzgar türbininde yoğunlaştırma sisteminin elektriksel güç üzerindeki etkisi

Üç kanatlı rotor ve yoğunlaştırma sisteminin kullanıldığı denemelerde 2,7 – 5,2 m/s rüzgar hızı aralığında elektriksel güç değerleri 0,03 – 0,11 W olarak bulunmuştur. Yoğunlaştırma sisteminin kullanılmadığı denemelerde ise 2,2 – 3,5 m/s rüzgar hızı aralığında elektriksel güç değerlerinin 0,05 – 0,13 W arasında düzensiz bir dağılıma sahip olduğu görülmüştür. Bunun sebebi ise yine düşük rüzgar hızlarında ve boyutsal olarak prototip bir sistem üzerinde çalışılması olarak değerlendirilmektedir. Benzer rüzgar hızlarındaki (2,9 m/s) sonuçlara bakıldığında yoğunlaştırma sisteminin kullanıldığı denemelerde daha yüksek elektriksel güç değerlerinin elde edildiği görülmüştür.



**Şekil 4.22.** Dört kanatlı rotora sahip Savonius rüzgar türbininde yoğunlaştırma sisteminin elektriksel güç üzerindeki etkisi

Dört kanatlı rotor ve yoğunlaştırma sisteminin kullanıldığı denemelerde 2 – 3,6 m/s rüzgar hızı aralığında elektriksel güç değerleri 0,01 – 0,04 W aralığında bulunmuştur. Yoğunlaştırma sisteminin kullanılmadığı denemelerde ise 2,2 – 2,6 m/s rüzgar hızı aralığında elektriksel güç değerlerinin 0,04 – 0,08 W aralığında olduğu tespit edilmiştir. Düşük elektriksel güç değerlerinin sebebi ise yine düşük rüzgar hızlarında ve boyutsal olarak prototip bir sistem üzerinde çalışılması olarak değerlendirilmektedir. Benzer rüzgar hızlarındaki (2,4 m/s) elektriksel güç değerleri karşılaştırıldığında yoğunlaştırma sisteminin kullanılmadığı denemelerde daha yüksek değerler elde edildiği görülmektedir.

Ogawa ve ark. (1989) yaptıkları bir çalışmada Savonius rüzgar türbininin önünde rüzgarı yönlendirecek levhalar kullanarak performans artışı sağlamışlardır. Shankar (1979) ise yaptığı çalışmada Savonius rotorları iki ve üç kanatlı bir geometride denemiş ve iki kanatlı rotorların üç kanatlıya göre yaklaşık %50 daha fazla performans sağladığını tespit etmiştir. Bu tez çalışmasında da yoğunlaştırma sistemi kullanılarak performans artışı sağlanmış ve benzer şekilde iki kanatlı rotora sahip rüzgar türbininin üç ve dört kanatlı rotora sahip olana oranla daha yüksek devir hızı ve güç değerleri ürettiği bulunmuştur.

## 5. SONUÇ

Bu çalışma ile rüzgar hızı potansiyeli düşük olan kırsal bölgeler dikkate alınarak, tarımsal elektrik ihtiyacı olan uygulamalarda kullanılacak küçük ölçekli Savonius rüzgar türbini tasarlanmıştır. Bu rüzgar türbini yoğunlaştırma sisteminin içine yerleştirilerek düşük rüzgar hızlarından daha fazla yararlanıp yararlanamayacağı araştırılmıştır. Ayrıca rüzgar türbini iki, üç ve dört farklı kanat sayısı ile kullanılacak şekilde tasarlanmış ve rotorların performans testleri yapılmıştır.

İki kanatlı rotora sahip Savonius rüzgar türbini yoğunlaştırma sistemi ile birlikte kullanıldığında 168 rpm devir hızına ulaşılırken yoğunlaştırma sistemi kullanılmadığında bu değer 132 rpm olarak gerçekleşmiştir. Üç ve dört kanatlı rotora sahip Savonius rüzgar türbinleri yoğunlaştırma sistemi ile birlikte kullanıldığında ise sırasıyla 69 rpm ve 59 rpm devir hızına ulaşılırken yoğunlaştırma sistemi kullanılmadığında bu değerler 77 rpm ve 71 rpm olarak gerçekleşmiştir. Bu sonuçlara göre üç ve dört kanatlı rotora sahip Savonius rüzgar türbinlerinin yoğunlaştırma sistemi ile birlikte kullanımının rotor hızının artmasına yönelik bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

İki, üç ve dört kanatlı rotorlar ile yapılan denemeler genel olarak değerlendirildiğinde; iki kanatlı rotora sahip ve yoğunlaştırma sisteminin kullanıldığı rüzgar türbin sistemi ile en yüksek devir sayılarına ulaşılabildiği görülmektedir. Rüzgar türbininin kanat sayısı arttıkça ağırlığı da artmakta ve bu durum performansa da yansımaktadır.

İki, üç ve dört kanatlı rotorlar yoğunlaştırma sistemi ile birlikte kullanıldığında sırasıyla 0,79 W, 0,58 W ve 0,52 W mekanik güç değerleri elde edilirken yoğunlaştırma sistemi kullanılmadığında bu değerler yine sırasıyla 0,51 W, 0,37 W ve 0,28 W mekanik güç olarak gerçekleşmiştir. 2 kanatlı yapılan denemeler de yoğunlaştırma sisteminin kullanıldığı ve kullanılmadığı arasında kıyaslama yapıldığında yoğunlaştırma sisteminin kullanıldığında daha yüksek mekanik güç değerlerine ulaşıldığı görülmüştür.

İki, üç ve dört kanatlı rotorlar ile yapılan mekanik güç denemeleri genel olarak değerlendirildiğinde; her üç kanat sayısına sahip rotorların yoğunlaştırma sistemi ile birlikte kullanılması mekanik güç artışına katkı sağladığı tespit edilmiştir. Bununla

birlikte rüzgar türbininin kanat sayısı arttıkça ağırlığı da artmakta ve bu durum mekanik güç performansına da yansımaktadır. En yüksek mekanik güç değeri ise iki kanatlı rotorun yoğunlaştırma sistemi ile birlikte kullanıldığı Savonius rüzgar türbininde saptanmıştır.

İki, üç ve dört kanatlı rotorlar yoğunlaştırma sistemi ile birlikte kullanıldığında sırasıyla 0,11 W, 0,07 W ve 0,02 W elektriksel güç değerleri elde edilirken yoğunlaştırma sistemi kullanılmadığında bu değerler yine sırasıyla 0,05 W, 0,07 W ve 0,05 W elektriksel güç olarak gerçekleşmiştir. İki kanatlı rotor ile yapılan denemeler yoğunlaştırma sisteminin kullanılmasının nispeten daha iyi elektriksel güç değerlerine ulaşılmasını sağladığını göstermiştir. Buna karşılık üç kanatlı rotor ile yapılan denemeler yoğunlaştırma sisteminin kullanılmasının fark yaratmadığını, dört kanatlı rotor ile yapılan denemeler ise yoğunlaştırma sisteminin kullanılmasının negatif fark yaratmadığını göstermektedir.

En yüksek elektriksel güç değeri de yine iki kanatlı rotorun yoğunlaştırma sistemi ile birlikte kullanıldığı Savonius rüzgar türbininde saptanmıştır. Üç ve dört kanatlı rotorlar ile yapılan denemelerde ise elektriksel güç performanslarında dalgalanmalar görülmüştür.

Bu çalışma ile ortaya konulan sonuçlar değerlendirilirken; çalışılan rüzgar hızlarının düşük olması ve boyutsal olarak prototip bir sistem üzerinde çalışılmış olması mutlak suretle gözden kaçırılmamalıdır. Zira sistem boyutlarının büyütülmesi ve daha yüksek rüzgar hızlarında bu sonuçların değişebileceği mutlaka değerlendirilmelidir.

## KAYNAKLAR

- Ackermann, T. 2009.** (Çevirenler: Özşar, Ç. ve Bodur, A.), Güç Sistemlerinde Rüzgâr, Wiley&EMO ISBN: 978-9944-89-740-2, Ankara. Pp: 733.
- Aldoss, T. K., Najjar, Y. S. 1985.** Further development of the swinging-blade Savonius rotor. *Wind Engineering*, 165-170.
- Alexander, A. J., Holownia, B. P. 1978.** Wind tunnel tests on a Savonius rotor. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 3(4): 343-351.
- Altan, B. D., Atılgan, M. 2008.** An experimental and numerical study on the improvement of the performance of Savonius wind rotor. *Energy Conversion and Management*, 49(12): 3425-3432.
- Anonim, 2015.** Türkiye'nin Enerji Tasarrufu Performansı. <https://www.dogrulukpayi.com/bulten/enerji-tasarrufu-haftasi> (Erişim Tarihi: 25.09.2019).
- Anonim, 2016.** Global Status of Wind Power in 2015, Global Wind Report 2015, Pp:13. [https://www.gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC-Global-Wind-2015-Report\\_April-2016\\_22\\_04.pdf](https://www.gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC-Global-Wind-2015-Report_April-2016_22_04.pdf) (Erişim Tarihi: 15.09.2019).
- Anonim, 2019a.** What are the current trends in renewable energy, REN 21, Renewables Now. <https://www.ren21.net/what-are-the-current-trends-in-renewable-energy/> (Erişim Tarihi: 22.09.2019).
- Anonim, 2019b.** Türkiye Elektrik İletim A.Ş., kurulu güç. <https://www.teias.gov.tr/tr/i-kurulu-guc-1>, (Erişim Tarihi: 10.11.2019).
- Araya, D. B., Dabiri, J. O. 2015.** A comparison of wake measurements in motor-driven and flow-driven turbine experiments. *Experiments in Fluids*, 56(7): 150.
- Betz, A. 1926.** Wind Energy and Their Utilization by Windmills (Wind-Energie und ihre Ausnutzung durch Windmühlen), Bandenhoek & Ruprect, Göttingen.
- Çebi, H. H. 1999.** *Elektrik Bilgisi*, Yüce Yayınları A.Ş., İstanbul. Pp: 182
- Çubukçu, M., Özdamar, A. 2000.** Enerji eldesinde ortalama rüzgar hızı ölçüm aralığı ve hellmann katsayısının önemi: Söke örneği.
- Eboibi, O., Danao, L. A. M., Howell, R. J. 2016.** Experimental investigation of the influence of solidity on the performance and flow field aerodynamics of vertical axis wind turbines at low Reynolds numbers. *Renewable energy*, 92, 474-483.
- Fujisawa, N., & Shirai, H. (1987).** Experimental investigation on the unsteady flow field around a Savonius rotor at the maximum power performance. *Wind Engineering*, 195-206.
- Goktas, M., Kilic, F. 2019.** Analysis of The Airflow Around The Savonius Wind Turbine Using Computable Fluid Dynamics Method. *Journal Of Polytechnic-Politeknik*, 22(1): 11-17.
- Gül, İ., Kolip, A. 2018** Parça Kanatlı Savonius Rüzgâr Türbin Performansının İncelenmesi. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 5(3): 816-827.
- Howell, R., Qin, N., Edwards, J., Durrani, N. 2010.** Wind tunnel and numerical study of a small vertical axis wind turbine. *Renewable energy*, 35(2): 412-422.
- Johnson, G. L. 2001.** Wind Enrgy Systems, Electronic Edition, Manhattan, KS, Pp: 419.
- Kamoji, M. A., Kedare, S. B., Prabhu, S. V. 2009.** Performance tests on helical Savonius rotors. *Renewable Energy*, 34(3): 521-529.
- Klug, H. 2001.** Basic course in wind energy, German Wind Energy Institute GmbH (DEWI), Istanbul-Turkey,

- Knox-Hayes, J., Brown, M. A., Sovacool, B. K., Wang, Y. 2013.** Understanding attitudes toward energy security: results of a cross-national survey. *Global Environmental Change*, 23(3): 609-622.
- Li, Q. A., Maeda, T., Kamada, Y., Murata, J., Yamamoto, M., Ogasawara, T., Shimizu, K., Kogaki, T. 2016.** Study on power performance for straight-bladed vertical axis wind turbine by field and wind tunnel test. *Renewable Energy*, 90, 291-300.
- Mahmoud, N. H., El-Haroun, A. A., Wahba, E., & Nasef, M. H. 2012.** An experimental study on improvement of Savonius rotor performance. *Alexandria Engineering Journal*, 51(1), 19-25.
- Mohamed, M. H., Janiga, G., Pap, E., Thévenin, D. 2011.** Optimal blade shape of a modified Savonius turbine using an obstacle shielding the returning blade. *Energy Conversion and Management*, 52(1): 236-242.
- Nakicenovic, N., Grubler, A. 2000.** Energy and the protection of the atmosphere. *International Journal of Global Energy Issues*, 13: 4-57.
- Nurbay, N., Çınar, A. 2005.** Rüzgar türbinlerinin çeşitleri ve birbirleriyle karşılaştırılması. III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 19-21.
- Ogawa, T., Yoshida, H., Yokota, Y. 1989.** Development of rotational speed control systems for a Savonius-type wind turbine, 53-58.
- Özdamar, A. 2000.** Dünya ve Türkiye’de rüzgar enerjisinden yararlanılması üzerine bir araştırma. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2): 133-145.
- Özgener, Ö. 2002.** Türkiye’de ve Dünya’da rüzgar enerjisi kullanımı. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4(3): 159-173.
- Ragheb, M. 2011.** Vertical axis wind turbines. *University of Illinois at Urbana-Champaign*, 1.
- Rehman, S., Al-Abadi, N. M. 2005.** Wind shear coefficients and their effect on energy production, *Energy Conversion and Management*, 46, 2578-91.
- Reupke, P., Probert, S. D. 1991.** Slatted-blade Savonius wind-rotors. *Applied Energy*, 40(1): 65-75.
- Roy, S., Mukherjee, P., Saha, U. K. 2014.** Aerodynamic performance evaluation of a novel Savonius-style wind turbine under an oriented jet. In *ASME 2014 Gas Turbine India Conference*. American Society of Mechanical Engineers Digital Collection.
- Saha, U. K., Thotla, S., Maity, D. 2008.** Optimum design configuration of Savonius rotor through wind tunnel experiments. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96(8-9): 1359-1375.
- Shankar, P. N. 1979.** Development of vertical axis wind turbines. *Proceedings of the Indian Academy of Sciences Section C: Engineering Sciences*, 2(1): 49-66.
- Shoab, M., Siddiqui, I., Rehman, S., Khan, S., Alhems, L. M. 2019.** Assessment of wind energy potential using wind energy conversion system. *Journal of cleaner production*, 216: 346-360.
- Şentürk, U., Özdamar, A. 2017.** Savonius rüzgar türbinlerinde Reynolds sayısının etkisinin nümerik olarak incelenmesi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 9(1): 185-193.
- Ushiyama, I., Nagai, H. 1988.** Optimum design configurations and performance of Savonius rotors. *Wind Engineering*, 59-75.
- Ültanır, M.Ö. 1987.** Termodinamik, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 1023, Ankara.
- Vardar, A., Alibas, I. 2008.** Research on wind turbine rotor models using NACA profiles. *Renewable Energy*, 33(7): 1721-1732.



**Vardar, A., Eker, B., Kurtulmuş, F., Taşkın, O. 2015.** Rüzgar Hızı Potansiyeli Olan Alanlarda Rüzgar Türbinlerinin Kullanılması İçin Rüzgar - Yoğunlaştırıcı Sistemlerin Geliştirilmesi. *Enerji Teknolojisi*, 3(12): 1260-1270.

**Zahoransky, R., Allelein, H.J., Bollin, E., Oehler, H., Schelling, U. 2010.** Energietechnik, Vieweg Teubner, ISBN: 978-3-8348-1207-0, Berlin-Almanya, Pp: 483

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sena ERDEN  
Doğum Yeri ve Tarihi : Balıkesir, 11.03.1994  
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu  
Lise : Gönen Anadolu Lisesi, 2012  
Lisans : Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem  
Mühendisliği Bölümü, 2017

İletişim (e-posta) : senaerden@windowlive.com

Yayınları :

**Erden, S., Aydın, M., Taşkın, O., Vardar, A., 2019.** A Research On the Meet of Energy Needs in Broiler Plant with Solar Panels, *Journal of Biological & Environmental Sciences* 13(37): 31-37.