

**PENCERELİ VE HELEZONİK TİP BİR DÜŞEY  
EKSENLİ RÜZGÂR TÜRBİNİNİN TASARIMI VE  
PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK  
İNCELENMESİ**

**2013  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Mehmet ACAR**

**PENCERELİ VE HELEZONİK TİP BİR DÜŞEY EKSENLİ RÜZGÂR  
TÜRBİNİNİN TASARIMI VE PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK  
İNCELENMESİ**

**Mehmet ACAR**

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

**KARABÜK  
Haziran 2013**

Mehmet ACAR tarafından hazırlanan “PENCERELİ VE HELEZONİK TİP BİR DÜŞEY EKSENLİ RÜZGÂR TÜRBİNİNİN TASARIMI VE PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Mehmet ERMURAT .....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 28/ 06/ 2013

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Mehmet KARALI (KBÜ) .....

Üye : Doç. Dr. Ziyaddin RECEBLİ (KBÜ) .....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet ERMURAT (ERÜ) .....

.../.../2013

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

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN .....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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

Mehmet ACAR

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **PENCERELİ VE HELEZONİK TİP BİR DÜŞEY EKSENLİ RÜZGÂR TÜRBİNİNİN TASARIMI VE PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**Mehmet ACAR**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Yrd. Doç. Dr. Mehmet ERMURAT**

**Haziran 2013, 59 sayfa**

Bu çalışmada, düşük rüzgâr hızlarında dahi çalışabilen savonius rüzgar türbininin performansının artırılmasına yönelik yeni bir tasarım geliştirilmiştir. Tasarım çok kademeli helezonik, pencereless ve silindirik olmayan yapıya sahip kanatçık gibi özelliklere sahiptir. Tasarım üzerinde ve imal edilen prototip üzerinde teorik analizler ve deneysel çalışmalar yapılmıştır.

75 cm yüksekliğinde ve 90 cm genişliğinde olan rüzgar türbini ile laboratuvar ortamında 6 farklı deney kombinasyonu için çeşitli rüzgar hızlarında (1 m/sn – 7 m/sn) deneyler yapılarak türbin devri ölçülmüştür.

**Anahtar Sözcükler** : Savonius rüzgar türbini, çok kademeli helezonik rüzgar türbini, pencereless rüzgar türbini.

**Bilim Kodu** : 914.1.090

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **DESIGN AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF PERFORMANCE OF WINDOWED AND HELICAL TYPE VERTICAL AXIS WIND TURBINE**

**Mehmet ACAR**

**Karabük University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Machine Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Assist. Prof. Dr. Mehmet ERMURAT**

**June 2013, 59 pages**

In this study, a new design has been developed to increase the performance of Savonius wind turbine that can operate even in low wind speeds. Design has some features such as multi stage helical and non-cylindrical structured blade with window. Theoretical analysis and experimental studies have been performed on the design and manufactured prototype.

In laboratory environment, turbine speed was measured at various wind speeds (1m/s-7 m/s) for 6 different experiment combinations by experimenting wind turbine with the height of 75 cm and width of 90 cm.

**Key Word** : Savonius wind turbine, multi stage helical wind turbine, windowed wind turbine.

**Science Code** : 914.1.090

## TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐmamn, planlanmasında, tasarımında ve uygulanmasında desteğini esirgemeyen danıŐman hocam Yrd. Doç. Dr. Mehmet ERMURAT'a, imalatı esnasında yardımlarını esirgemeyen değerli Yavuz YILMAZ ve Feyzi DEMİR'e, deneyler esnasındaki fikirleriyle tezime ışık tutan değerli hocalarım Doç. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK ve Doç. Dr. Mehmet KARALI 'ya teşekkür ederim.

Deneyler esnasında malzeme yardımlarını esirgemeyen, BOSKAY D. AŐ. Yönetimine teşekkür ederim.

Sevgili eŐime ve aileme manevi desteklerinden dolayı Őükranlarımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiii
BÖLÜM 1. ....	1
GİRİŞ .....	1
1.1. RÜZGÂR TÜRBİNLERİNİN GENEL OLARAK SINIFLANDIRILMASI..	4
1.1.1. Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri.....	5
1.1.1.1. Üç Kanatlı Rüzgâr Türbinleri.....	5
1.1.1.2. İki Kanatlı Rüzgar Türbinleri.....	6
1.1.1.3. Tek Kanatlı Rüzgar Türbinleri.....	7
1.1.1.4. Daha Çok Kanatlı Rüzgar Türbinleri.....	7
1.1.2. Düşey Eksenli Rüzgar Türbinleri.....	8
1.1.2.1. Darrieus Rüzgar Türbinleri.....	8
1.1.2.2. Savonius Rüzgar Türbinleri.....	9
1.1.3. Yatay ve Düşey Eksenli Rüzgar Türbinlerinin Avantaj ve Dezavantajları.....	11
1.1.3.1. Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri.....	11
1.1.3.2. Düşey Eksenli Rüzgar Türbinleri.....	12
1.2. RÜZGAR TÜRBİNLERİ İLE İLGİLİ BAZI PARAMETRELER.....	12
1.2.1. Rüzgârın Potansiyel Gücü ( $P_o$ ).....	12
1.2.2. Kanatçık Ucu Hız Oranı.....	13
1.2.3. Güç Katsayısı.....	13
1.1.4. Betz Limit.....	16



BÖLÜM 2.....	17
SAVONIUS RÜZGÂR TÜRBİNLERİNİN PERFORMANSLARININ ARTIRILMASINA YÖNELİK YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	17
2.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	17
2.2. DENEYSEL OLARAK UYGULANMIŞ BAZI TASARIM ÖRNEKLERİ. 21	
2.2.1. Çok Kademeli Türbin Tasarımı.....	21
2.2.2. Helezonik Kanatlı Savonius Rüzgâr Türbini.....	22
2.2.3. Perdelemeli Savonius Rüzgâr Türbini.....	24
2.2.4. Parçalı Açılıp Kapanabilen Kanatlı Savonius Rüzgâr Türbini.....	26
 BÖLÜM 3. ....	28
MATERYAL VE METOT .....	28
3.1. TASARIMIN ÖZELLİKLERİ.....	28
3.1.1. Çok Kademeli Helezonik Tasarım.....	29
3.1.2. Silindirik Olmayan Yapıya Sahip Kanatçık .....	29
3.1.3. Pencereleli Tasarım .....	31
3.2. DENEY DÜZENİĞİNİN KURULMASI .....	33
3.3. DENEY VE ÖLÇÜM PARAMETRELERİ.....	40
 BÖLÜM 4. ....	42
BULGULAR VE TARTIŞMA .....	42
4.1. TEORİK ANALİZ .....	42
4.1.1. Çok Kademeli Helezonik Tasarım.....	42
4.1.2. Silindirik Olmayan Yapıya Sahip Kanatçık .....	43
4.1.3. Pencereleli Tasarım .....	44
4.2. DENEYSEL SONUÇLAR.....	45
4.2.1. Değerlendirme-1 .....	46
4.2.2. Değerlendirme-2 .....	47
4.2.3. Değerlendirme-3 .....	49
4.2.4. Değerlendirme-4 .....	51
4.2.5. Değerlendirme-5 .....	52

	<b><u>Sayfa</u></b>
BÖLÜM 5. ....	53
SONUÇLAR.....	53
BÖLÜM 6. ....	54
ÖNERİLER.....	54
KAYNAKLAR .....	55
ÖZGEÇMİŞ .....	59

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 1.1. Ülkemizdeki kurulu gücün kaynak türüne göre dağılımı.....	2
Şekil 1.2. Ülkemizde rüzgâr enerji santrallerinin yıllara göre kurulu güç dağılımı .....	3
Şekil 1.3. Kaldırma kuvveti ile çalışan türbin .....	4
Şekil 1.4. Sürüklenme kuvveti ile çalışan türbin .....	5
Şekil 1.5. Üç kanatlı rüzgâr türbini ve rüzgâr yönü .....	6
Şekil 1.6. Rüzgâr türbinleri .....	7
Şekil 1.7. Darrieus rüzgâr türbini .....	9
Şekil 1.8. Savonius rüzgâr türbini .....	9
Şekil 1.9. Savonius rüzgâr türbini üstten görünüşü.....	10
Şekil 1.10. Savonius türbini için güç katsayı grafiği .....	15
Şekil 1.11. Çeşitli rüzgâr türbinleri için kanatçık ucu hız oranı - güç katsayısı grafiği .....	15
Şekil 2.1. İki katlı savonius rüzgâr türbini .....	22
Şekil 2.2. Üç katlı savonius rüzgâr türbini .....	22
Şekil 2.3. Helezonik kanatlı savonius 3 boyutlu tasarımı .....	23
Şekil 2.4. Helezonik kanatlı savonius rüzgâr türbini.....	23
Şekil 2.5. Savonius rüzgâr türbininde uygulanan perdeleme sistemi.....	25
Şekil 2.6. Tek katlı savonius türbini için tasarlanmış perde örneği .....	26
Şekil 2.7. Perde sistemi uygulamasından bir görüntü .....	26
Şekil 2.8. Parçalı açılıp kapanabilen kanatlı savonius rüzgâr türbini üstten görünüşü.....	27
Şekil 3.1. Pencere-kademeli helezonik savonius rüzgâr türbininin katı model montajı .....	28
Şekil 3.2. Silindirik ve silindirik olmayan yapıya sahip kanatçık kesitleri .....	30
Şekil 3.3. Silindirik ve silindirik olmayan yapıya sahip kanatçıklarda oluşan teorik rüzgâr sürüklenme kuvveti lokasyonu .....	30
Şekil 3.4. Silindirik olmayan kanatçık formuna sahip türbinin bazı rotor pozisyonları .....	31
Şekil 3.5. Silindirik kanatçık formuna sahip türbinin bazı rotor pozisyonları .....	31

Şekil 3.6. Rüzgar yönüne göre (kanatçık oryantasyonuna göre) pencerelerin önündeki perdenin açılıp-kapanması.....	32
Şekil 3.7. Kanatçık Seti (perde monte edilmemiş – katı model tasarım görüntüsü) .....	32
Şekil 3.8. Kanatçık Seti (perde monte edilmiş – gerçek görüntü).....	33
Şekil 3.9. Ara sac malzemesi.....	34
Şekil 3.10. Bağlama parçası .....	34
Şekil 3.11. Kanatçık sacı ile ara sacın birbirine bağlantısı .....	35
Şekil 3.12. Kanatçık setinin görünümü .....	35
Şekil 3.13. Kanatçık setinin mile montajı .....	36
Şekil 3.14. Rulman yatağının türbin kasasına montajı.....	37
Şekil 3.15. Türbin elemanları.....	37
Şekil 3.16. Pencereleli helezonik tasarımın katı model görüntüsü .....	38
Şekil 3.17. Delta anemometre .....	39
Şekil 3.18. İnvantör .....	39
Şekil 3.19. Deney düzeneğine ait bir fotoğraf.....	40
Şekil 3.20. Türbin pencere sistemi .....	41
Şekil 4.1. Rotor açısına göre rüzgârın tesir ettiği alan (tek katlı türbin) .....	42
Şekil 4.2. Rotor açısına göre rüzgârın tesir ettiği alan (çok kademeli ve silindirik olmayan helezonik türbin) .....	43
Şekil 4.3. Rotor açısına göre rüzgârın tesir ettiği alan (çok kademeli ve silindirik yapıllı helezonik türbin).....	44
Şekil 4.4. Rotor açısına göre türbinin negatif yönüne rüzgarın tesir ettiği alan(pencereleli, çok kademeli ve silindirik olmayan helezonik türbin) .....	45
Şekil 4.5. Deney sonuçlarının grafik olarak gösterimi .....	46
Şekil 4.6. 1. ve 6. deneye ait değerlerin karşılaştırmalı olarak grafiksel gösterimi..	47
Şekil 4.7. 1. 2. ve 3. deneye ait değerlerin karşılaştırmalı olarak grafiksel gösterimi.....	48
Şekil 4.8. 4. 5. ve 6. deneye ait değerlerin karşılaştırmalı olarak grafiksel gösterimi.....	50
Şekil 4.9. 2. ve 5. deneye ait değerlerin karşılaştırmalı olarak grafiksel gösterimi..	51
Şekil 4.10. 3. ve 4. deneye ait değerlerin karşılaştırmalı olarak grafiksel gösterimi..	52

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 3.1. Deney kombinasyonları. ....	41
Çizelge 4.1. Deneylerin sonuçları. ....	45

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

m	: metre
kW	: kilowatt
Al	: alüminyum
MW	: megawatt
$P_o$	: rüzgârın potansiyel gücü
$\rho$	: hava yoğunluğu
A	: rüzgârın ilerleme yönüne dik kesit alanı
$v$	: rüzgâr hızı
$u$	: kanatçık ucu hızı
r	: türbin yarıçapı
$\lambda$	: kanat uç hız oranı
Hz	: saniye başına düşen devir sayısı

### KISALTMALAR

Rpm	: revolution per minute (devir/dakika)
-----	--

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Rüzgâr enerjisi son yıllarda çok hızlı bir şekilde büyüyen temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de elektrik üretiminde rüzgâr enerjisinin payı giderek artmaktadır. 1998 yılından itibaren yap-işlet-devret modeli ile çeşitli santraller kurulmaya başlanmıştır. Özellikle 2006'dan itibaren rüzgâr enerji santrallerinin kurulması hız kazanmış, 2012 yılı Ekim sonu itibariyle ülkemizin elektrik ihtiyacının % 3,8'i (2.106 MW) rüzgâr enerjisinden karşılanmaktadır. Kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı Şekil 1.1'de, Rüzgâr enerjisi kurulu gücünün yıllara göre dağılımı ise Şekil 1.2'de gösterilmiştir.

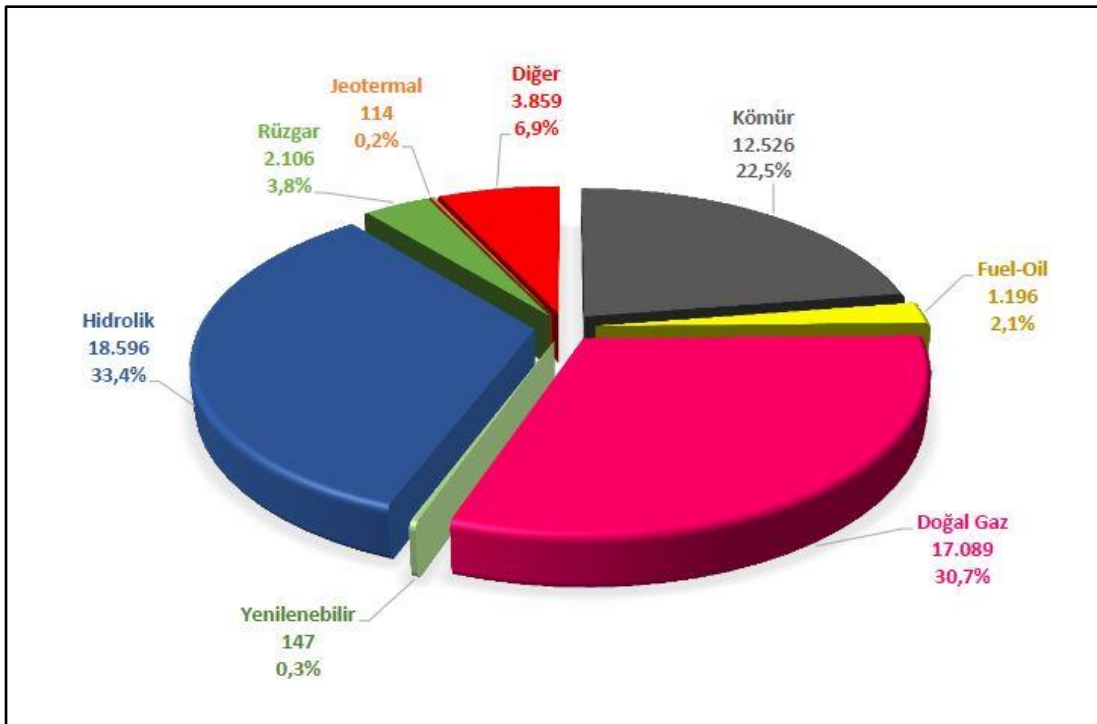
Ülkemizin enerji ihtiyacının % 30'unun doğalgazdan karşılandığı ve enerjide dışa bağımlı bir yapıya sahip olduğumuz Şekil 1.1'de açıkça görülmektedir. 2023 yılına gelindiğinde rüzgâr enerjisinden elektrik üretme hedefi Elektrik Enerji Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi'nde 20.000 MW olarak belirlenmiştir [1].

Bu hedef çerçevesinde yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi payını artırmak için bazı kanun ve yönetmelikler çıkarılarak uygulamaya konulmuştur. Bu düzenlemeler büyük ölçekli olan lisanslı enerji santrallerinin kurulması önündeki engel ve zorlukları kaldırmanın yanı sıra küçük ölçekli olan lisanssız enerji santrallerinin kurulmasının yolunu açmıştır. 21.07.2011 tarihinde resmi gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik çerçevesinde 500 KW'a kadar yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisi kurulması için lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğü kaldırılmıştır. Şirket kurma ve özellikle lisans alma işlemlerinin çok uzun ve zor süreçler olduğu dikkate alındığında yapılan bu düzenleme ile kısa sürede küçük ölçekli çok sayıda rüzgâr enerji santrallerinin kurulması beklenmektedir. Nitekim Mayıs 2013 sonuna kadar

Lisanssız Rüzgâr Enerji Santrali kurulumu için yapılan 158 adet başvurunun toplam kapasitesi 60 MW'tır [2].

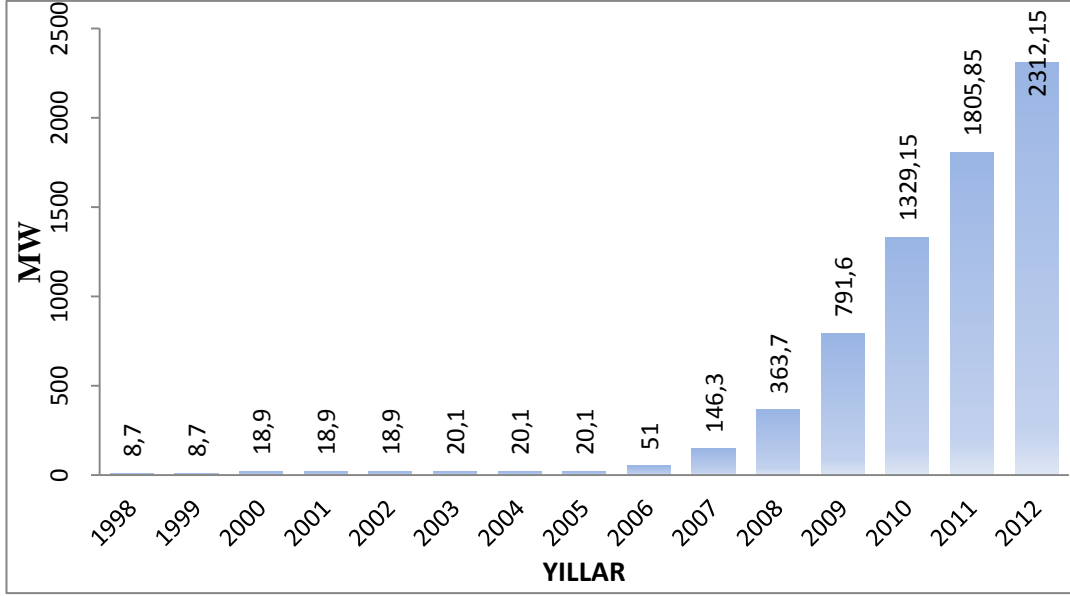
Lisanssız Rüzgâr Enerji Santrallerinin artması ile rekabetin ve üretimin yaygınlaşması bakımından 30 Mart 2013 günü resmi gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren yeni Elektrik Piyasası Kanunu çerçevesinde güç sınırı 500 KW'tan 1 MW'a yükseltilmiştir. Önümüzdeki günlerde tamamlanması beklenen ilgili yönetmeliğin yayınlanması neticesinde Lisanssız Rüzgâr Enerji Santralleri hem yaygınlaşacak hem de kapasite artışı yaşanacaktır.

İlgili kanun ve yönetmeliklerde en göze çarpan özellikler elektrik aboneleri olan herkesin (gerçek veya tüzel) lisanssız elektrik üretim tesisi kurabileceği ve bu kurmuş olduğu tesisle ürettiği elektriği kendisi kullanabildiği gibi ihtiyaç fazlasını da satabilmesi ve devletin de bu işleyişi garanti altına almasıdır [3].



Şekil 1.1. Ülkemizdeki kurulu gücün kaynak türüne göre dağılımı (Ekim 2012) [4].





Şekil 1.2. Ülkemizde rüzgâr enerji santrallerinin yıllara göre kurulu güç dağılımı [5].

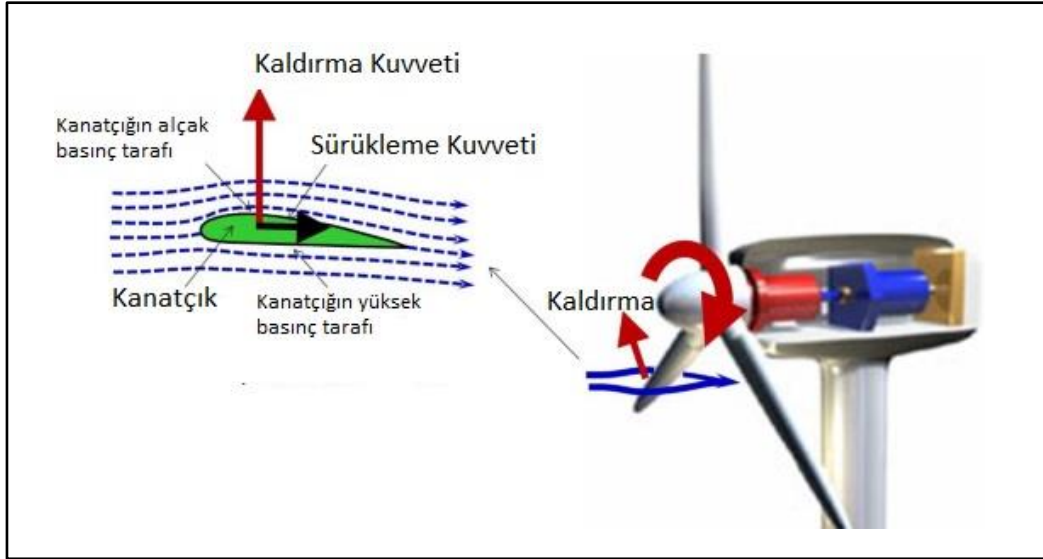
Bu çalışmada performansının artırılmasına yönelik olarak üzerinde çalışılan rüzgâr türbini olan Savonius Rüzgâr Türbini diğer rüzgâr türbinlerine nazaran düşük güç üretme kapasitesine sahiptir. Çok düşük rüzgâr hızlarında ve düzensiz rüzgâr akımlarında bile kullanılabilmesi gibi avantajları bakımından bu rüzgâr türbinleri lisanssız rüzgâr enerji santralleri çerçevesinde özellikle gerçek kişiler tarafından şehir ortamında kullanılabilir olma potansiyelini taşıdığından dolayı bireysel ölçekte önemli bir yer tutacağı öngörülmüştür.

Bu kapsamda savonius rüzgâr türbininin performansının artırılmasına yönelik olarak tasarım geliştirilmesi amaçlanmış, tasarım geliştirme işlemi bazı kriterler göz önünde bulundurularak 3 boyutlu Bilgisayar Destekli Tasarım programında gerçekleştirilmiştir. Yapılan tasarımla standart savonius türbini tasarımının potansiyel gücü teorik olarak karşılaştırılmıştır. Tasarlanan türbinin hafif olması da hedeflenerek prototip üretimi için gerekli parçalar Bilgisayar Destekli Lazerli Kesim tezgahında kesilerek montajı gerçekleştirilmiş ve bu prototip üzerinde çeşitli deneyler yapılmıştır.

## 1.1. RÜZGÂR TÜRBİNLERİNİN GENEL OLARAK SINIFLANDIRILMASI

Rüzgâr türbinleri genelde türbinin dönme ekseninin oryantasyonuna göre yatay eksenli ve düşey eksenli olmak üzere iki gruba ayrılır. Yatay eksenli türbinlerde eksen doğrultusu rüzgâr akış yönüne paralel, düşey eksenli türbinlerde eksen doğrultusu ise rüzgâr akış yönüne dik konumdadır. Yatay eksenli türbinler genelde kaldırma kuvveti (lift force) etkisi ile çalışırken düşey eksenli türbinler ise kaldırma kuvveti veya sürüklenme kuvveti (drag force) etkisi ile çalışırlar [6-8].

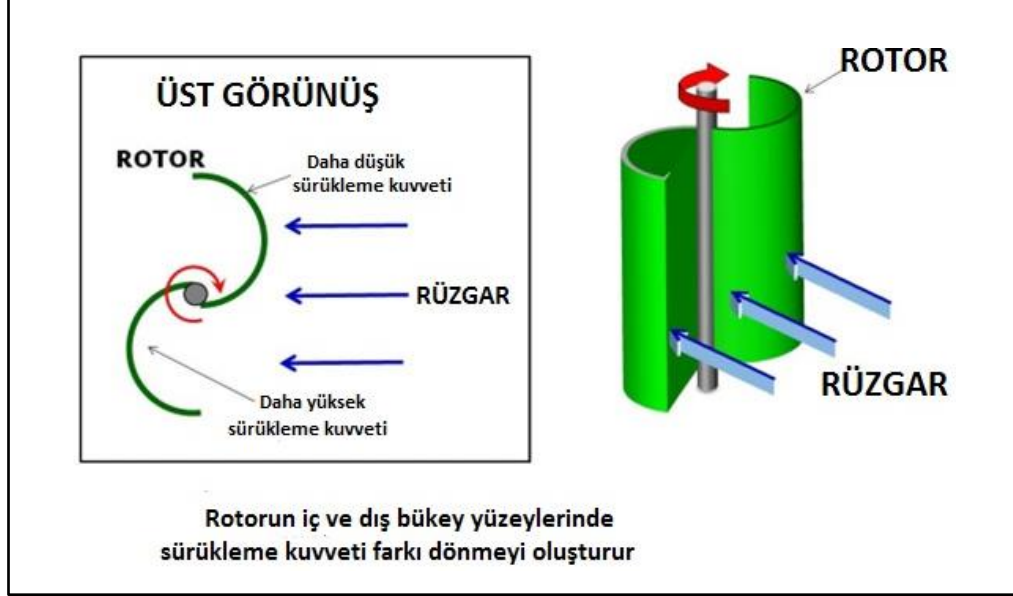
Rüzgârın akış yönüne dik olarak meydana gelen kuvvet rüzgârın oluşturduğu kaldırma kuvvetidir. Rüzgâr akışı önündeki kanatçığın geometrisine göre kanatçığın bir tarafında düşük basınç bölgesi meydana gelir. Bunun etkisi ile kanatçığın yüksek basınç bölgesinden düşük basınç bölgesine doğru yaptığı hareket bir çekme hareketidir ve bu kuvvet kaldırma kuvveti olarak adlandırılır [7,8]. Rüzgârın kaldırma kuvveti etkisi ile türbin gövdesini döndürmesi Şekil 1.3’de gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Kaldırma kuvveti ile çalışan türbin [7].

Rüzgârın akış yönünde oluşan kuvvet ise sürüklenme kuvveti olarak adlandırılır. Kanatçığın, rüzgârın akışı yönündeki sürüklenme (itme) etkisi ile rüzgâr yönünde hareket etmeye zorlanması sonucu oluşan kuvvete rüzgârın sürüklenme kuvveti adı

verilir [7,8]. Rüzgârın sürüklenme kuvveti etkisi ile türbin gövdesini döndürmesi Şekil 1.4’de gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Sürüklenme kuvveti ile çalışan türbin [7].

Her iki metodun kullanıldığı türbinlerde de rüzgârın kanatçıklara uyguladığı kinetik enerji sonucunda kanatçıkların bir eksen etrafında dönmeye zorlanmasıyla dairesel bir mekanik hareket oluşturulur. Elde edilen bu mekanik güç jeneratör yardımıyla elektrik enerjisi elde edilmesinde kullanılır.

### 1.1.1. Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri

Yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde dönme eksenini, rüzgâr yönüne paralel, kanatlar ise rüzgâr yönüne dik konumdadır. Bu tip türbinlerin ortalama verimi %45’tir.

Yatay eksenli rüzgâr türbinleri kanatçık sayısına göre şu şekilde sınıflandırılabilirler;

#### 1.1.1.1. Üç Kanatlı Rüzgâr Türbinleri

Bu türbinlerin yapılma amacı dönme momentinin düzgün olmasıdır. Ayrıca bu türbinlerde, türbin yapısından dolayı göbek içerisinde titreşim önleyici sistemlere

gerek yoktur. Kanatçık ucu hızının 70 m/sn den daha düşük olması gürültü seviyesinin az olmasını sağlar. Bu türbinlerde düşük güçlü olmaları durumunda hızı istenilen seviyeye getirmek için ek güç kullanılarak hızlandırma sağlanır. Jeneratöre güç aktarımı daha sonra gerçekleştirilir. Üç kanatlı rüzgâr türbinine bir örnek Şekil 1.5'te gösterilmiştir.



Şekil 1.5. Üç kanatlı rüzgâr türbini ve rüzgâr yönü [9].

#### 1.1.1.2. İki Kanatlı Rüzgâr Türbinleri

Bu türbinlerin yapılma amacı, rotor maliyetini üç kanatlı türbinlerden daha düşük hale getirmektir. Farklı ülkelerde rotor çapı 10 m-100 m arasında değişen türbinler tasarlanmış fakat çok az adedi seri üretime geçirilebilmiştir. İki kanatlı türbin rotorunun dengesi, tek kanatlı türbin rotoruna göre daha iyidir. Fakat iki kanatlı türbindeki rotorun sebep olduğu dinamik hareketlerin dengelenmesi ek teknik destek gerektirdiğinden, bu durum maliyetin artışına sebep olmaktadır. İlaveten göbek titreşimini azaltmak için rotora kadran sistemi dâhil edilmiştir. Bu türbinlerin kanatçık ucu hızları üç kanatlı türbinlerden daha yüksektir. Dolayısıyla gürültü seviyesi de dezavantajlarından birisidir (Şekil 1.6-b).

### 1.1.1.3. Tek Kanatlı Rüzgâr Türbinleri

Bu türbinlerin yapıma amacı, kanat sayısına göre dönme hızının yüksek olmasından dolayı döndürme momenti azalması ve makine ağırlığının düşmesidir. Bu sistemin çalışmasının dengeli sağlanabilmesi için kanada sabitlenen menteşe çift ağırlıkla birlikte kullanılır. Tek kanatlı türbinlerinde kanatçık ucu hızı, üç kanatlı türbinlere göre 2 kat fazladır, dolayısıyla tek kanatlı türbinlerin gürültü düzeyi, yüksek olması tercih edilmemesinin sebebidir (Şekil 1.6-a).

### 1.1.1.4. Daha Çok Kanatlı Rüzgâr Türbinleri

Bu türbinlerin yapıma amacı düşük güç gerektiren su pompalaması işleminde kullanmaktır. Rüzgâr türbinlerinin en ilkel tasarımlarındandır. Düşük hızda çalışırlar. Kanatların genişlikleri, göbekten uç kısımlara doğru artar. Pervanenin bağlı olduğu milin dişli kutusu ile bağlantısıyla daha yüksek dönme hızı elde edilerek elektrik elde etmede de kullanılabilir. Bu türbinlere rüzgârın pervaneye dik gelmesi amacıyla yönlendirici bağlanmaktadır (Şekil 1.6-c).



Şekil 1.6. a) Tek, b) İki ve c) Daha çok kanatlı rüzgâr türbinleri [10].

### **1.1.2. Düşey Eksenli Rüzgâr Türbinleri**

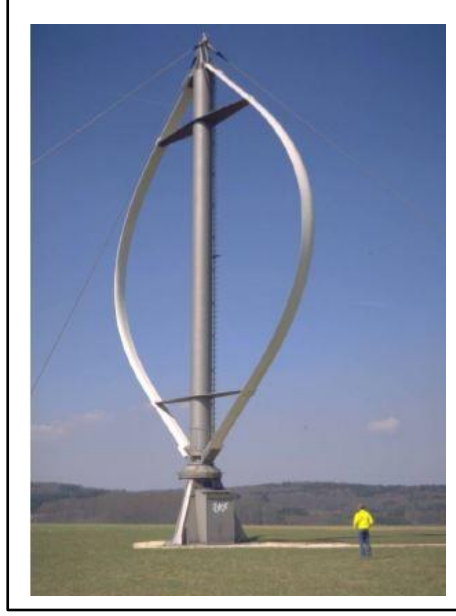
Düşey eksenli türbinlerin kanatları düşey konumda ve dönüş eksenli rüzgârın akış yönüne göre dikey durumdadır. Yatay eksenli türbinlere göre daha alçakta konumlandırılırlar. Çünkü üretim ve enerji dönüşüm mekanizmaları yer seviyesinde kurulabilmekte ve böylece kule dikmeye gerek kalmamaktadır. Bunun sonucu olarak sadece düşük rüzgâr hızlarında kullanılabilirler.

Diğer önemli bir nokta da ağırlığın, kanat sayısı ile doğru orantılı artmasına bağlı olarak yüksek hız veriminin azalmasıdır. Ayrıca gövdenin yer ile bağlantısı gerekmektedir. Bu bağlantı genelde halat kullanılarak yapılır ve sistemin dengesi de bu şekilde sağlanır.

İki farklı tasarıma sahip olan düşey eksenli rüzgâr türbinleri rüzgârın farklı kuvvetlerini kullanarak çalışırlar.

#### **1.1.2.1. Darrieus Rüzgâr Türbinleri**

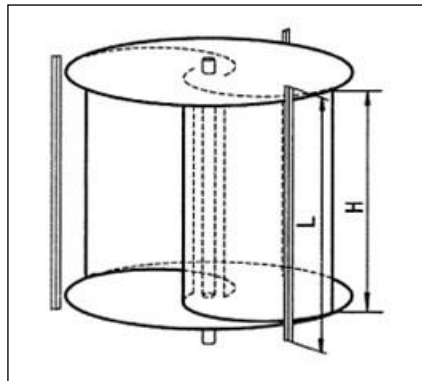
Bu türbin tipi Fransız mühendis George J. M. Darrieus tarafından 1931 yılında icat edilmiştir. İki veya üç kanatlı yapırlar. Kanatçıkların sahip olduğu geometrik yapısı dolayısıyla kanatçık profiline her iki tarafı arasında oluşan basınç farkının oluşturduğu rüzgârın kaldırma kuvveti prensibi ile çalışır. Düşey eksenli rüzgâr türbinleri normalde düşük rüzgâr hızlarında çalışırlar fakat bu türbinler yüksek hızlarda da çalışabilirler [11].



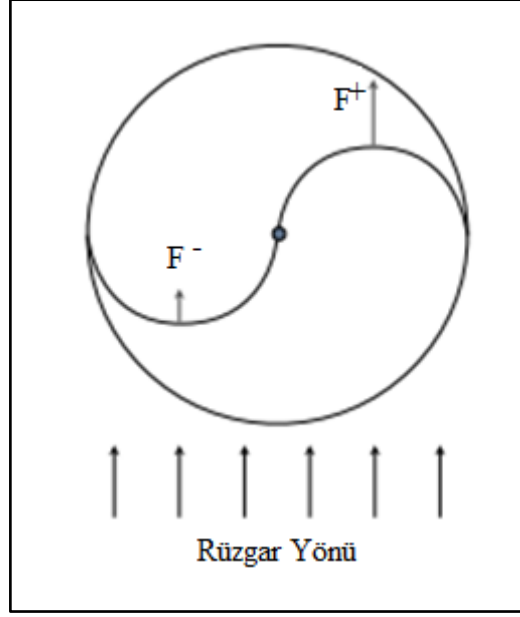
Şekil 1.7. Darrieus rüzgâr türbini [10].

### 1.1.2.2. Savonius Rüzgâr Türbinleri

Bu türbin tipi 1925 yılında Finlandiyalı mühendis Sigurd J. Savonius tarafından icat edilmiştir. Şekil 1.8’de gösterilen standart bir Savonius rüzgâr türbini üstten bakıldığında “S” harfine benzeyen bir kanat yapısına sahiptir. Türbinin sahip olduğu “S” şekli, döner bir milin etrafında iki adet yarı silindirik şekilli çanağın açisal olarak ( $180^\circ$  aralıkla) aynı yönlü konumlandırılması ile oluşur.



Şekil 1.8. Savonius rüzgâr türbini.



Şekil 1.9. Savonius rüzgâr türbini üstten görünüşü.

Kanatçıkların rüzgârın akış yönüne karşı dik olduğu konumda çanaklardan birinin içbükey kısmı rüzgâra yönelirken diğerinin dışbükey kısmı rüzgâra yönelmiştir. Rüzgâr aynı anda her iki kanatçığa da sürüklenme etkisi ile bir kuvvet uygular. Savonius rüzgâr türbini kanatçık yapısı ve rüzgârın geliş yönü arasındaki ilişki Şekil 1.9'da gösterilmiştir.

İçbükey kısma uygulanan kuvvet kanatçığı rüzgâr yönünde döndürmeye zorlayan bir pozitif moment oluştururken, diğer taraftaki kanatçığın dışbükey kısmına uygulanan kuvvet de kanatçığa tersi yönünde döndürmeye zorlayan bir negatif momentin oluşmasına neden olur. Rüzgârın, akış yönüne göre içbükey kısmı yönelmiş kanatçığa uyguladığı kuvvet (Şekil 1.9.  $F^+$ ), dışbükey kısmı yönelmiş kanatçığa uyguladığı kuvvetten (Şekil 1.9.  $F^-$ ) daha yüksektir. Bu kuvvet farkı rüzgâra içbükey kısmı yönelmiş kanatçığı rüzgâr yönünde ilerleyerek eksen etrafında döndürmeye zorlayan bir moment oluşmasına neden olur [12].

Bu tip türbinler düşük rüzgâr hızlarında çalışmaktadır. Rüzgârı her yönden alabilmektedirler. Düşük rüzgâr hızlarında çalışan çok kanatlı türbinlerden daha hafiftirler ve kanat sayıları 1-4 arasındadır. Verimi, gürültü seviyesi ve estetik görünüşleri dikkate alındığında 3 kanatlı türbinler en çok tercih edilenleridir [13].



### **1.1.3. Yatay ve Düşey Eksenli Rüzgâr Türbinlerinin Avantaj ve Dezavantajları**

#### **1.1.3.1. Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri**

Rüzgârın kaldırma etkisinin kullanıldığı yatay eksenli türbinler genelde yüksek güç elde etmek için kullanılan türbinlerdir.

Bu türbinlerin jeneratörle yaptığı bağlantı esnasında daha az miktarda güç kaybı yaşandığı için daha fazla dönme hızına sahiptirler.

Dar yapılı kanatçıklar az miktarda yüzey alanlarına sahip oldukları için bu rüzgâr türbinlerinin güç – ağırlık oranı oldukça yüksektir.

Yatay eksenli türbinlerde kanatçık boylarını uzatma yoluyla ve çevre şartlarının rüzgâr hızını etkilemeyeceği daha yüksek kulelere konulması ile verimi kolayca yükseltilebilmektedir. Özellikle kanat çapları 100 m'ye ulaşan ve yerden 80-100 m yukarı konumlandırılabilen yeni nesil rüzgâr türbinleri ile 1-6 MW güç elde edilebilmektedir [6].

Bu türbinlerin en önemli problemleri düşük rüzgâr hızlarında verimsiz olmaları ve belli bir rüzgâr hızının (3-4 m/sn) altında enerji üretimi tamamen durmaktadır.

Diğer yandan bu türbinlerde rüzgârın kanatçıkların her iki tarafında oluşturduğu basınç farkı ile sisteme hareket verildiği için kanatçık geometrilerinin tasarımının ve montajının çok hassas bir şekilde yapılması çok önemlidir.

Bu türbinler sadece tek taraftan gelen rüzgârı karşılayabilme özelliğine sahip olduğundan dolayı tek yönlü rüzgâr akımlarının bulunduğu yerlerde kullanılabilir.

### 1.1.3.2. Düşey Eksenli Rüzgâr Türbinleri

Düşey eksenli türbinlerle çok düşük rüzgâr hızlarında bile güç üretimi yapılabilmekte ve yer hizasında konumlandırıldıklarından dolayı kurulum ve bakım – onarım işlemleri yatay eksenlilere nazaran daha kolay gerçekleştirilebilmektedir.

Bu türbinler her yönden gelen rüzgârları karşılayabildiklerinden dolayı karışık akım olan yerlerde kullanılabilme özelliklerine sahiptirler.

Düşey eksenli türbinlerin kanatçık ucu hız oranı çok düşük olmakta, dolayısıyla küçük ölçekli güç gereksinimi ihtiyaçlarını karşılayabilmektedir.

Savonius rüzgâr türbinleri elektrik üretimi bakımından düşük bir verime sahip olduğu için bazı çalışmalarda bu türbinlerle elektrik üretiminden ziyade mekanik gücünü kullanma hedeflenmiştir.

## 1.2. RÜZGÂR TÜRBİNLERİ İLE İLGİLİ BAZI PARAMETRELER

Rüzgâr türbinlerinin elektriksel güç üretme kabiliyetlerini karakterize etmek için bazı parametreler bulunmaktadır.

### 1.2.1. Rüzgârın Potansiyel Gücü ( $P_o$ )

Rüzgâr, hareket halinde olması ve belli bir kütleyle sahip olması nedeniyle kinetik enerjiye sahiptir. Kinetik enerji ve momentumun korunumu kanunlarından yola çıkarak belli bir alan tesir eden rüzgârın potansiyel gücü şu şekilde formülize edilir [6].

$$P_o = \frac{1}{2} * \rho * A * v^3 \quad (1.1)$$

Burada,

$\rho$  = havanın yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ )

A = Rüzgârın tesir ettiği alan (türbin kanatçıklarının süpürme alanı) ( $\text{m}^2$ )

$v = \text{rüzgâr hızı (m/sn)}$

### 1.2.2. Kanatçık Ucu Hız Oranı

Kanatçık ucu hız oranı (Tip Speed Ratio,  $\lambda$ ) bir rüzgâr hızı etkisi ile dönen türbinin kanatçıklarının ucu kısmında oluşan hızın rüzgâr hızına oranıdır. Normalde kanatçık ucu hız oranı yüksek olması verimli bir elektrik üretimini sağlar, fakat türbinin çabuk hasar görmesi, ses gürültü problemi, titreşim, balans problemleri ve yüksek frenleme gücü gerektirmesi de yüksek kanatçık ucu hız oranı değerlerinin negatif yönleridir [14].

$$\lambda = \frac{u}{v} \quad (1.2)$$

Burada,

$v = \text{rüzgâr hızı (m/sn)}$

$u = \omega r = \text{kanatçık ucu hızı (m/sn)}$

$r = \text{türbin yarıçapı (m)}$

$\omega = 2\pi f = \text{kanatçık ucunun açısal hızı (rad/sn)}$

$f = \text{dönme frekansı (sn}^{-1}\text{)}$

### 1.2.3. Güç Katsayısı

Güç katsayısı (Power Coefficient,  $C_p$ ) bir rüzgâr türbininin rüzgârın kinetik enerjisini mekanik güce dönüştürebilmesi kabiliyetini tanımlar. Diğer bir ifade ile türbinden elde edilen gücün türbine etki eden rüzgârın potansiyel gücüne oranıdır. Şu şekilde formüle edilir;

$$C_p = \frac{P}{P_o} \quad (1.3)$$

Burada,

$C_p = \text{Güç katsayısı}$

$P$  = Türbinden elde edilen elektriksel güç (W)

$P_o$  = Rüzgârın potansiyel gücü (W)

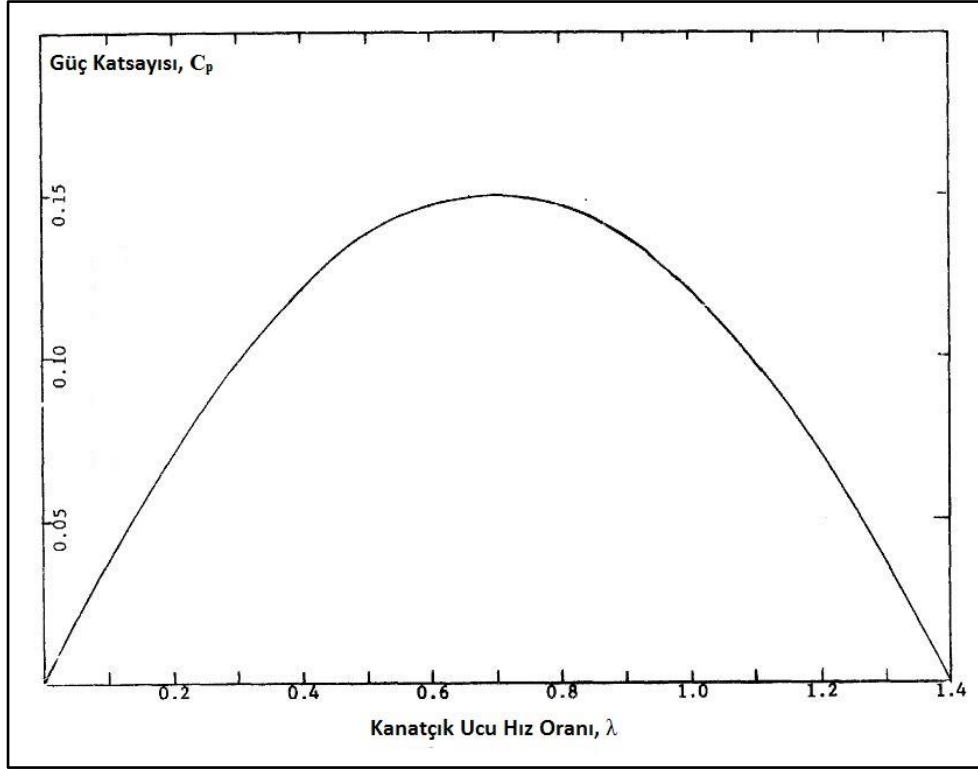
Buradan bir rüzgâr türbini ile elde edilebilecek maksimum elektriksel güç şu şekilde ifade edilebilir,

$$P = C_p * P_o = C_p * \frac{1}{2} * \rho * A * v^3 \quad (1.4)$$

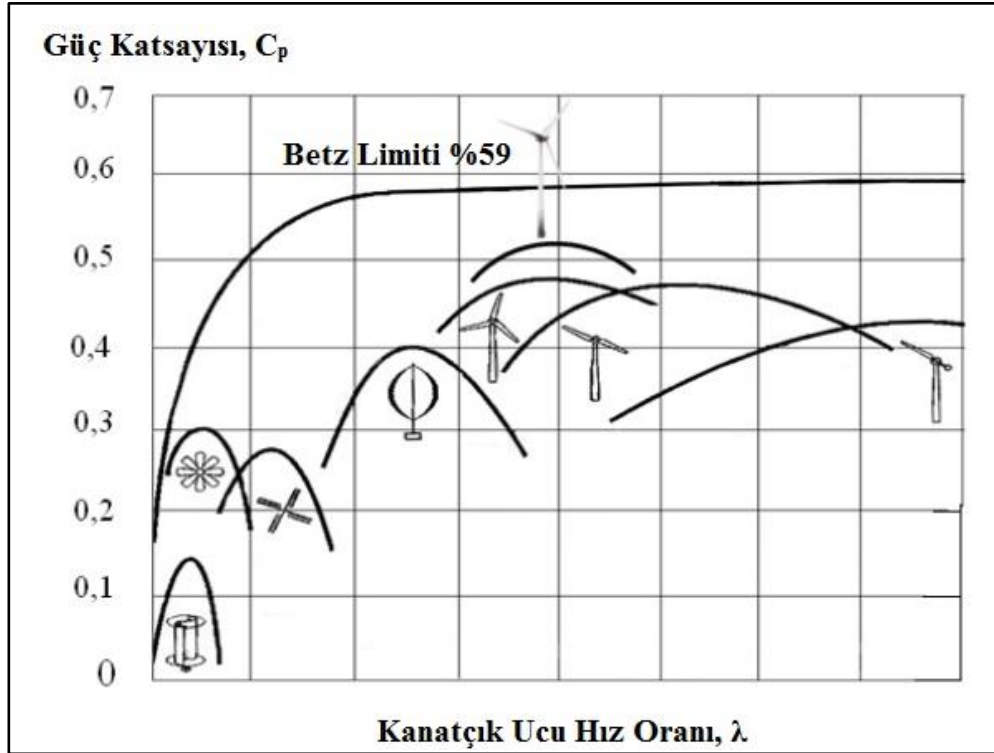
Türbinin konstrüksiyonu ve jeneratörle elektrik üretilmesi için kullanılan diğer mekanik aksamından kaynaklanan verim kayıpları da düşünüldüğünde rüzgâr türbini ile elde edilen güç Denklem 1.4'te belirtilen formülasyondan daha düşük seviyede çıkacaktır.

Rüzgâr türbinlerinin güç katsayısı kanatçık ucu hız oranına göre bir değer alır. Kanatçık ucu hız oranı  $\lambda=0,7$  olan tipik bir Savonius rüzgâr türbininin güç katsayısı  $C_p=0,12-0,15$  civarındadır. Simonds et al. (1964) bir Savonius rüzgâr türbini ile yaptıkları deneylerden elde ettikleri kanatçık ucu hız oranına göre güç katsayısı değerleri arasındaki ilişkiyi Şekil 1.10'daki grafikte ortaya koymuşlardır [15].

Şekil 1.11'de çeşitli rüzgâr türbinleri için ölçülerek belirlenmiş ortalama kanatçık ucu hız oranı – güç katsayısı grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 1.10. Savonius türbini için güç katsayı grafiği [15].



Şekil 1.11. Çeşitli rüzgâr türbinleri için kanatçık ucu hız oranı - güç katsayısı grafiği [16].

#### **1.1.4. Betz Limit**

Alman fizikçi Albert Betz yapmış olduğu hesaplamalarda bir rüzgâr türbini ile elde edilebilecek mekanik enerji rüzgârın kinetik enerjisinin % 59,3'ünden fazla olamayacağını ortaya koymuştur [17].

Betz limit grafiği de yine Şekil 1.11'de görülebilir. Grafikte hiçbir rüzgâr santrali ile elde edilebilecek gücün betz limitten fazla olamayacağı açıkça görülmektedir.

## BÖLÜM 2

### SAVONIUS RÜZGÂR TÜRBİNLERİNİN PERFORMANSLARININ ARTIRILMASINA YÖNELİK YAPILAN ÇALIŞMALAR

#### 2.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Murai et al. (2007) yaptıkları çalışmada Savonius türbininin etrafında parçacık hızlarını ölçmüşlerdir. Türbin etrafında oluşan basınç alanının yanı sıra tork performansını da hesaplamak için parçacık hızlarının ölçümüyle belirlenen hız vektör alanından faydalanılmıştır. Farklı rüzgâr yönü açısına göre yapılan basınç hesaplamalarında rüzgâr yönü farklılığının türbin performansına bir etkisinin olmadığını kanıtlamışlardır [18].

Atik ve ark. (2000) Kahramanmaraş'ta rüzgâr enerjisi potansiyelini inceleyerek bölgede kurulan bir rüzgâr türbininden elde edilen mekanik enerji ile bir ısı pompasının türbinden aldığı hareket sonucu ürettiği ısı enerjisini karşılaştırmışlardır. Çalışmada yerden yüksekliği 8,5 m, çark alanı 1,5 m<sup>2</sup> olan bir Savonius rüzgâr türbini kullanmışlardır. Bu bölgenin ortalama rüzgâr hızı 1,59 m/s ve Ağustos ayında 20 m türbin yüksekliğinde enerji yoğunluğu ayda 21,398 W/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Türbine bağlı ısı pompasından elde edilen ısı enerjisi, türbinden elde edilen mekanik enerji ile karşılaştırıldığında dört kat daha fazla enerji kazanıldığı sonucuna varmışlardır [19].

Rukhande et al. (2012) artan enerji talebine bağlı olarak, evlerde kullanılan az miktarda enerji gerektiren kablosuz ve radyo setleri için bir mikro savonius rüzgâr türbininin tasarımı yapılmıştır. Türbin hafif olması için kanatçıklar PVC'den imal edilmiştir [20].

Saha et al. (2005) yaptıkları çalışmada, kanatları bambudan bükülerek 3 kanatlı olarak yapılmış olan Savonius rüzgâr türbini ile sac malzemeden imal edilen savonius rüzgâr türbinini deneysel olarak karşılaştırmalı bir şekilde incelemişlerdir. Bambudan bükülerek imal edilmiş olan sistem daha düşük dönüş hızı göstermiştir [21].

Kamoji et al. (2009) yaptıkları çalışmada, geleneksel Savonius rüzgâr türbinini modifiye edilmiş, merkez mili olmadan kanatçıkların direkt birbirlerine monte edilmesi ile elde edilen bir türbin tasarlamışlar ve güç katsayısı, tork ve tork katsayısı performansını rüzgâr tüneli testinde incelemişlerdir. Güç katsayısının daha yüksek olduğunu bulmuşlardır [22].

Modi et al. (1984) yaklaşık beş dönüm arazi üzerinde sulama sistemi tesis etmek için dört katlı Savonius rüzgâr türbini tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Rüzgar tüneli testinde türbinin konstrüksiyonu için kanadın geometrisi ve kanat boyu oranını optimize etmişlerdir [23].

Modi et al. (1990) yaptıkları başka bir çalışmada rüzgâr enerjisinden su pompalama sisteminde kullanılabilecek savonius rüzgâr türbini tasarlamış, deneysel olarak rüzgâr tüneli testi yapılmış ve nümerik analiz olarak da sonlu elemanlar yöntemi kullanmışlardır. Yaptıkları savonius türbinin güç katsayısı ( $C_p$ ) 0,32 çıkmıştır [24].

Zingman (2007) yaptığı çalışmada, Honduras'ın kırsal kesiminde rüzgâr enerjisiyle çalışan su pompası tasarlamış ve üretmişlerdir. Savonius türbini üzerinde çalışmalara ihtiyaç duyulmuştur. Sistemin yardım almadan rüzgârla çalışması ve su pompalaması görülmüştür [25].

Menet (2004) klasik savonius rüzgar türbini üzerinde optimize yapılandırma yapılarak, prototip imalatını da yaptığı iki katlı savonius rüzgâr türbini tasarımı ile lokal bazda elektrik üretimi için bir çalışma yapmıştır. Bu türbinin güç katsayısı 0,29 çıkmış, verimin yüksek olduğunu belirlemiştir [26].



Hayashit et al. (2005) bir savonius rotorunun oldukça fazla olan ve istenmeyen tork farkını azaltmak ve tork karakteristiğini geliştirmek için üç katlı bir tasarım gerçekleştirmiştir. Tasarımda kanatçık setleri 120° aralıklarla konumlandırılmıştır. Üç katlı Savonius rotor ile standart tek katlı rotor üzerinde yapılan testlerde bir turdaki statik ve dinamik tork dalgalanması ve ortalama tork ölçümleri gerçekleştirilmiş, üç katlı olarak tasarlanan Savonius rotorunun bir dönme esnasında daha homojen bir tork dağılımına sahip olduğu ve ortalama tork değerinde artış olduğu gözlenmiştir [27].

Atılgan ve Altan (2004) yaptıkları çalışmada Savonius rüzgâr türbininin orijinal şekli korunarak türbin etrafına rüzgâra göre yön değiştirebilen bir perde tasarlamışlardır. Yapılan deneysel çalışmalarda da göstermiştir ki türbine negatif yönde sürüklenme kuvveti etkimemiş, aynı zamanda perdeleme ile türbin yönünde daralan bir kesit oluşturularak türbin performansını artırma yoluna gidilmiştir. Savonius rüzgâr türbinlerinin aerodinamik performanslarının artırılması ile düşük rüzgâr hızlarında iyi başlangıç özelliklerine sahip olmasından dolayı, ülkemizin düşük rüzgâr hızı ortalaması (2.54 m/s) dikkate alındığında, artan enerji ihtiyacının tedarik edilmesinde rüzgâr enerjisini daha faydalı bir şekilde kullanabilmek amacıyla iyi bir uygulama olacağı saptanmıştır [28]. Savonius türbininin karışık akımlı rüzgârlarda kullanılabilmesi avantajının kullanılabilmesi için perdeleme sisteminin rüzgâra göre yön değiştirmesi zorunluluğu uygulamada bir dezavantaj olarak görülmektedir.

Golecha et al. (2012) yaptıkları çalışmada, modifiye edilmiş klasik savonius rüzgâr türbini kenarlarına perdeleme levhaları koyarak güç katsayısını artırmayı hedeflemişlerdir. Bunun için rüzgâr tüneli testinde perdeleme levhaları türbinin kenarlarına 8 farklı şekilde konularak test etmişlerdir. Perdeleme levhaları etkisinde, güç katsayısı 0,35 çıkmış ve verimin yüksek olduğu görülmüştür [29].

Yıldırım (2011) yaptığı çalışmada yatay eksenli helezonik savonius rüzgâr türbinlerini tek sarım (360°'yi tamamlayan) ve çift sarım (360°'yi iki defa tamamlayan) olarak imalatını yapmış, deneysel olarak da incelemiştir [30].

Saha and Rajkumar (2005) yaptıkları çalışmada, 3 kanatlı helisel Savonius rüzgâr türbinini geleneksel Savonius türbiniyle karşılaştırmışlardır. Performansı, torku ve devir sayısı yüksek çıkmış, güç katsayısı 0,14 olarak bulmuşlardır. Türbinin daha düşük rüzgâr hızlarında harekete başladığını tespit etmişlerdir [31].

Kamoji et al. (2009) yaptıkları diğer bir çalışmada, helezonik Savonius rüzgâr türbini testleri rüzgâr tüneline yapılmış, tork katsayısı ve Savonius türbini için tork ve güç katsayısı ölçülmüştür. Kanatçıkların direkt birbirlerine monte edilmesi ile elde edilen bir helezonik türbin tasarlamışlar ve helezonik Savonius türbin geleneksel Savonius türbiniyle karşılaştırılmış ve güç katsayısı hemen hemen aynı olduğu tespit edilmiştir [32].

Damak et al. (2013) yaptıkları çalışmada, bir helezonik Savonius rüzgâr türbini geliştirmişler ve incelemişlerdir. Helezonik savonius rüzgâr türbiniyle geleneksel savonius rüzgâr türbinini karşılaştırmışlar ve helezonik savonius türbininin performansının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Türbin performansında Reynold sayısı ve bindirme etkisi incelenmiş ve daha iyi olduğu görülmüştür [33].

Tapas and Rajat (2010) helezonik savonius türbini için santrifüj fan çıkında güç katsayısı için deneyler yapmıştır. Güç katsayısında artış olmuş, maksimum olduğunda optimum bir örtüşme oranı tespit edilmiştir [34].

Saha et al. (2008) tek, iki, üç katlı, iki kanatlı ve üç kanatlı ve helisel haline getirilmiş olan savonius rüzgâr türbinlerinin performansları incelenmiştir. Her türbin tipi aynı büyüklükte imal edilmiştir. Deneyler, kanat aşamaları, kanat sayısı ve geometrileri optimize edilmiştir. Helisel savonius türbininde tüm açılarda elde edilen statik torkun daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır [35].

Aldoss (1984) yaptığı çalışmada, türbin kanatlarının rüzgâra karşı olduğu durumlarda rüzgâr direncini düşürmek için, sallanan kanatlı savonius rüzgâr türbini imalatını yapmış ve gücü artırmak için deneysel olarak incelemiştir. Klasik savonius ile sallanan kanatlı savonius arasında, sallanma anında güç artışı olduğunu belirlemiştir [36].

ElBeheiry and Askary (2012) dört katlı bir savonius rüzgâr türbini tasarımı yapmışlardır. Yapılan bu tasarım, parçalı açılıp kapanabilen kanatlı rüzgâr türbini tasarımına benzer nitelikteki rüzgârın istikametine göre açılıp kapanabilir kanatçıklardan oluşmasıdır. Farklı olarak kanatçıklar komple açılıp kapanabilir özelliğe sahip olmasıdır. Teorik ve deneysel yapılmış olan çalışmada elde edilen tork değerlerinde artış olduğu vurgulanmıştır [37]. Bu tasarımda dikkat çeken özellik kanatçıkların rüzgâr karşılama ve tutma performansını artıran çanak şeklinde olmayıp düz olarak tasarlanmasıdır.

## **2.2. DENEYSEL OLARAK UYGULANMIŞ BAZI TASARIM ÖRNEKLERİ**

Savonius rüzgâr türbinlerinin performansının iyileştirilmesi amacıyla çeşitli metotlar üzerinde durulmuş, farklı tasarımlar geliştirilmiştir. Bunlar özetle şu şekildedir.

### **2.2.1. Çok Kademeli Türbin Tasarımı**

Savonius rüzgâr türbinlerinin en ilkel hali tek katlı olanlarıdır. Türbin verimini artırmak açısından birden fazla kanatçık setleri üst üste konularak rüzgârdan daha fazla oranda fayda sağlama yoluna gidilmiştir.

Türbin iki kattan oluştuğu zaman kanatçık setleri kanatçıklar arasında  $90^\circ$  açı olacak şekilde, üç kattan oluştuğu zaman ise kanatçıklar arasında  $60^\circ$  açı olacak şekilde yerleştirilir.

Çok kademeli tasarım sayesinde türbin çapı (türbinin yeryüzünde kapladığı alan) artmamasına rağmen daha fazla miktarda rüzgârdan faydalanma imkânı doğmaktadır. Fakat yükseklik artacağı için rotorun bağlı olduğu göbeklerin oturduğu çerçevenin sabitlenmesi daha sağlam olmalı, böylece dönme sırasında türbinin aksel bir zarar görmesi önlenmelidir. Ayrıca bu sayede, çıkarma-takma maliyetini artıran, kanatların titreşim ve salınım yapması da engellenmiş olacaktır [38].

Şekil 2.1'de savonius türbininin iki katlı uygulaması, Şekil 2.2'de ise üç katlı uygulaması gösterilmiştir.



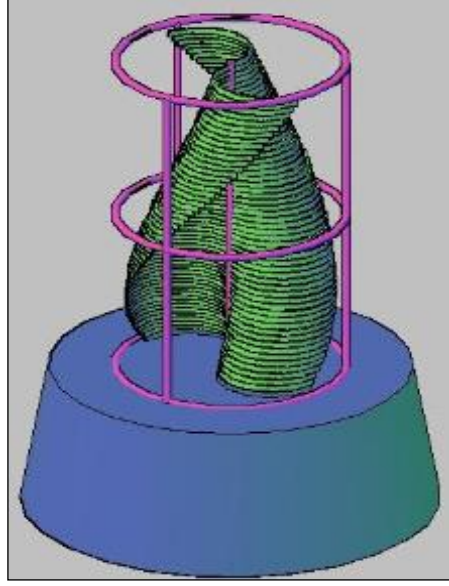
Şekil 2.1. İki katlı savonius rüzgâr türbini [26].



Şekil 2.2. Üç katlı savonius rüzgâr türbini [38].

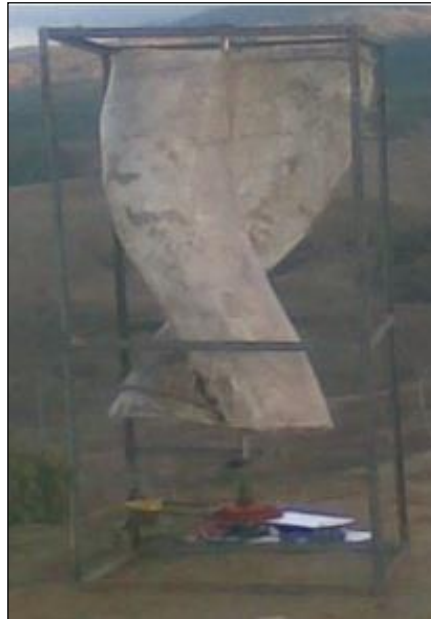
### 2.2.2. Helezonik Kanatlı Savonius Rüzgâr Türbini

Bu türbinlerin kanatları, dik olarak gelen rüzgârı kanat yüzeyinin her alanına eşit bir şekilde dağıtmak için helezonik şekilde tasarlanmıştır. Helezonik kanatlı savonius türbinine yönelik yapılan bir tasarımın 3 boyutlu model görüntüsü Şekil 2.3’te, imal edilmiş hali ise Şekil 2.4’te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Helezonik kanatlı savonius 3 boyutlu tasarımı [39].

Bu tasarımda hava türbülansları minimum seviyeye getirilerek elektrik üretimine yönelik katkı sağlanmıştır. Yeni kanat tasarımının getirileri; fiber malzeme katkısı ile kanatları hafifletmek, elektrik üretimi sırasında oluşan sinüs dalgalı ivmelenmeyi minimum seviyeye getirmek olarak özetlenebilir. Bunlara ek olarak imalat süresinde de kısalma sağlandığı yazar tarafından ifade edilmiştir [39].



Şekil 2.4. Helezonik kanatlı savonius rüzgâr türbini [39].

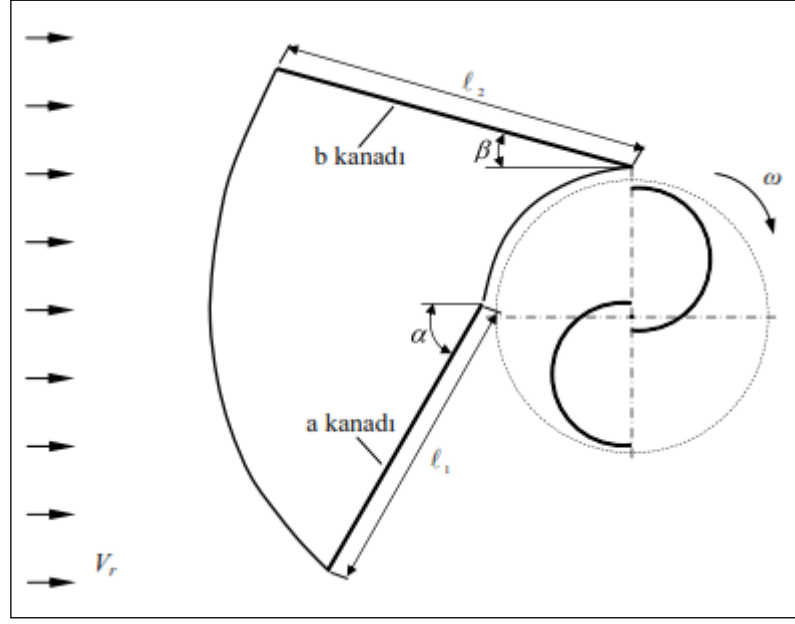
Söz konusu çalışmada kanat imalatı için bakalit katkılı fiber tercih edilerek hafif ve darbelere dayanıklı, korozyon direnci yüksek ve değişiklik yapabilmeye müsaade eden kanatlar üretilmiştir. Kanatların hafif oluşu ve helezonik yapısı sayesinde diğer Savonius tasarımlarına göre daha düşük rüzgâr hızlarında bile dönme sağlanmaktadır [39].

Helezonik kanatın esnek yapısından dolayı bazı geliştirmeler yapılması zorunlu hale gelmiştir. Aksi takdirde kısa sürede kırılmalar meydana gelebilecektir. Bu kanatların uç bölgelerinin dayanımını artırmak ve salınım yapmasını azaltmak için kanat uçları kalınlaştırılmış ve içi boş bakır boru S şeklinde bükülerek kanadın alt ve üst taraflarına vida ile birleştirilmiştir. Böylece kullanım süresi de artırılmıştır [39].

### **2.2.3. Perdelemeli Savonius Rüzgâr Türbini**

Perde sistemi Savonius rüzgâr türbininin rüzgara doğru hareket eden kanatçığın önünü kapatarak negatif moment oluşumunu önlemek ve normalde türbin üzerine gelmeyen, etraftaki rüzgarı da kanatçık üzerine toplayarak güç ve verimi artırmak suretiyle rüzgârı daha verimli kullanmak amacıyla geliştirilmiştir.

Savonius rüzgâr türbinlerinin genel olarak düşük enerji verimine sahip olması ve bu türbinlerin performansının artırılması amacı perdeleme sisteminin ortaya çıkmasına etken bir faktör olmuştur. Bu nedenle savonius rüzgâr türbinlerinin düşük türbin verimini ve gücünü artırmak amacıyla türbin önüne, kanatın dış bükey tarafında oluşan negatif (-) moment oluşumunu önleyebilecek bir rüzgâr perdesi tasarımı yapılmıştır. Perdeleme sistemi Şekil 2.5'te, imalatı ve uygulamalarına ait resim görüntüleri ise Şekil 2.6. ve Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Savonius rüzgâr türbininde uygulanan perdeleme sistemi [40].

Altan yaptığı çalışmada, farklı kanat açıları ve perde giriş uzunluklarında, perdeli ve perdesiz Savonius türbinlerinin güç performanslarını karşılaştırmıştır. Bu sistemin geliştirilmesi sırasında baz alınan noktalar kanatlar üzerinde oluşan statik ve dinamik moment değerleridir [28,40,41].

Perdeli Savonius türbinleri konusunda yapılan çalışmalarda bu tip türbinlerin düşük rüzgâr hızlarının bulunduğu bölgelerde kullanılmasının daha uygun olacağı anlaşılmıştır. Bu sistemin önemli dezavantajı, perde mekanizmasının rüzgâr yönü doğrultusuna çevrilmesi gerekliliğidir.



Şekil 2.6. Tek katlı savonius türbini için tasarlanmış perde örneği [40].



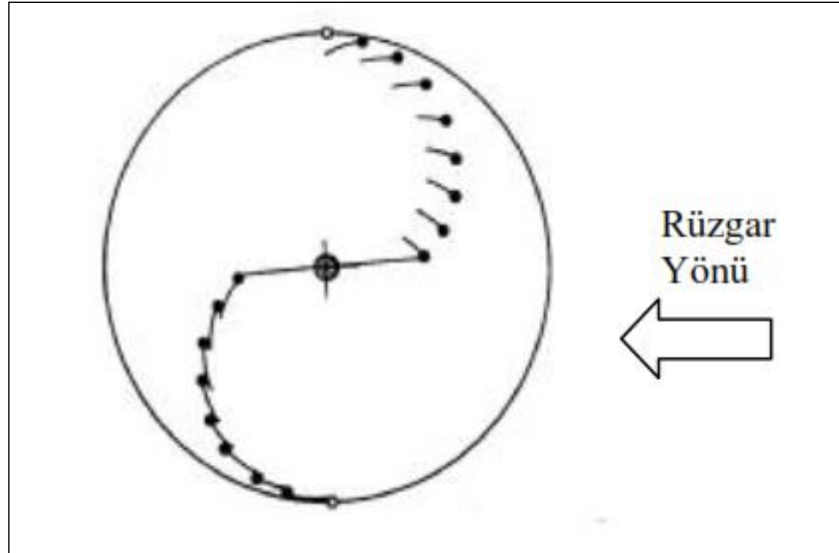
Şekil 2.7. Perde sistemi uygulamasından bir görüntü [40].

#### 2.2.4. Parçalı Açılıp Kapanabilen Kanatlı Savonius Rüzgâr Türbini

Bu türbin tasarımı Reupke and Probert (1991), tarafından gerçekleştirilmiştir. Klasik Savonius türbininin yarım silindir yüzeyi şeklindeki kanatları yerine yarım çember hizasında menteşe bağlantılı hareketli kanatçıklar monte edilmiştir. Böylece rüzgârın pozitif moment etkisinin oluşacağı rüzgâr yönünde hareket eden kanatçık üzerinde bulunan hareketli kanatçıklar otomatik olarak kapanıp rüzgârı tutarken negatif moment etkisinin oluşacağı rüzgâra doğru hareket eden kanatçık üzerinde bulunan



hareketli kanatçıklar otomatik olarak açılarak rüzgâr geçişi sağlar ve negatif moment oluşumu sınırlandırılmış olur. Tipik savonius türbinlerine nazaran bu tasarımla düşük hızlarda daha yüksek tork elde edilmesinin yanısıra daha yüksek kanatçık ucu hızı oranı ( $\lambda=0,8$  – tipik savonius için  $\lambda=0,7$ ) da elde edilmiştir. Fakat daha yüksek rüzgar hızlarında merkezden çevreye doğru açılan kanatçıkların oluşturduğu santrifüj kuvvetler türbin verimini negatif yönde etkilemiş, güç katsayısı değeri benzer yapıdaki tipik savonius türbinine kıyasla çok düşük çıkmıştır ( $C_p=0,05$  –tipik savonius için  $C_p=0,15-0,18$ ). Diğer yandankanatçıkların açılıp kapanması ve bu hareketin her dönüşte tekrarlanması sonucu kanatçıkların bağlantı kısımlarında aşınmalar olduğu belirtilmiştir [42-44].



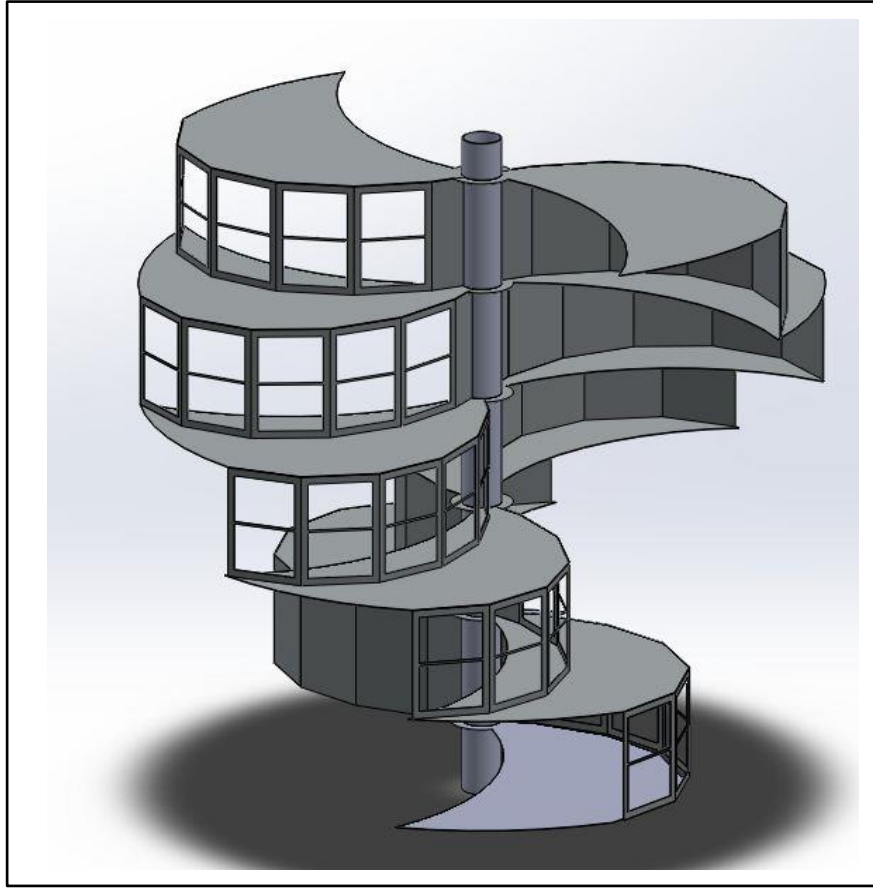
Şekil 2.8. Parçalı açılıp kapanabilen kanatlı savonius rüzgâr türbini üstten görünüşü [43].

## BÖLÜM 3

### MATERYAL VE METOT

#### 3.1. TASARIMIN ÖZELLİKLERİ

Pencereli-kademeli helezonik savonius rüzgâr türbininin tasarımında, rüzgârdan daha çok faydalanılmasına yönelik kanat tasarımı üzerinde durulmuştur. Tasarımı, katı modelleme programı olan Solidworks'te gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.1'de pencereli-kademeli helezonik savonius türbininin montaj halinin katı modeli gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Pencereli-kademeli helezonik savonius rüzgâr türbininin katı model montajı.

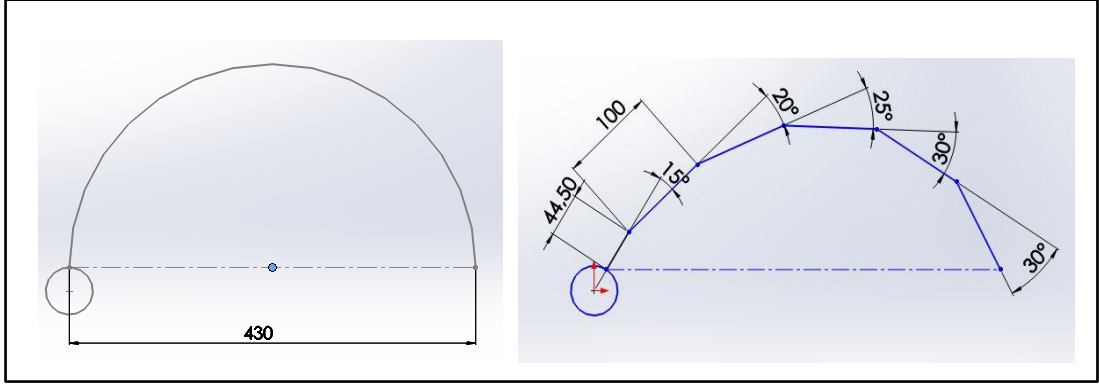
Tasarım standart savonius türbinlerine nazaran çok kademeli-helezonik, silindirik olmayan yapıya ve pencereci yapıya sahip kanatçık olmak üzere 3 farklı özelliğe sahiptir.

### **3.1.1. Çok Kademeli Helezonik Tasarım**

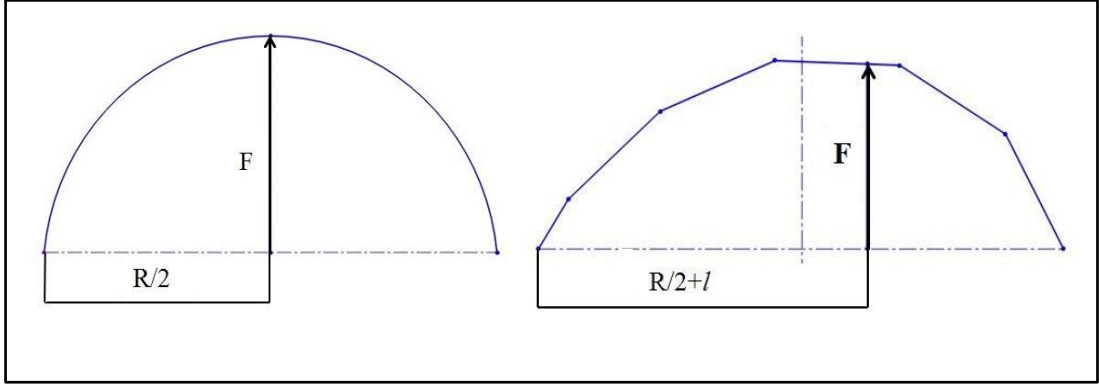
Helezonik tasarımda söz konusu olan rüzgârın tam olarak hapsedilememesi problemini gidermek için kademeli helezonik bir tasarım gerçekleştirilmiştir. Helezonik yapının kademeli olarak tasarlanmış olması, helezonik tip türbinlerde yaşanmakta olan rüzgârın optimum şekilde kullanılamaması problemini gidermek için yapılmıştır. Kademeler tekil olarak düşey profile sahip çanak formundadır. Rüzgârın hapsedilmesini sağlayan çanak yapının üst ve alt kısımlarında bulunan ve ara sac olarak adlandırılan yapılarıdır. Helezonik yapı bütün kademelerin birbirlerine belli bir dönme açısı ile konumlanması ile elde edilmiştir. Çok kademeli helezonik yapı Şekil 3.1’de görülebilir.

### **3.1.2. Silindirik Olmayan Yapıya Sahip Kanatçık**

Klasik savonius rüzgâr türbinlerinde silindirik çanak kullanılırken kendi tasarımıımızda çevreye doğru açıldıkça artan eğimde kademeli yapıli kanatçıklar kullanılmıştır. Bu tasarımda bir yandan rüzgârın uygulamış olduğu sürüklem kuvvetinin merkezinin dönme ekseninden uzaklaştırılarak oluşacak momenti artırması amaçlanırken diğeryandan bombenin düşük olmasından dolayı pozitif yönde dönen kanatçığın diğery kanatçık tarafından gölgelenmesinin de düşük düzeyde kalması amaçlanmıştır. Silindirik ve silindirik olmayan yapıya sahip kanatçık kesitleri Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Sürüklem kuvveti merkezi Şekil 3.3’te, gölgeleme etkisi ise Şekil 3.4. ve Şekil 3.5’te gösterilmiştir.

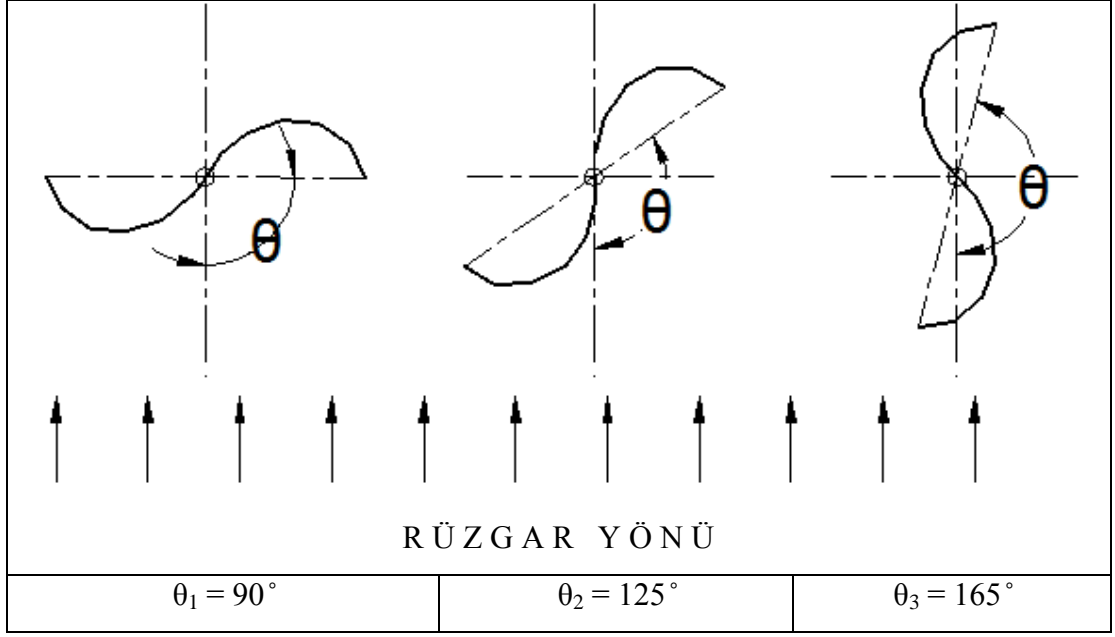


Şekil 3.2. Silindirik ve silindirik olmayan yapıya sahip kanatçık kesitleri.

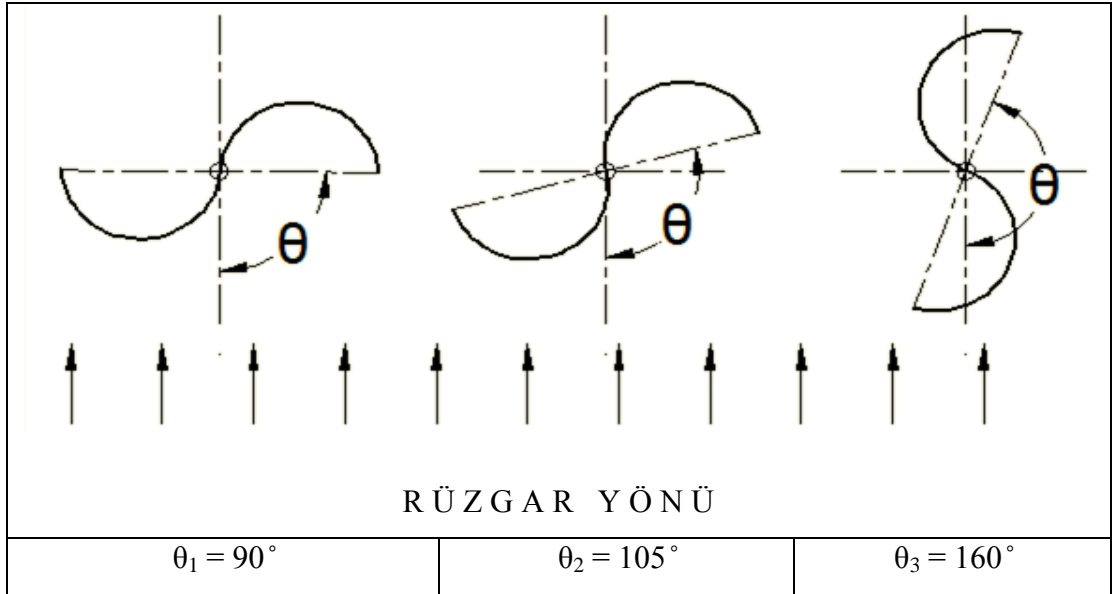


Şekil 3.3. Silindirik ve silindirik olmayan yapıya sahip kanatçıklarda oluşan teorik rüzgâr sürüklenme kuvveti lokasyonu.

Şekil 3.4'te silindirik olmayan kanatçık formuna sahip olan türbinin Şekil 3.5'te ise silindirik kanatçık formuna sahip olan türbinin pozitif yöndeki kanatçığının (rüzgarla aynı yönde hareket eden) diğer kanatçık tarafından maruz kaldığı gölgeleme etkileri gösterilmiştir.  $\theta_1$  açısında türbinler rüzgârdan maksimum derecede faydalanırken  $\theta_2$  açısında gölgeleme etkisi görülmeye başlanır.  $\theta_3$  açısında negatif yönde ilerleyen kanatçığın bombeli kısmı pozitif yönde ilerleyen kanatçığı tamamen gölgeler, yani rüzgârı tamamen kapatır. Silindirik forma sahip kanatçıkta gölgeleme  $105^\circ$  de başlayıp  $160^\circ$  de tamamlanırken, silindirik forma sahip olmayan kanatçıkta gölgeleme  $125^\circ$  de başlayıp  $165^\circ$  de tamamlanır. Sonuçta silindirik forma sahip olmayan türbinde pozitif yönde ilerleyen kanatçığa rüzgârın daha fazla etki ettiği ve bunun sonucunda ise verimin daha yüksek olacağı kaçınılmazdır.



Şekil 3.4. Silindirik olmayan kanatçık formuna sahip türbinin bazı rotor pozisyonları.

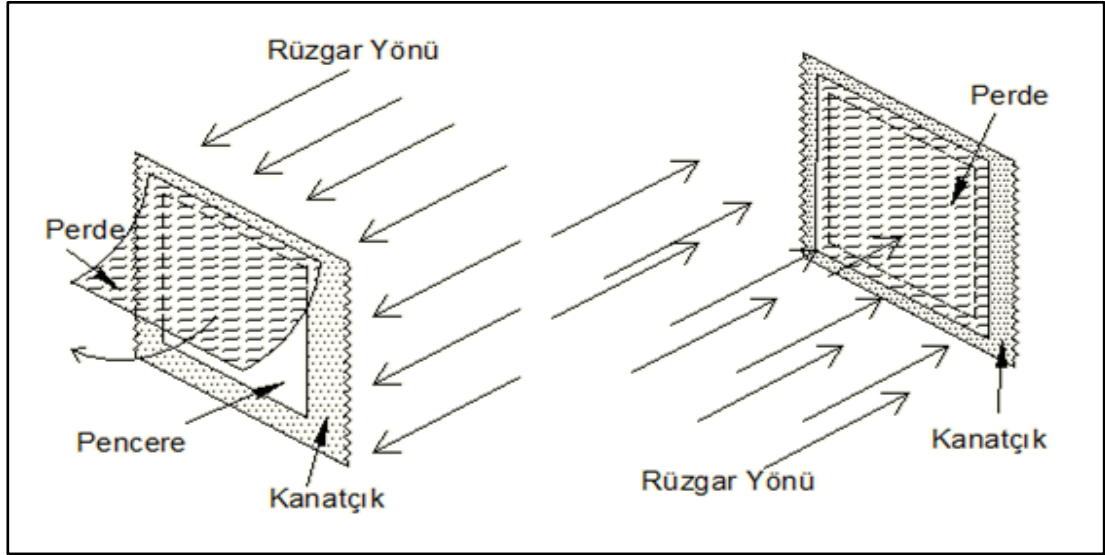


Şekil 3.5. Silindirik kanatçık formuna sahip türbinin bazı rotor pozisyonları.

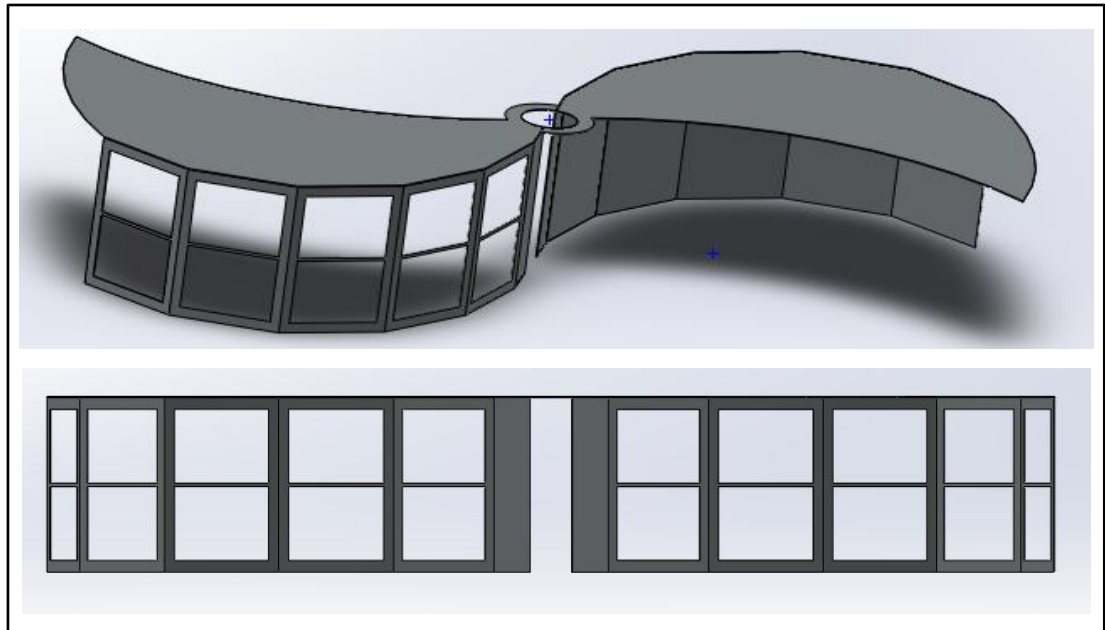
### 3.1.3. Pencereleli Tasarım

Pencereli tasarım, klasik savonius rüzgar türbinlerinden farklı olarak, tersine moment etkisinin azaltılması için pencereleli olarak dizayn edilmiştir. Kanatçıklar pencereleli olarak yapılmış ve pencereler üzerine perdeler monte edilmiştir. Pencereler rüzgâr

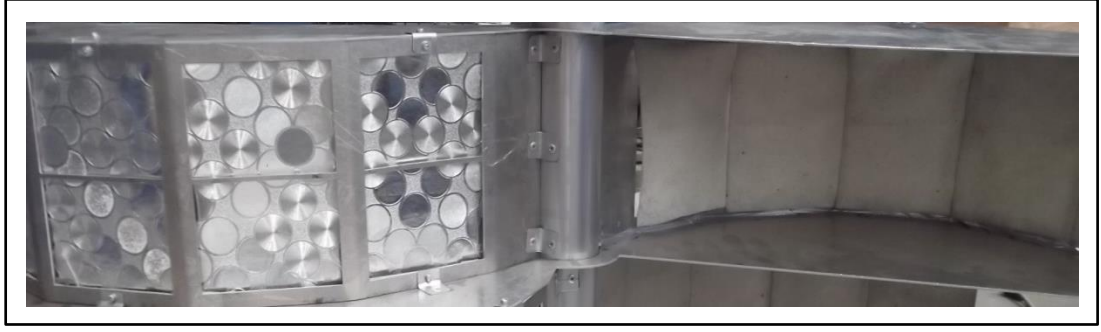
karşılama konumu olan iç bükey konumunda kapanıp, negatif moment oluşan dış bükey konumunda açılmaktadır. Bu Şekil 3.6'da resmedilmiştir. Kanatçık setinin (pozitif ve negatif yönde ilerleyen kanatçıklar) perde monte edilmemiş katı model tasarım görüntüsü Şekil 3.7'de, perde monte edilmiş fotoğraf görüntüsü ise Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Rüzgar yönüne göre (Kanatçık oryantasyonuna göre) pencerelerin önündeki perdenin açılıp-kapanması.



Şekil 3.7. Kanatçık seti (perde monte edilmemiş – katı model tasarım görüntüsü).



Şekil 3.8. Kanatçık seti (perde monte edilmiş – gerçek görüntü).

### 3.2. DENEY DÜZENİĞİNİN KURULMASI

Türbinin imalatı için kullanılacak malzeme seçiminde çelik sac, ahşap, alüminyum ve fiberglas düşünülmüştür. Bu malzemelere dikkat edilecek olursa;

Sac malzemenin kullandığımız alüminyuma göre dayanımı yüksektir ve fiyatı düşüktür fakat şekle sokulmasında ve ağırlığından dolayı dezavantajlıdır.

Ahşap hafiftir fakat şekillendirilmesi için özel kesim yöntemlerine ihtiyaç vardır. Alüminyuma göre kullanımı daha zordur.

Fiberglas, bugün 3 kanatlı rüzgâr türbinlerinde ve diğer türbin kanatlarında kullanılmaktadır fakat imalat işlemleri zordur. Dayanımı yüksek ve hafif bir malzemedir.

Tasarımda 1,5 mm kalınlığında Al 5700 serisi Alüminyum malzeme kullanılmıştır.

Bu malzemenin tercih edilmesinin nedeni kısaca şunlardır;

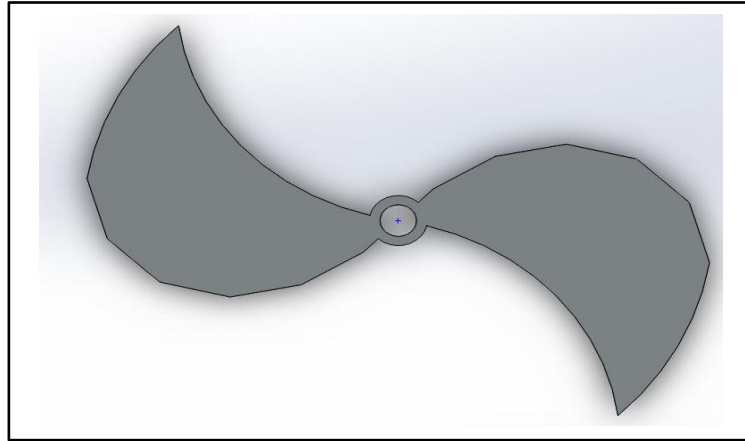
- Hafif olması
- Paslanmaz bir özelliği olması
- Şekil verebilme özelliğinin yüksek olması
- Dayanımının yüksek olması

Kanatçıkların uzunlukları açılım hesabı ile dikdörtgen şeklinde boyutları belirlenerek 2 boyutlu tasarıma aktarılmış, pencereleri oluşturacak boşluklar da aynı tasarımda

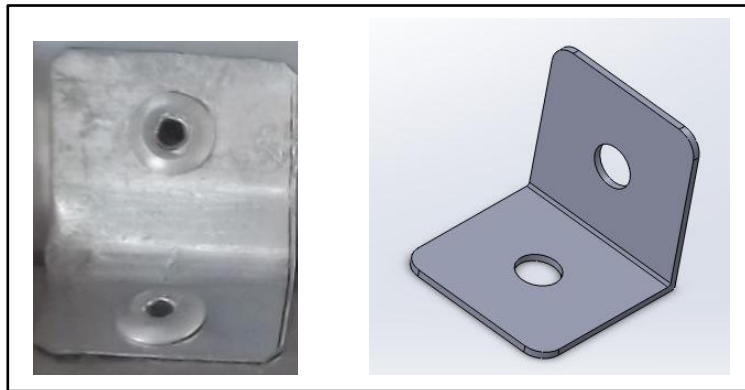
belirlenerek tek işlemdede lazerle kesim işlemi gerçekleştirilmiştir. Lazerli kesim ile hem ölçü hassasiyeti sağlanmış hem de malzeme deformasyona maruz kalmadan kesme işleminin gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

Kanatçıkların tasarlandığı gibi açılı hale getirilmesi işlemi, bükme tezgâhında ölçülere uygun ve bükme haricinde türbinin çalışmasını negatif etkileyecek bir deformasyon olmadan yapılmıştır.

Kanatçık sacları birbirine monte edilmeden önce kademeli helezonik etki oluşturabilmesi için Şekil 3.9’da görülen ara sac malzemesine monte edilmiştir. Her iki sacı birbirine monte edebilmek için Şekil 3.10’da görülen bağlama parçası kullanılmıştır.



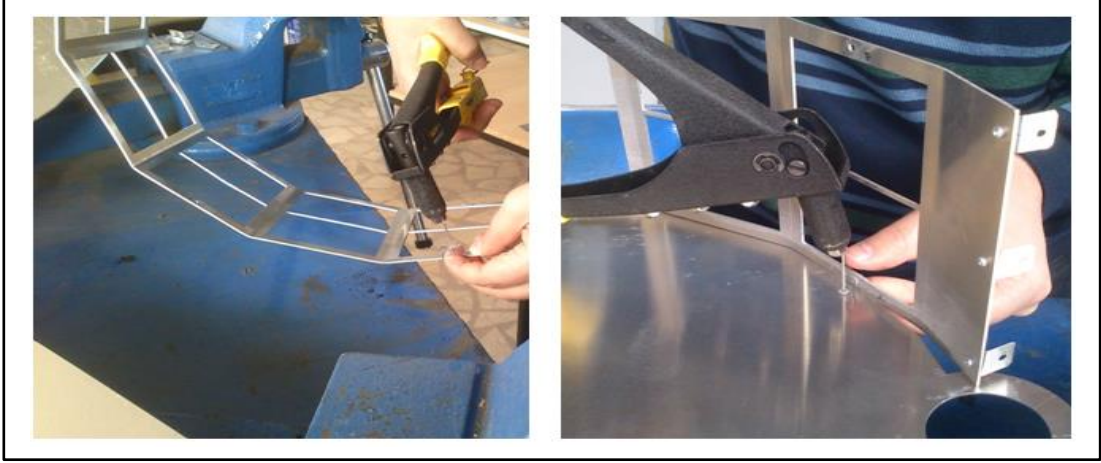
Şekil 3.9. Ara sac malzemesi.



Şekil 3.10. Bağlama parçası.



Birleştirme işlemlerinin daha sağlıklı ve sağlam olması için perçinleme işlemi uygulanmıştır. Perçinleme işlemi 3 mm kalınlığındaki perçinlerin perçin tabancası kullanılması ile gerçekleştirilmiştir. Perçinleme işlemlerine ait resimler Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Kanatçık sacı ile ara sacın birbirine bağlantısı.

Perçinleme işleminden sonra oluşan kanatçık seti Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Kanatçık setinin görünümü.

Perde seçiminde iki özellik üzerinde durulmuştur. Perde öncelikle düşük rüzgâr hızında bile rüzgâra doğru hareket ederken pencerenin açılmasına imkân tanıyacak şekilde esnek özellikte olmalı diğer yandan rüzgâr yönünde hareket ederken rüzgârın etkisi ile pencereyi tam olarak kapatmalı ve pencerenin içerisine sıkışıp kalmayacak özellikte olmalıdır. Bu çerçevede yapılan denemeler neticesinde 1 mm kalınlığında

linolyum olarak bilinen döşeme malzemesinin uygun olduğu kanaatiyle kullanılmaya karar verilmiştir.

Linolyum' un kanatçık sacına bağlantısı için, -20°C ile +40°C sıcaklık aralığında dayanıklı, çift taraflı yapışma özellikli bant kullanılmıştır. Perde malzemesinin kalıcı bir şekilde monte edilmemesinin nedeni deneyler esnasında perdelerin sökülüp takılması ihtiyacından dolayıdır.

Kanatçıkların üzerinde konumlandırılarak dönme işlemi için dayanak teşkil edecek olan merkez mili için 50.mm çapında 1,5.mm kalınlığında 0,90.m uzunluğunda alüminyum boru kullanılmıştır.

Merkez milinin üst kısmı ile alt rulman yatağının alt kısmına düz makaralı rulmanlarla ve milin alt kısmı ile alt rulman yatağı üst kısmına ise konik makaralı rulman, kare profillerden yapılmış kafes üzerine yataklanarak monte edilmiştir. Milin boru olmasından dolayı rulmanlara takılabilmesi için özel yataklar üretilmiştir.

Kanatçık setinin pencerelere perde takılmış ve mile monte edilmiş halinin fotoğrafı Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



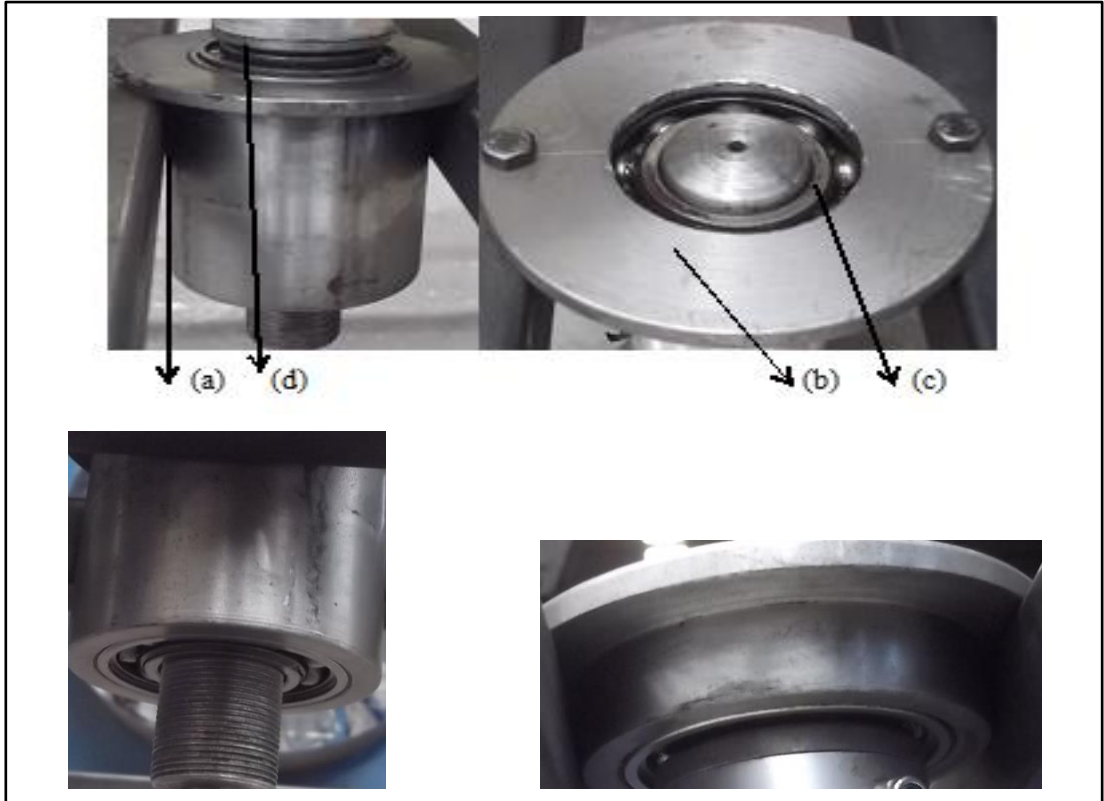
Şekil 3.13. Kanatçık setinin mile montajı.

Sanayide pencereli-kademeli helezonik türbin için, 40'lık kare profilden 120 cm x 120 cm x 150 cm ebatlarında türbin kasası imal edilmiştir. 120 mm çapındaki milden

alt rulman yatağı, alt burç, st rulman yatağı ve st burç (Şekil 3.15.) torna tezgâhında imal edilmiştir. Rulman yataklarının kasaya takılması Şekil 3.14'te gösterilmiştir.

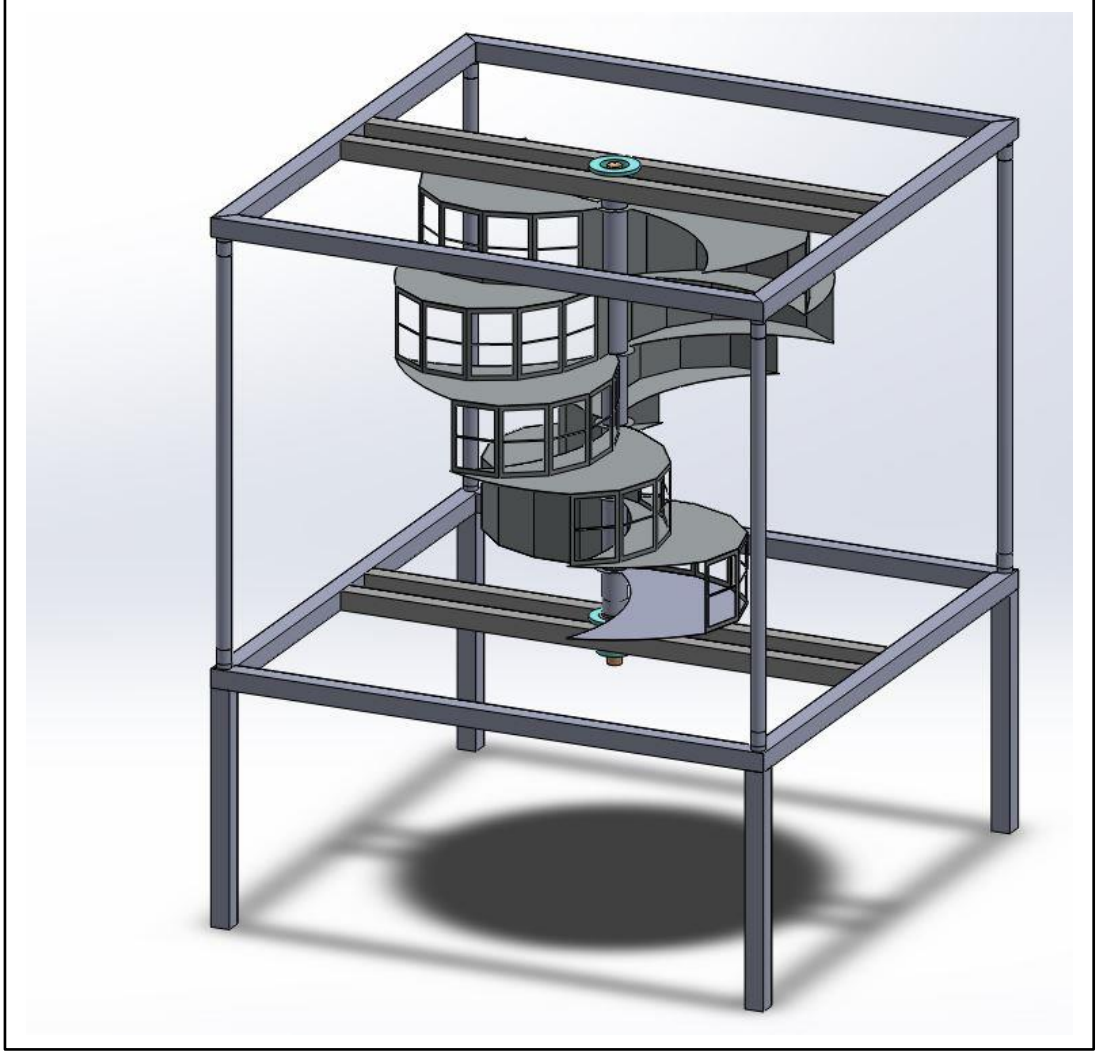


Şekil 3.14. Rulman yatağının türbin kasasına montajı.



Şekil 3.15. Türbin elemanları a) Alt rulman yatağı, b) st rulman yatağı, c) st burç, d) Alt burç.

Şekil 3.16’da Solidworks’te tasarlanmış olan pencereleli-kademeli helezonik savonius rüzgâr türbininin kasa üzerine monte edilmiş halinin 3 boyutlu katı modeli gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Pencereleli helezonik tasarımın katı model görüntüsü.

Rüzgâr hızını ölçmede 0,01 – 30 m/sn ölçüm aralığında ölçüm yapabilen ve 0.01 m/s ölçüm çözünürlüğüne sahip sıcak tel anemometresi kullanılmıştır. Şekil 3.17’de Delta Ohm 2303.0 anemometresi gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Delta anemometre.

Deneyleerde hava akımı elde edebilmek için 2,2 kW'lık 72cm çapında sanayi tipi fan (Şekil 3.19.) kullanılmıştır. Farklı hızlarda hava akımı elde edebilmek için fan motoru inventör ile kumanda edilmiştir. 5,5 kW 50 Hz'lik inventör Şekil 3.18'de gösterilmiştir.



Şekil 3.18. İnentör.

Deney düzeneğine ait bir fotoğraf Şekil 3.19'da gösterilmiştir. Fan türbinin dönme eksenine 130 cm uzakta konumlandırılmış, deney esnasında sürekli ölçüm yapan anemometre probu ise tam ortada olacak şekilde 65 cm uzakta (türbin kasası üzerinde) konumlandırılmıştır.



Şekil 3.19. Deney düzeneğine ait bir fotoğraf.

### 3.3. DENEY VE ÖLÇÜM PARAMETRELERİ

Deney düzeneği ile pencerelerin durumuna göre farklı özelliklerde deney yapılabilme kabiliyetine sahiptir. Bütün pencereler birbirlerinden bağımsız bir şekilde esnek bir malzeme ile açılıp kapanabilme kabiliyetine sahip olmakla birlikte tamamen açık veya kapalı konumda olma kabiliyetlerine de sahiptir. Pencerelerin açılıp kapanabilme özelliği pencereleri kapatma işlevini yapan elastik malzemenin rüzgârla aynı yönde ilerleme pozisyonunda rüzgâr etkisi ile pencere açıklığını kapatması, geri dönüş yönünde (rüzgâra ters yönde) ise rüzgâr etkisi ile açılma kabiliyeti göstermesidir. Pencerelerin tamamen açık olması durumu elastik malzemenin pencereden çıkarılmasıyla, tamamen kapalı olması durumu ise elastik malzemenin hava geçişini hiçbir pozisyonda geçirmeyecek şekilde tamamen pencereyi kapatması ile gerçekleştirilmiştir.

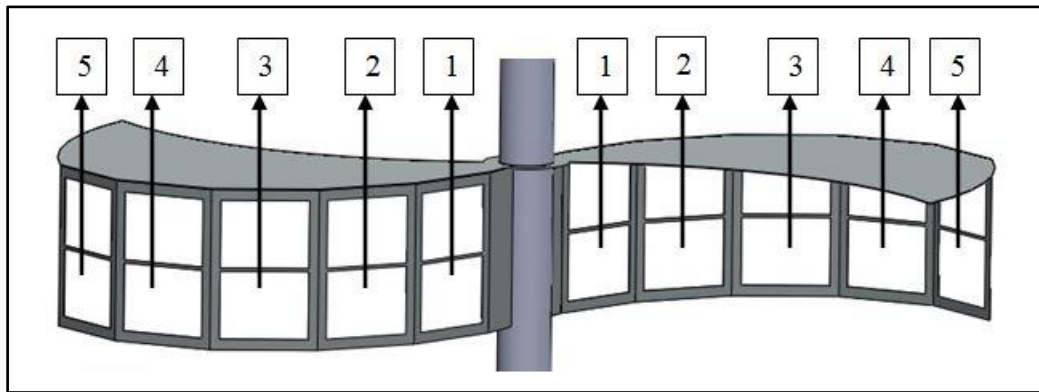
Kanatçıkların silindirik olmayan çanak yapısı ve türbinin helezonik tasarımı sabit bir tasarımdır, dolayısıyla sadece pencerelerin durumlarında (açık, kapalı, açılır-kapanır) değişiklik yaparak farklı kombinasyonlar denenebilmektedir.

Bu kabiliyetler çerçevesinde bazı gözlem hedefleri belirlenerek 6 adet deney kombinasyonu oluşturulmuştur. Bu kombinasyonlar hedefleri ile birlikte şu şekildedir;

Çizelge 3.1. Deney kombinasyonları.

Deney Kombi-nasyon No	Deneyin Açıklaması	Deneyde Hedeflenen
1	Bütün pencereler kapalı	Standart helezonik savonius türbinine benzer bir tasarım (silindirik olmayan kademeli Helezonik özelliği korunacak)
2	1. pencere açık, diğer pencereler kapalı	Dış kısımdaki pencerelerin kapalı olmasının yanı sıra dönme eksenini yanındaki pencerelerin açık tutularak moment etkisinin değişimini gözlemlemek
3	1 ve 2. pencereler açık, diğer pencereler kapalı	
4	1 ve 2. pencereler açık, diğer pencereler açılıp-kapanabilir	Dış kısımdaki pencerelerin açılır-kapanır olmasının yanı sıra dönme eksenini yanındaki pencerelerin açık tutularak moment etkisinin değişimini gözlemlemek
5	1. pencere açık, diğer pencereler açılıp-kapanabilir	
6	Bütün pencereler açılıp kapanabilir	Bütün pencereler açılıp kapanabilir tutularak negatif momenti azaltarak dönme hızını artırmak. Çalışmada hedeflenen nihai tasarım

Belirlenen bu deney kombinasyonları kullanılarak 1 m/sn ile 7 m/sn arasındaki rüzgâr hızlarında deneyler yapılmıştır. Pencere kodları Şekil 3.20’de gösterilmiştir.



Şekil 3.20. Türbin pencere sistemi.

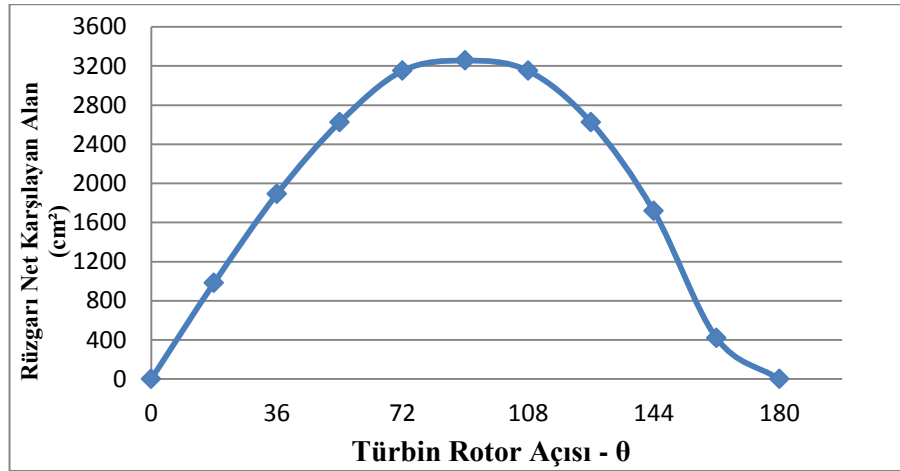
## BÖLÜM 4

### BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 4.1. TEORİK ANALİZ

##### 4.1.1. Çok Kademeli Helezonik Tasarım

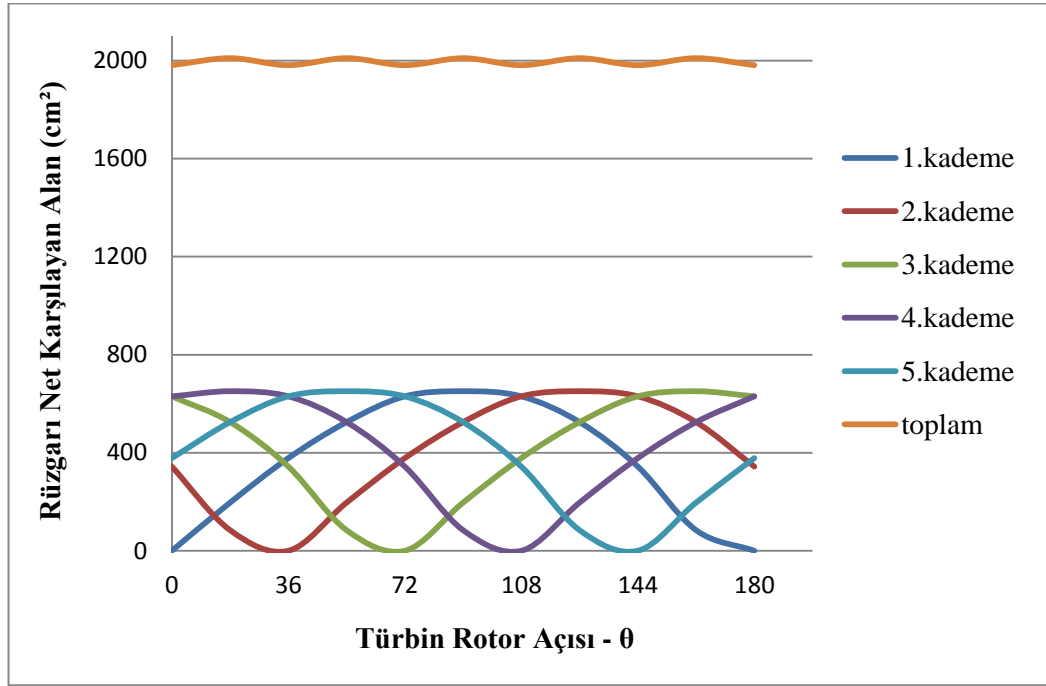
Türbinin çok kademeli kanatçıklarda oluşması ve bu kanatçıkların yükseklikleri oldukça düşük (çanak yüksekliği 15 cm) tutularak belli bir açı ile birbirlerine açılı olarak konumlandırılması neticesinde helezonik bir yapıyı andıran bir tasarıma sahip olması ve her bir kademelerin aynı rüzgâr yönüne göre farklı miktarda rüzgâr tutma kabiliyetini ortaya çıkarmıştır. Türbin tasarımının genel boyutları değişmemek kaydı ile, tek katlı (standart savonius tasarımı gibi) olduğu düşünüldüğünde (çanak yüksekliği 75 cm) rüzgâr tutma kapasitesi teorik olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.1. Tek katlı bir tasarıma sahip olduğunda çanağın türbinin rüzgârı net karşılayan alanı farklı açılarda ( $\theta$ ,  $0^\circ$  ile  $180^\circ$  arasında) çok farklı değerler almakta dolayısıyla türbinin rüzgâr tutma kapasitesi açılara göre değişkenlik göstermektedir.



Şekil 4.1. Rotor açısına göre rüzgârın tesir ettiği alan (tek katlı türbin).



Türbine etki eden rüzgarın tek yönden doğrusal bir şekilde geldiği düşünülüğünde kademeli tasarımla Şekil 4.2’de gösterildiği gibi her açısız konumda rüzgar tutma kapasitesi nerdeyse sabit olmaktadır. Bu da türbin rotorunun her açısız konumunda aynı miktarda rüzgâra maruz kalacağı ve buna bağılı olarak da türbinin oluşturacağı dinamik tork değerlerinin de rotorun bütün açısız konumlarında aynı miktarda olacağı anlamına gelmektedir.



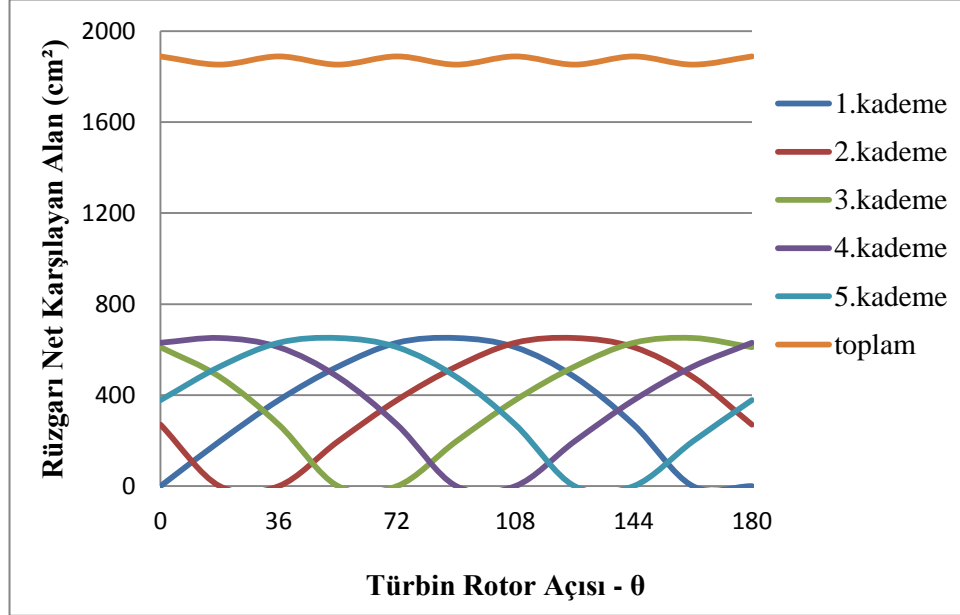
Şekil 4.2. Rotor açısına göre Rüzgarın tesir ettiği alan (çok kademeli ve silindirik olmayan helezonik türbin).

#### 4.1.2. Silindirik Olmayan Yapıya Sahip Kanatçık

Şekil 4.2’de gösterilen rüzgar tutma kapasitesi aynı zamanda silindirik olmayan yapıya sahip olan türbine aittir. Türbin genel boyutları aynı olmak kaydıyla, silindirik yapıda kanatçık formuna sahip bir türbinin rüzgar tutma kapasitesi teorik olarak hesaplanmış ve grafiğe aktarılmıştır (Şekil 4.3.).

Her iki grafik (Şekil 4.2. ve Şekil 4.3.) karşılaştırıldığında silindirik olmayan yapıya sahip tasarıma ait olan türbinin rüzgâr tutma kapasitesi yaklaşık % 8 oranında daha fazla olmaktadır. Bunun nedeni ise birbirine 180° açı ile konumlandırılmış

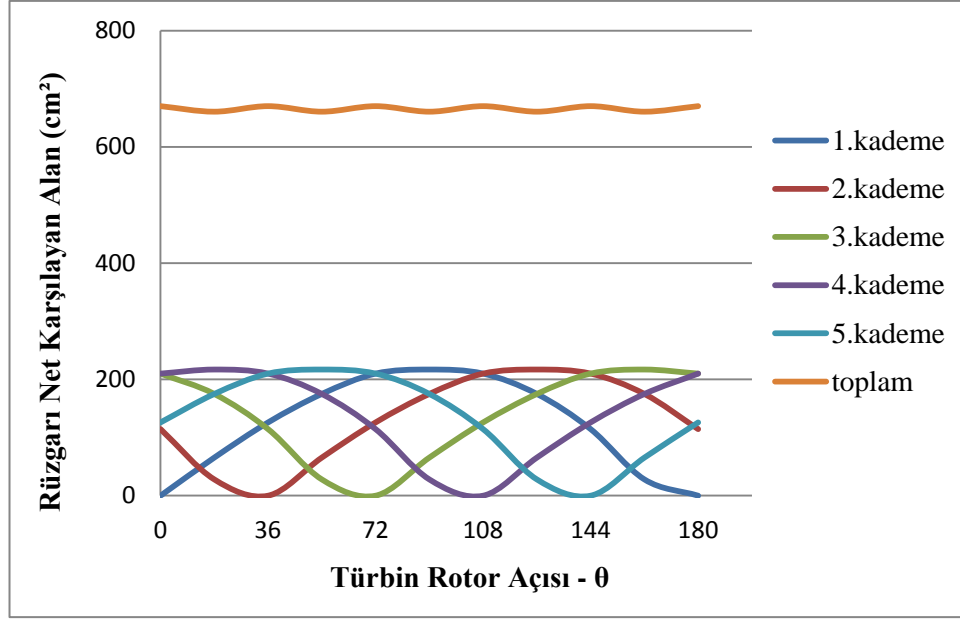
kanatçıkların birbirlerini gölgelemesi etkisinin silindirik olmayan çanak formunda daha az olmasındandır (Bkz. Şekil 3.4. ve Şekil 3.5.).



Şekil 4.3. Rotor açısına göre Rüzgarın tesir ettiği alan (çok kademeli ve silindirik yapılı helikonik türbin).

#### 4.1.3. Pencereleli Tasarım

Kanatçıkların pencereleli olarak yapılması neticesinde rüzgâr yönünde hareket eden çanak elastik perdeleme sistemi ile otomatik olarak kapatılıp, rüzgâra karşı hareket ederken otomatik olarak açıldığı için türbinin rüzgâr karşılama kapasitesi standart savonius türbinlerine nazaran daha yüksek çıkmaktadır. Şekil 4.4'te rüzgara karşı hareket eden kanatçıkların (pencereler rüzgar etkisi ile kolayca açıldığı varsayımıyla) rüzgar tutma kapasitesi gösterilmiştir. Pozitif moment oluşturan taraftaki kanatçıkların rüzgâr tutma kapasitesinin yaklaşık olarak % 30'u oranındadır. Bu oran standart savonius türbinlerinin ana özelliği olan içbükey-dışbükey yüzeylerinin rüzgâr tutma kapasitesi farkından dolayı oluşan pozitif moment etkisinin yanı sıra türbin verimini olumlu yönde etkileyen bir sonuç çıkarmaktadır.



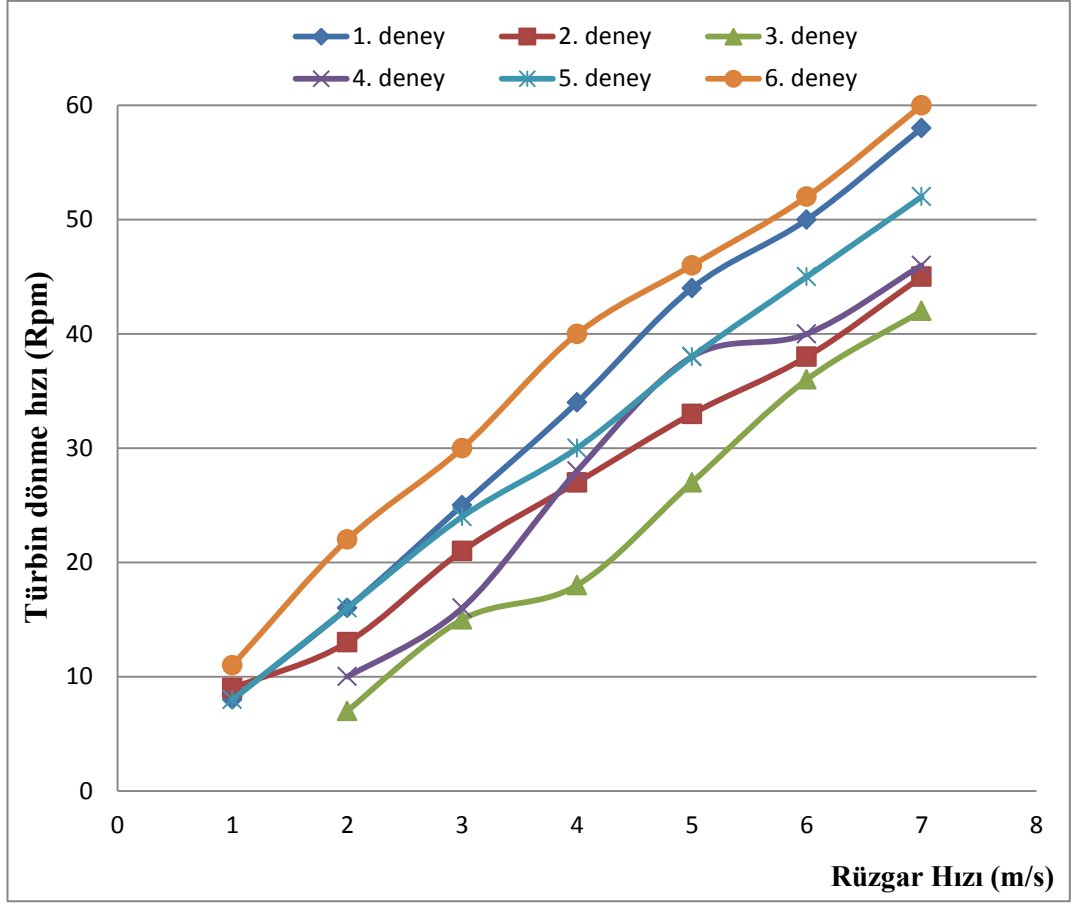
Şekil 4.4. Rotor açısına göre türbinin negatif yönüne rüzgârın tesir ettiği alan (pencereli, çok kademeli ve silindirik olmayan helezonik türbin).

## 4.2. DENEYSEL SONUÇLAR

1 m/sn ile 7 m/sn arasındaki farklı rüzgâr hızlarında yapılan deneylerde elde edilen dönme hızı değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Bu sonuçlar grafik olarak da Şekil 4.5’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Deneylerin sonuçları.

Deney Komb.No	Türbin Dönme Hızı (Rpm)						
	1 m/sn	2 m/sn	3 m/sn	4 m/sn	5 m/sn	6 m/sn	7 m/sn
1.Deney	8	16	25	34	44	50	58
2.Deney	9	13	21	27	33	38	45
3.Deney	-	7	15	18	27	36	42
4.deney	-	10	16	28	38	40	46
5.deney	8	16	24	30	38	45	52
6.deney	11	22	30	40	46	52	60



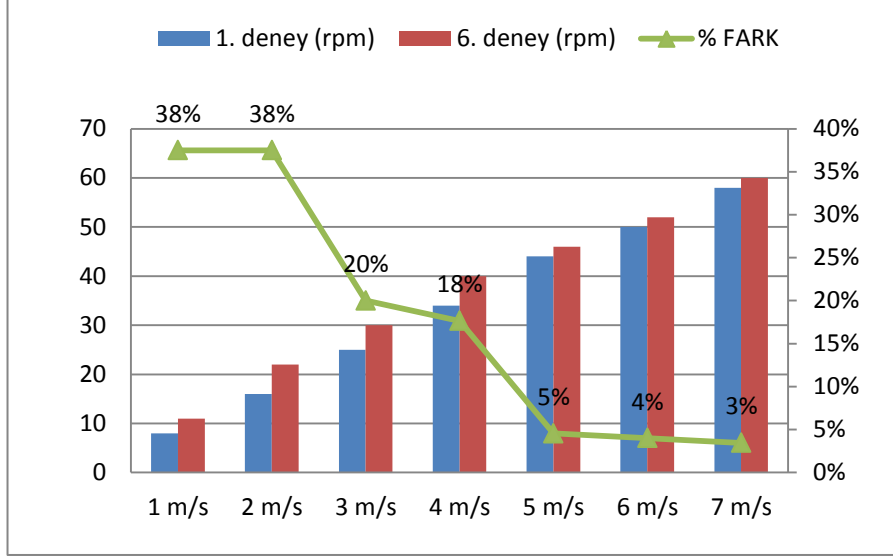
Şekil 4.5. Deney sonuçlarının grafik olarak gösterimi.

1.deneyde pencereler tamamen kapalı, 2.deneyde 1.pencere tamamen açık diğer pencereler tamamen kapalı ve 3.deneyde 1. ve 2. pencere tamamen açık diğer pencereler tamamen kapalıdır. 4.deneyde 1. ve 2.pencere tamamen açık diğer pencereler açılıp kapanabilir, 5.deneyde 1.pencere tamamen açık diğer pencereler açılıp kapanabilir ve 6.deneyde bütün pencereler tamamen açılıp kapanabilir.

Verilmiş olan bu sonuçlar bazı deneylerin birbirleri ile karşılaştırılması ile değerlendirilecektir.

#### 4.2.1. Değerlendirme-1

1. ve 6.deneyin karşılaştırılmasında açılıp kapanabilir pencere sisteminin tamamen kapalı haliyle açılıp kapanabilme kabiliyetinin sonuca etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir (Şekil 4.6.).

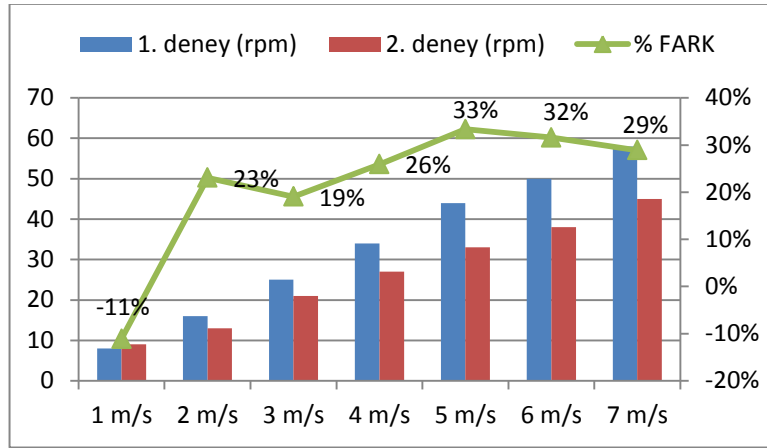


Şekil 4.6. 1. ve 6. deneye ait değerlerin karşılaştırmalı olarak grafiksel gösterimi.

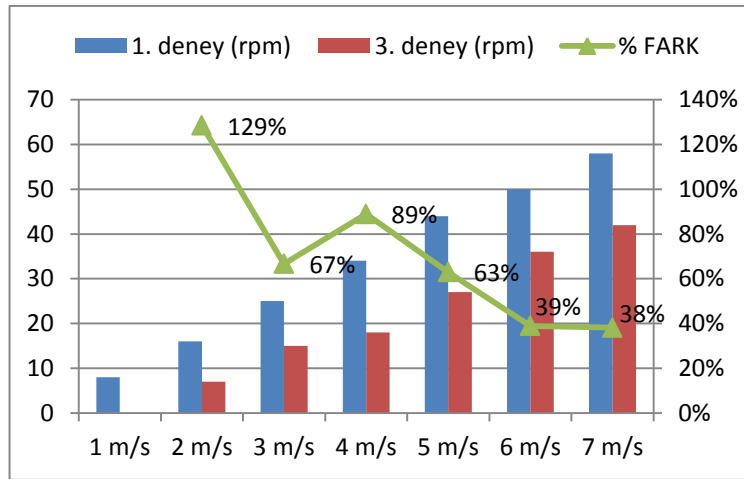
Ters moment etkisini azaltmak ve rüzgardan optimum bir şekilde faydalanmak için uygulanan açılıp kapanabilir pencere sisteminin aktif olduğu 6. deneyde özellikle düşük rüzgâr hızlarında (1-4 m/sn) bütün pencerelerin kapalı olduğu 1.deneye nazaran daha yüksek devirler elde edilmiştir. 4 m/s rüzgâr hızından sonraki rüzgâr hızlarında, türbin devirleri ve % farkı birbirine yaklaşık sonuçlar vermiştir. Bunun nedeni; savonius rüzgâr türbinlerinin düşük rüzgâr hızlarında çalışması prensibinden dolayı, yüksek rüzgâr hızlarında türbin dönme hızı artmış fakat yüzde farkı düşük seviyede gerçekleşmiştir.

#### 4.2.2. Değerlendirme-2

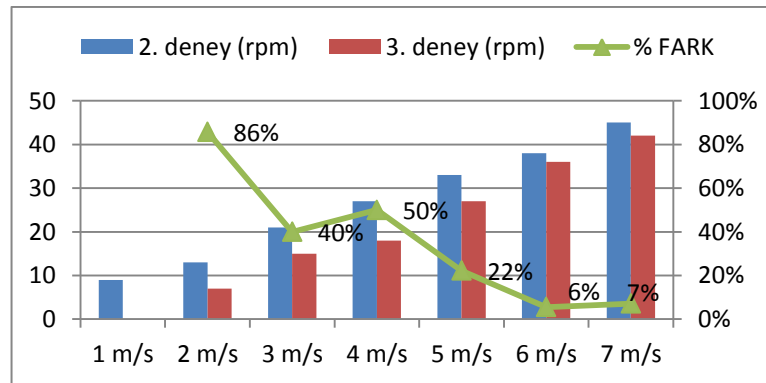
1. 2. ve 3. deneylerin karşılaştırılmasında kapalı pencere sisteminin 1.pencere ve 1. ve 2. pencerelerin birlikte tamamen açık halinin sonuca etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir (Şekil 4.7.).



a) 1. ve 2. deney



b) 1. ve 3. deney



c) 2. ve 3. deney

Şekil 4.7. 1. 2. ve 3. deneye ait değerlerin karşılaştırmalı olarak grafiksel gösterimi.

1.deney rüzgar tutma kapasitesi yüksek olduğundan yüksek verim elde edilmiştir. Sadece 2.deneyin başlangıçtaki dönme hızı yüksektir fakat 1. deney, 2. ve 3. deneye göre 2-7 m/s rüzgar hızlarında, fark yüksek çıkmıştır. 3.deneyde ise 1 m/s'de rüzgar tutma kapasitesi azaldığından türbinde dönme gerçekleşmemiştir.

2-5 m/s rüzgar hızlarında 2.deney 3.deneye göre yüksek dönme hızı gerçekleştirmiş ve fark yüksek oluşmuştur. 6-7 m/s rüzgar hızlarında türbinin dönme hızı yavaşlamış buna paralel fark azalmıştır.

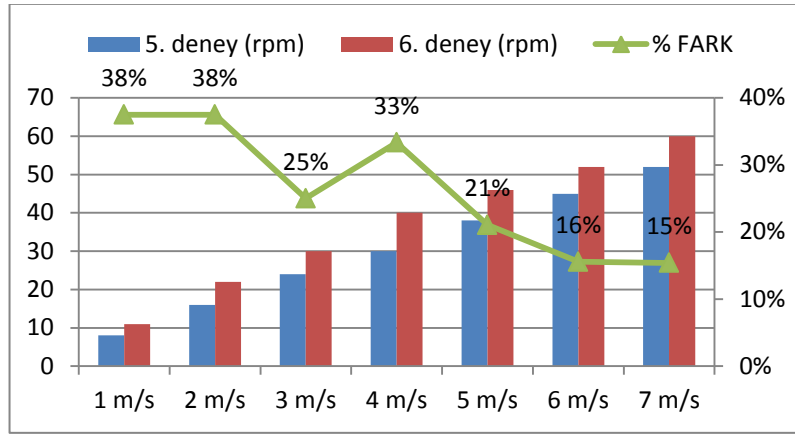
Sonuçta, açık pencere sayısı arttıkça rüzgar tutma kapasitesi düşmüş, dönme hızı buna paralel olarak azalmıştır.

#### **4.2.3. Değerlendirme-3**

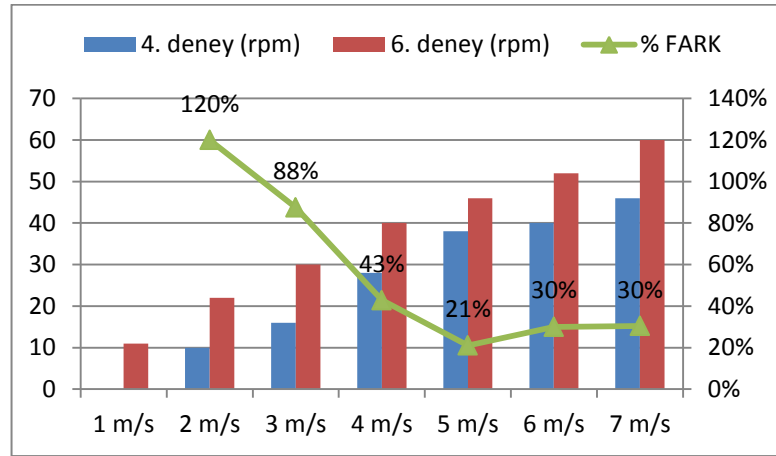
4. 5. ve 6. deneylerin karşılaştırılmasında açılıp kapanabilir pencere sisteminin 1.pencere ve 1. ve 2. pencerenin birlikte tamamen açık halinin sonuca etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir (Şekil 4.8.).

Pencerelerin açılıp kapanabilir olduğu deney tiplerinde, 6.deneyde pencerelerin tamamı açılıp kapanabilir, 5.deneyde 1.pencere tamamen açık diğer pencereler açılıp kapanabilir ve 4.deneyde 1. ve 2. pencere tamamen açık diğer pencereler açılıp kapanabilirdir.

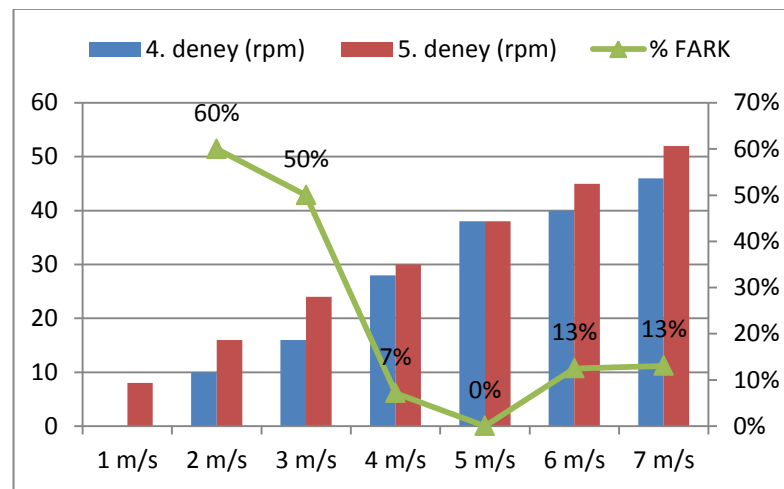
6.deneyde ters moment etkisi azaltılmış ve rüzgardan optimum bir şekilde faydalanmış olduğundan rüzgar tutma kapasitesi artmıştır. 4.deneye nazaran 5. deneyde rüzgar tutma kapasitesi fazla olduğundan dolayı türbin devri yüksek çıkmıştır. Aynı şekilde hem 4. deney hem de 5. deneye nazaran 6. deneydeki sonuçlar aynı sebeple daha yüksek çıkmıştır.



a) 5. ve 6. deney



b) 4. ve 6. deney



c) 4. ve 5. deney

Şekil 4.8. 4. 5. ve 6. deneye ait değerlerin karşılaştırmalı olarak grafiksel gösterimi.

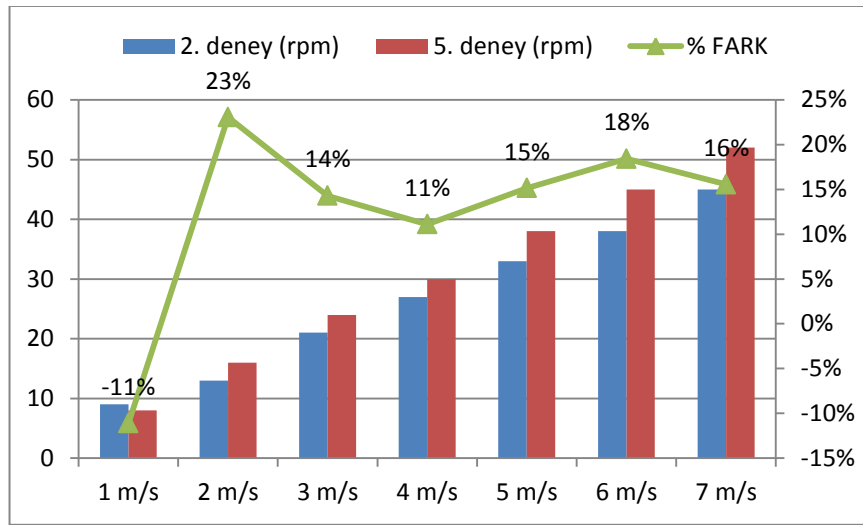


2-3 m/s rüzgar hızlarında 5.deney 4.deneye göre rüzgar tutma oranı yüksek olduğundan, yüksek dönme hızı gerçekleşmiştir. 4 m/s ve 5 m/sn rüzgar hızlarında türbin dönme hızı değerleri birbirine yakın çıkmıştır. 6-7 m/s rüzgar hızlarında türbinin dönme hızı artmıştır.

Sonuçta, açılıp kapanabilir pencere sisteminde, açık pencere sayısı arttıkça rüzgar tutma kapasitesi düşmüş, dönme hızı buna paralel olarak azalmıştır.

#### 4.2.4. Değerlendirme-4

2. ve 5.deneyin karşılaştırılmasında 1. pencereler tamamen açık olduğunda, açılıp kapanabilir pencere sisteminin tamamen kapalı haliyle, 1. pencerenin sonuca etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir (Şekil 4.9.).



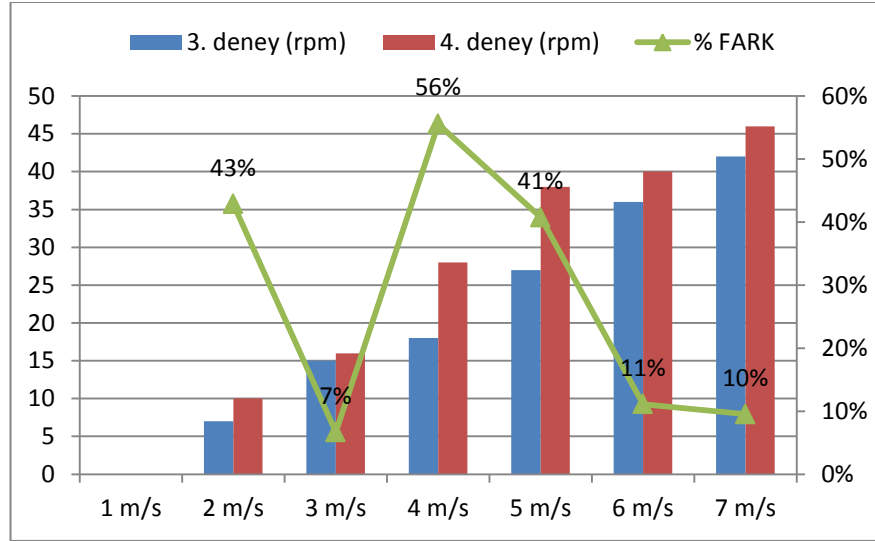
Şekil 4.9. 2. ve 5. deneye ait değerlerin karşılaştırmalı olarak grafiksel gösterimi.

Ters moment etkisini azaltmak için uygulanan açılıp kapanabilir pencere sisteminin aktif olduğu 5.deneyde, 1 m/s deki türbin dönme hızı hariç 2-7 m/s rüzgâr hızlarında 2. deneye nazaran daha yüksek devirler elde edilmiş olması açılıp kapanabilir pencere sistemi ile ters moment etkisinin azaltılmasına bağlıdır.

#### 4.2.5. Değerlendirme-5

3. ve 4. deneyin karşılaştırılmasında 1. ve 2. pencere tamamen açık olduğunda, açılıp kapanabilir pencere sisteminin tamamen kapalı haliyle karşılaştırılması hedeflenmiştir (Şekil 4.10.).

Burada da 2. ve 5. deney kombinasyonlarında olduğu gibi 1. ve 2. pencerelerin açık olması genel olarak performans düşüklüğünü gösterse de açılıp kapanabilir özelliğinin aktif olduğu 4. deneyin daha yüksek verime sahip olduğu gözlenmektedir.



Şekil 4.10. 3. ve 4. deneye ait değerlerin karşılaştırmalı olarak grafiksel gösterimi.

3. ve 4. deneyler, 1. ve 2. pencerelerin tamamen açık olduğu, rüzgâr türbininin en düşük performansları gösterdiği deneylerdir. 1 m/s rüzgâr hızında, rüzgâr tutuşu az olduğundan türbinde dönme gerçekleşmemiştir. 4. deney rüzgâr hızlarının tamamında 3. deneyden daha yüksek dönme hızı elde edilmiştir. Yüzdesele farkta 3 m/s rüzgâr hızında sonuçlar birbirine yakın değerler olduğundan zikzaklı bir hareket gözlemlenmiştir.

## BÖLÜM 5

### SONUÇLAR

Pencereli ve kademeli helezonik olarak tasarlanan model hem teorik olarak incelenmiş hem de prototip imalatı yapılarak üzerinde bazı deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışmada geliştirilen pencereli ve kademeli helezonik tasarımda bulunan unsurların benzerleri literatürde ayrı ayrı çalışmalarda gözlemlense de hepsinin bir arada olduğu bir tasarıma rastlanmamıştır. Bu bağlamda bu tasarımın farklı bir tasarım olarak literatürde yerini alacağı düşünülmektedir.

Türbinin kanatçıkları ve diğer bazı parçaların imalatı için kullanılan malzemelerin alüminyum olması ve tasarımda bulunan pencere açıklıklarının alüminyum malzemeden kesilerek çıkarılmasından dolayı sistem yaklaşık 2,5 kg daha hafif olmuştur. Türbinin toplam ağırlığı yaklaşık 10 kg civarındadır.

Aynı boyut özelliklerinde standart bir savonius türbini olmamasından dolayı karşılaştırmalı deneyler yapılamamıştır ama tasarımın vermiş olduğu serbestlik kullanılarak pencerelerin tamamen açık, tamamen kapalı veya rüzgâr yönüne göre açılıp kapanabilir halleri karşılaştırmalı olarak denenmiştir. Bu karşılaştırmalardan elde edilen sonuçlara göre (tasarım amacıyla olduğu gibi) rüzgâr yönüne göre açılıp kapanabilen özelliğinde kullanılması sonucunda türbinden daha yüksek oranlarda dönme hızları elde edilmiştir.

Savonius rüzgâr türbinlerinin en önemli özelliklerinden olan düşük rüzgâr hızlarında dahi çalışabilir olması bir hedef olarak belirlenmiş, yapılan tasarımla da özellikle düşük rüzgâr hızlarında (1-4 m/sn) daha iyi sonuçlar alındığı gözlemlenmiştir.

## **BÖLÜM 6**

### **ÖNERİLER**

Kanatçık setlerini sınırlayan ara sacların biraz daha çukurluğu sağlayacak şekilde büyük olması rüzgâr tutma kapasitesini artırabilir. Diğer yandan silindirik yapıda olmayan kanatçık tasarımında da bu parametreyi artıracak şekilde köşe açıları artırılabilir.

Helezonik tasarımın sağlayacağı öngörülen homojen dinamik tork dağılımı düzenli bir elektrik üretimi için kayda değer bir tasarım olmasının yanı sıra kanatçık yükseklikleri artırılarak rüzgâr tutma kapasitesi artırılabilir. Bu aynı büyüklükte bir rüzgâr türbini için daha az sayıda kanatçık seti olması anlamına da gelmektedir.

Kurulmuş olan deney düzeneği ile tork ölçümü veya elektrik üretimi gerçekleştirilerek güç katsayısı değerleri elde edilmesi için çalışmalar devam edecektir.

## KAYNAKLAR

1. İnternet: Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, "Enerji Raporu 2012", <http://www.dektmk.org.tr/incele.php?id=Mjg4> (2013).
2. İnternet: Lİ-DER (Lisanssız Elektrik Üretimi Derneği), "Lisanssız Elektrik Üretimi Başvuruları", <http://www.lisanssizelektrik.org/lisanssiz-elektrik-uretimi-basvurulari> (20 Mayıs 2013).
3. İnternet: EPDK (Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu), "Elektrik Piyasası Lisanssız Üretim", <http://www.epdk.gov.tr/index.php/epdk-sss?id=816#1-kimler-lisanssiz-elektrik-uretim-tesisi-kurabilir> (2013).
4. İnternet: TC Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, "2013 Yılı Bütçe Sunumu" [http://www.enerji.gov.tr/yayinlar\\_raporlar/2013\\_Plan\\_ve\\_Butce\\_Komisyonu\\_Konusmasi.pdf](http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/2013_Plan_ve_Butce_Komisyonu_Konusmasi.pdf) (2013).
5. İnternet: TÜREB (Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği), "Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu Ocak 2013", [http://www.tureb.com.tr/attachments/article/206/Istatistik%20Raporu%202013\\_Statistics%20Report%202013.pdf](http://www.tureb.com.tr/attachments/article/206/Istatistik%20Raporu%202013_Statistics%20Report%202013.pdf) (2013).
6. İnternet: YEGM (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü), "Rüzgar Enerjisi", [http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar-ruzgar\\_enerjisi.aspx](http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar-ruzgar_enerjisi.aspx) (2013).
7. İnternet: Boston University, "Wind Turbines", <http://people.bu.edu/dew11/liftanddrag.html> (01.06.2013).
8. Paraschivoiu, I., "Wind Turbine Design: With Emphasis On Darrieus Concept", *Polytechnic International Press*, Montreal, 15-28 (2002).
9. İnternet: YEGM (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü), "Rüzgar Türbini", [http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/ruzgar/ruzgar\\_turbin.html](http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/ruzgar/ruzgar_turbin.html) (01.06.2013).
10. Mevlana Kalkınma Ajansı, "Konya'da yenilenebilir enerji kaynakları malzeme üretilebilirlik araştırması", *1.Rüzgâr Enerjisi*, Konya, 38-40 (2012).
11. Nurbay, N. ve Çınar, A., "Rüzgâr türbinlerinin çeşitleri ve türbinlerin birbirleriyle karşılaştırılması", *3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve sergisi Bildiriler Kitabı*, Mersin, 164-168 (2005).
12. Ushiyama, I. and Nagai, H., "Optimum design configurations and performance of savonius rotors", *Wind Engineering*, 12 (1): 59-75 (1988).

13. Şen, C., “Gökçeada’nın elektrik enerjisi ihtiyacının rüzgâr enerjisi ile karşılanması”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 57-71 (2003).
14. Ragheb, M. and Ragheb, A. M., “Wind turbines theory - the betz equation and optimal rotor tip speed ratio”, *Fundamental and Advanced Topics in Wind Power*, 2: 19-38 (2011).
15. Simonds, M. H. and Bodek, A., “Performance test of a savonius rotor”, *Microfiche Reference Library, Technical Report T10, McGill University*, Canada, 12-13 (1964).
16. Kısar, A. O., “Rüzgârdan enerji üretimi ve rüzgâr türbinlerinin evrimi”, *TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Bülteni*, İstanbul, 45, 17-19 (Mayıs 2009).
17. Manwell, J. F., McGowan, J. G. and Rogers, A. L., “Wind Energy Explained Theory, Design and Application”, *John Wiley & Sons Ltd*, England, 83-88 (2002).
18. Murai, Y. and Nakada, T., “Particle tracking velocimetry applied to estimate the pressure field around a savonius turbine”, *Meas. Sci. Technol.*, 18 (8): 2491–2503 (2007).
19. Atik, K., Aybek, A., Arslan, S. ve Yıldız, E., “Kahramanmaraş’ta rüzgâr enerjisi potansiyeli ve yörede kurulan bir rüzgâr türbininden elde edilen mekanik enerji ve ısı enerjisinin karşılaştırılması”, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 1 (2): 95-107 (2000).
20. Rukhande, S. W., Pathan, S., Kamble, A., Kale, P., Daga, P. and Pandita, S., “Design and development of micro savonius type wavy”, *Proceedings of the NCNTE-2012, Third Biennial National Conference on Nascent Technologies*, Mumbai, 81-84 (2012).
21. Saha, U. K., Mahanta, P., Grinspan, A. S., Suresh Kumar, P. and Goswami, P., “Twisted bamboo bladed rotor for savonius wind turbines”, *Journal of the Solar Energy Society of India (SESI)*, 4: 1-10 (2005).
22. Kamoji, M. A., Kedare, S. B. and Prabhu, S. V., “Experimental investigations on single stage modified Savonius rotor”, *Applied Energy*, 86 (7-8): 1064-1073 (2009).
23. Modi, V. J., Roth, N. J., and Fernando M. S. U. K., “Optimum-configuration studies and prototype design of a wind-energy”, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 16 (1): 85-96 (1984).
24. Modi, V. J., Fernando, M. S. U. K. and Roth N. J., “Aerodynamics of the savonius rotor: experiments and analysis”, *Proceedings of the 25th Intersociety*

- Energy Conversion Engineering Conference (IECEC-90)*, Canada, 5: 213-218 (1990).
25. Zingman, A. O., "Optimization of a Savonius rotor vertical-axis wind turbine for use in water pumping systems in rural Honduras", *Massachusetts Institute of Technology*, Cambridge, 1-15 (2007).
  26. Menet, J. L., "A double-step Savonius rotor for local production of electricity: a design study", *Renewable Energy*, 29 (11): 1843-1862 (2004).
  27. Hayashit, T., Hara, Y. and Li, Y., "Wind tunnel tests on a different phase three-stage savonius rotor", *International Journal*, 48 (1): 9-16 (2005).
  28. Atılğan, M. ve Altan, B. D., "Savonius rüzgâr çarklarının performansının geliştirilmesi ve karşılaştırılması", *Mühendis ve Makine*, 45 (533): 30-34 (2004).
  29. Golecha, K., Eldho, T.I. and Prabhu, S. V., "Performance study of modified savonius water turbine with two deflector plates", *International Journal of Rotating Machinery*, Volume 2012, Artical ID 679247, 12 pages doi:10.1155/2012/679247 (2012).
  30. Yıldırım, U., "Yatay eksenli helezonik rüzgâr türbini tasarımı ve prototip imalatı", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 54-56 (2011).
  31. Saha, U.K., and Rajkumar M.J., "On the performance analysis of savonius rotor with twisted blades", *Renewable Energy*, 31 (11): 1776-1788 (2005).
  32. Kamoji, M.A., Kedare, S.B. and Prabhu. S.V., "Performance tests on helical Savonius rotors", *Renewable Energy*, 34 (3): 521-529 (2009).
  33. Damak, A., Driss, Z. and Abid, M.S., "Experimental investigation of helical Savonius rotor with a twist of 180°", *Renewable Energy*, 52: 136-142 (2013).
  34. Tapas B. and Rajat G., "Performance measurement of a two bladed helical savonius rotor", *Proceedings of the 37th National & 4th International Conference on Fluid Mechanics and Fluid Power*, India, 16-18 (2010).
  35. Saha, U. K., Thotla, S. and Maity, D., "Optimum design configuration of savonius rotor through wind tunnel experiments", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96 (8-9): 1359-1375 (2008).
  36. Aldoss, T. K., "Savonius rotor using swinging blades as an augmentation system", *Wind Engineering*, 8 (4): 214-220 (1984).
  37. ElBeheiry, E. S. and Askary, W., "Performance assessment of a multi-step oscillating-blade vertical wind turbine", *International Journal of Energy and Power*, 1 (1): 18-25 (2012).

38. Dursun, B., Gökçöl, B. ve Ertürk, E., “Gyte üç katlı savonius rüzgâr türbini mekanik tasarımı”, *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Mersin, 1-6 (2005).
39. Kılıç, F., “Helezonik savonius türbini imalatı ve denemesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 5-20 (2009).
40. Altan, B. D., “ Perdeleme yöntemi ile savonius rüzgar çarkının performansının incelenmesi”, Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 30-43 (2006).
41. Altan, B. D. ve Atılgan, M., “Rüzgâr türbini uygulamaları”, *Energy Conversion and Management*, Denizli, 49 (12): 3425-3432 (2008).
42. Reupke, P. and Probert, S. D., “Slatted-blade savonius wind-rotors”, *Applied Energy*, 40 (1): 65-75 (1991).
43. Aldoss, T. K. and Najjar, Y. S. H., “Further development of the swinging - blade savonius rotor”, *Wind Engineering*, 9 (3): 165-170 (1985).
44. Tabassum, S. A. and Probert, S. D., “Vertical-axis wind turbine: a modified design”, *Applied Energy*, 28 (1): 59-67 (1987).



## **ÖZGEÇMİŞ**

Mehmet ACAR 1985 yılında Zonguldak / Devrek'te doğdu; ilköğretimini aynı şehirde tamamladı. Karabük Anadolu Meslek Lisesi Bilgisayar Bölümü(Bilgisayar-Yazılım)'nden 2005 yılında mezun oldu. 2006 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü'nde öğrenime başladı. 2011 yılı Haziran ayında Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Tasarım ve Konstrüksiyon Öğretmenliği Anabilim Dalı'nda lisans programını tamamladı. 2011 yılında KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programını 2013 yılında tamamladı. 2008 yılında Diyanet İşleri Başkanlığı'nda Müezzin-Kayyım olarak göreve başladı ve halen aynı kurumda çalışmaya devam etmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : 100.Yıl Mahallesi Aygün Sitesi B Blok D:13 Merkez / KARABÜK

Tel : (544) 415 7417

E-posta : met.acar@hotmail.com.tr