



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



EV UYGULAMALARI İÇİN DÜŞEY EKSENLİ
RÜZGAR TÜRBİNİ PERFORMANSININ
DENEYSEL İNCELENMESİ
İsmail ARDIÇ

YÜKSEK LİSANS

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

İsmail ARDIÇ tarafından hazırlanan “Ev Uygulamaları İçin Düşey Eksenli Rüzgar Türbini Performansının Deneysel İncelenmesi” adlı tez çalışması 23/12/19 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Saim KOÇAK

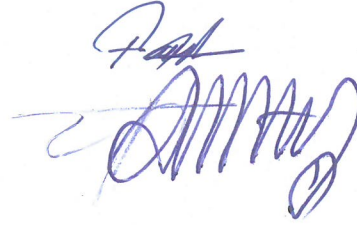
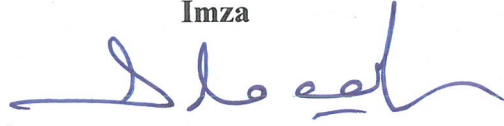
Danışman

Doç. Dr. Faruk KÖSE

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Ali SERTKAYA

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

İsmail ARDIÇ

Tarih:

23.12.2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

EV UYGULAMALARI İÇİN DÜŞEY EKSENLİ RÜZGÂR TÜRBİNİ PERFORMANSININ DENEYSEL İNCELENMESİ

İsmail ARDIÇ

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Üyesi Faruk KÖSE

2019, 47 Sayfa

Jüri
Doç. Dr. Faruk KÖSE
Prof. Dr. Saim KOÇAK
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Ali SERTKAYA

Bu tez çalışmasında daha çok yerleşim yerlerinde kullanıma uygun ağaç tipi şasi gövdelere çok sayıda yerleştirilebilen Savanius tipi rüzgar türbinine Darrieus tipi rüzgar türbini eklenmesi ile elde edilen birleşik türbinin gücü artırıp arttırmayacağı ve bu değerleri arttırmaya yönelik tasarım şekillerinin araştırılması yapılmıştır. Bu amaçla ağaç tipi gövdeye yerleştirmeye uygun 50-100 W güç aralıklarında Savanius türbininin dış kısmına yerleştirilebilecek Darrieus tipi rüzgar türbini birleşim şekilleri tasarlanarak bu tasarımlardan 50 W Savanius-Darrieus birleşik türbininin imalatı ve deneyleri yapılmıştır. Deneyler 5 ve 10 m/s akış hızları veren rüzgar tüneline yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar başlangıçta hedeflenen güç ve verim değerlerine ulaşıldığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Darrieus, hibrit , rüzgar türbini, Savonius.

ABSTRACT

MS THESIS

**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF VERTICAL AXIS WIND TURBINE
PERFORMANCE FOR HOUSEHOLD APPLICATIONS**

İsmail ARDIÇ

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Machine Engineering**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Faruk KÖSE

2019, 47 Pages

**Jury
Assoc.Prof. Dr. Faruk KÖSE
Prof. Dr. Saim KOÇAK
Asst.Prof.Dr. Ahmet Ali SERTKAYA**

In this thesis study, the combined turbine obtained by adding a Darrieus type wind turbine to the Savanius type wind turbine, which can be placed in large numbers on tree type chassis bodies suitable for use in residential areas, will increase the power and the design patterns aimed at increasing these values were investigated. For this purpose, the Darrieus type wind turbine joining shapes that can be placed on the exterior of the savanius turbine at 50-100 W Power Ranges suitable for placing in the tree type body were designed and the 50 W savanius-Darrieus combined turbine was manufactured and experimented with these designs. Experiments were conducted in the wind tunnel giving flow rates of 5 and 10 m/S and the results were evaluated. The results show that the initially targeted power and efficiency values have been achieved.

Keywords: Darrieus, hybrid, wind turbine, Savonius

ÖNSÖZ

Bu çalışmada temel amaç; rüzgar türbinlerini insanların yaşama alanlarına entegre ederek, ağaç tipi Savanius türbine Darrieus türbin ilave edilerek hibrit bir sistem oluşturmaktır. Bu hibrit sistemde ilk hareketi Savanius türbin verirken tasarlanan Darrieus türbininde hibrit sisteme katkıları tespit edilip tartışılacaktır. Böylece bu türbinlerin evsel ve küçük güç kullanım alanlarında yaygınlaştırılmasına katkı sağlanacaktır.

Çalışma konusunun belirlenmesinde ve çalışmanın hazırlanma sürecinin her aşamasında bilgilerini, tecrübelerini ve değerli zamanlarını esirgemeyerek bana her fırsatta yardımcı olan değerli hocam Sayın Doç.Dr. Faruk KÖSE'ye, tüm eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen her zaman yanımda olan sevgili aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İsmail ARDIÇ
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Dünya ve Türkiye’de Rüzgar Enerjisinin Durumu	1
1.1.1. Dünyada rüzgar enerjisinin durumu	1
1.1.2. Türkiye’de rüzgar enerjisinin durumu	3
1.2.Rüzgar Türbini Çalışma Prensibi.....	7
1.2.1. Yatay eksenli rüzgar türbinleri	7
1.2.2. Dikey eksenli rüzgar türbinleri	10
1.3.Evsel Kullanım İçin Rüzgar Türbinleri	10
1.3.1. Darrieus rüzgar türbinleri.....	11
1.3.2.Savanius rüzgar türbinleri.....	12
1.3.3. Darrieus-Savanius birleşik rüzgar türbinleri.....	13
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	19
3.1. Savonius Rüzgar Türbininin İmalatı.....	21
3.2. Darrieus Rüzgar Türbinin İmalatı.....	24
3.3. Darrieus-Savonius Hibrit Rüzgar Türbinin Montajı.....	28
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	30
4.1. Ölçüm Sonuçları	30
4.3 Belirsizlik Analizi	33
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	35
5.1 Sonuçlar	35
5.2 Öneriler	35
KAYNAKLAR	37
ÖZGEÇMİŞ	39

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

S	: Rüzgârı karşılayan alan (m ²)
C _p	:Güç katsayısı
D	: Çark Çapı (m)
g	: Yer çekimi ivmesi (m/s ²)
m	: Kütle (kg)
n	: Devir sayısı (d/d)
T	: Zaman (saniye)
V	: Hız (m/s)
V _r	: Rüzgâr hızı (m/s)
λ	: Uç hız oranı
ρ	: Yoğunluk (kg/m ³)
ω	: Açısal hız (rad/s)
η _t	: Türbin verimi
P	:Rüzgar gücü (W)
P _f	:Faydalı güç(W)
A	: Amper

Kısaltmalar

GWEC	: Global Wind Energy Council
EMO	: Elektrik Mühendisleri Odası
TUREB	: Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği
RES	: Rüzgar Enerji Santrali

1. GİRİŞ

Ülkemizde elektrik üretimi amacıyla kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgar enerjisi ilk sıralarda yer almaktadır. Ancak enerji üretmek amacıyla kurulan rüzgar türbinleri bazı teknik ve çevresel sebeplerden dolayı insanların yaşam alanlarından uzak yerlerde inşa edilmektedir. Henüz sosyal yaşam ile entegre olmuş durumda değildir.

Bu çalışmada temel amaç; rüzgar türbinlerini insanların yaşama alanlarına entegre ederek, ağaç tipi Savanius türbine Darrieus türbin ilave edilerek hibrit bir sistem oluşturmaktır. Bu hibrit sistemde ilk hareketi Savanius türbin verirken tasarlanan Darrieus türbininde hibrit sisteme katkıları tespit edilip tartışılacaktır. Böylece bu türbinlerin evsel ve küçük güç kullanım alanlarında yaygınlaştırılmasına katkı sağlanacaktır.

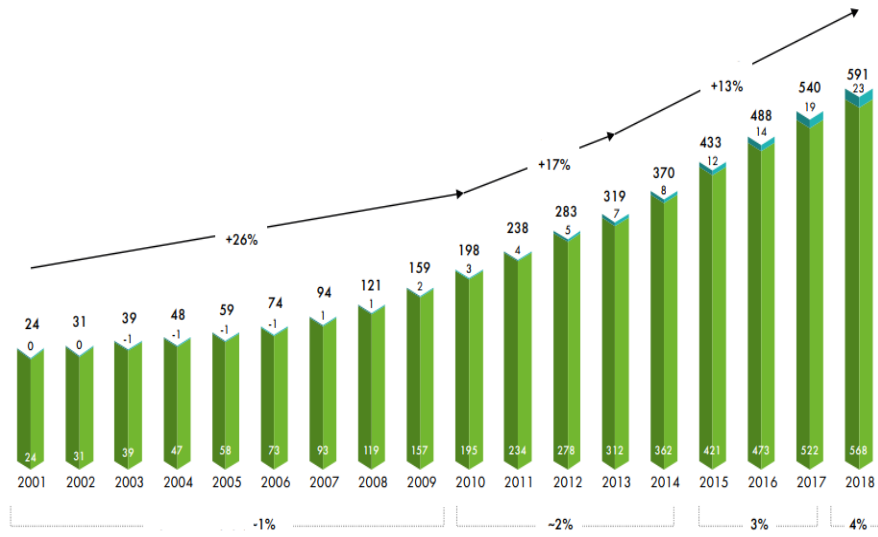
1.1. Dünya ve Türkiye’de Rüzgar Enerjisinin Durumu

Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim her geçen gün artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında da rüzgar enerjisi, verimlilik açısından önemli bir yere sahiptir. Rüzgar enerjisi son dönemde dünyada ve buna paralel olarak da ülkemizde hızlı bir ilerleme sürecine girmiştir.

1.1.1. Dünyada rüzgar enerjisinin durumu

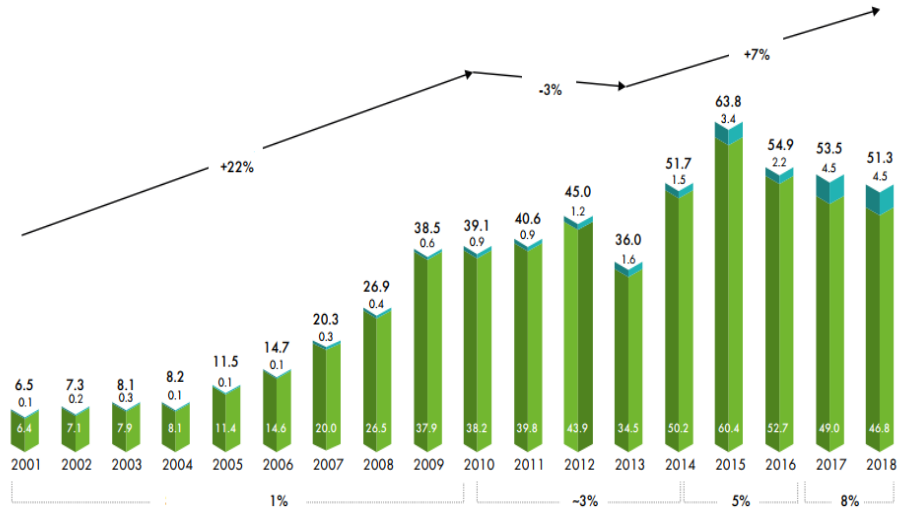
Rüzgar Enerjisi, dünyada kullanımı en çok artan yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir.2001 yılından itibaren dünyadaki rüzgar enerjisi kurulu gücü her geçen yıl artmaya devam etmiştir. Özellikle 2007 yılından itibaren artış ivmesindeki yukarı yönlü hareket dikkat çekmektedir.

Rüzgar enerjisine olan bu yönelim beraberinde rüzgar türbinlerinin verimini arttırmaya yönelik bilimsel çalışmalarında artmasını sağlamıştır. Şekil 1.1. ‘de GWEC (Global Wind Energy Council)’in 2018 raporuna göre dünya üzerindeki toplam rüzgar enerjisi kurulu gücünün tarihsel gelişimi gösterilmektedir.



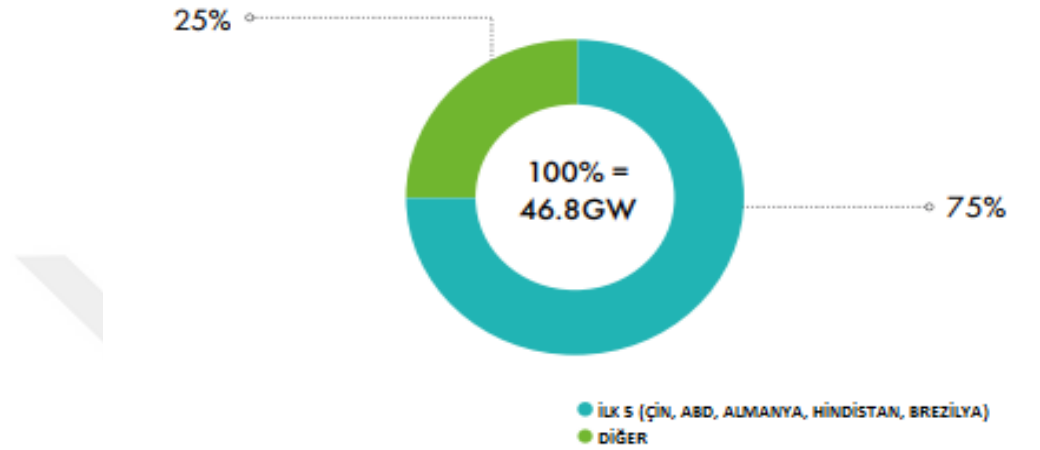
Şekil 1.1. Dünya üzerindeki toplam rüzgar enerjisi kurulu gücünün 2001-2018 arası gelişimi

Dünyada her geçen yıl yeni rüzgar enerjisi kurulumları yapılmaktadır. Şekil 1.2.’de GWEC (Global Wind Energy Council)’in 2018 raporuna göre yıllar içerisinde eklenen yeni kurulumların grafiği verilmiştir.



Şekil 1.2. 2001-2018 yılları içerisinde eklenen yeni kurulumlar

Dünyada rüzgar enerjisi kullanımında önde olan bölgelerden bazıları; Okyanusya, Kuzey Amerika, Asya, Doğu Avrupa ve Rusya olarak sayılabilir. GWEC (Global Wind Energy Council)'in 2018 raporuna göre ilk 5 sıradaki ülke şu şekildedir; Çin, Amerika Birleşik Devletleri, Hindistan ve Brezilya'dır. Şekil 1.3.'te bu 5 ülkenin dünyadaki toplam üretimdeki payı gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Dünya'da en fazla rüzgar enerjisi kullanan ülkeler.

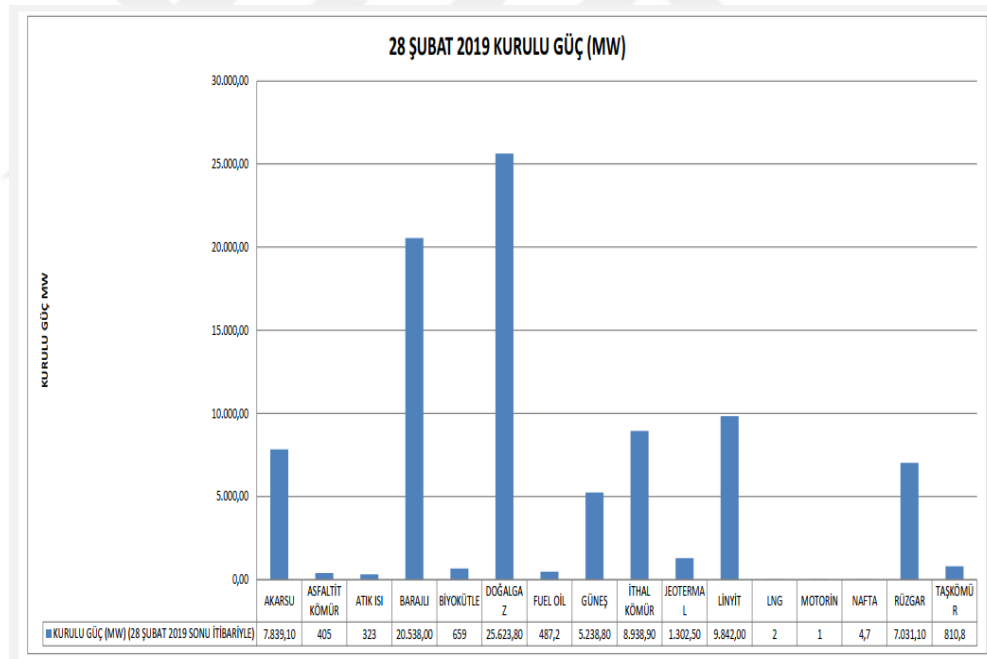
Her ne kadar bu sayılan bölgeler arasında Türkiye olmasa da Türkiye'nin de ciddi oranda rüzgar enerjisi potansiyeli vardır.

1.1.2. Türkiye'de rüzgar enerjisinin durumu

Dünyada yaygınlaşan rüzgar enerjisi beraberinde Türkiye'de de rüzgar enerjisine olan yatırımların artmasını sağlamıştır. Rüzgar enerjisinin elektrik üretimindeki payı diğer elektrik üretim kaynaklarına kıyasla her geçen yıl artmaktadır. Çizelge 1.1.'de ve Şekil 1.4.'de EMO (Elektrik Mühendisleri Odası)'nın 2019 raporuna göre Türkiye'deki elektrik üretiminde kullanılan kaynakların kurulu güç tablosu ve grafiği verilmiştir. Rüzgar enerjisinden elde edilen enerji 2000 li yılların başından itibaren artan bir ivme göstermektedir.

Çizelge 1.1. Türkiye’deki elektrik üretiminde kullanılan kaynakların kurulu güç miktarları

KURULU GÜÇ	
YAKIT CİNSLERİ	KURULU GÜÇ (MW) (31 OCAK 2019 SONU İTİBARIYLA)
FUEL-ÖL + NAFTA + MOTORİN	294
YERLİ KÖMÜR(TAŞ KÖMÜRÜ + LİNYİT + ASFALTİT)	10403,5
İTHAL KÖMÜR	8793,9
DOĞALGAZ + LNG	22437,8
YENİLEN.+ATIK+ATIKISI+PİROLİTİK YAĞ	738,8
ÇOK YAKITLILAR KATI+SIVI	697,1
ÇOK YAKITLILAR SIVI+D.GAZ	3358,3
JEOTERMAL	1302,5
HİDROLİK BARAJLI	20567,5
HİDROLİK AKARSU	7783,7
RÜZGAR	6946,8
GÜNEŞ	81,7
TERMİK (LİSANSSIZ)	319,3
RÜZGAR (LİSANSSIZ)	63,1
HİDROLİK(LİSANSSIZ)	7,6
GÜNEŞ (LİSANSSIZ)	5098,5
TOPLAM	88894,1

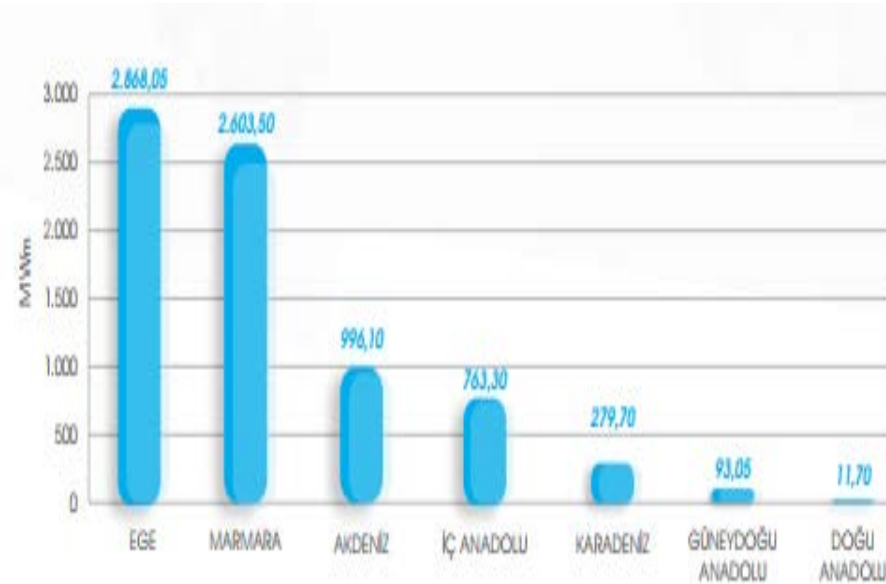
**Şekil 1.4.** Türkiye’deki elektrik üretiminde kullanılan kaynakların kurulu güç miktarları.

Rüzgar enerjisinden elde edilen enerji 2000 li yılların başından itibaren artan bir ivme göstermektedir. Şekil 1.5’te TUREB (Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği)’nin verilerine göre 2008-2019 yılları arasında Türkiye’deki rüzgar enerjisinin gelişimi gösterilmiştir.



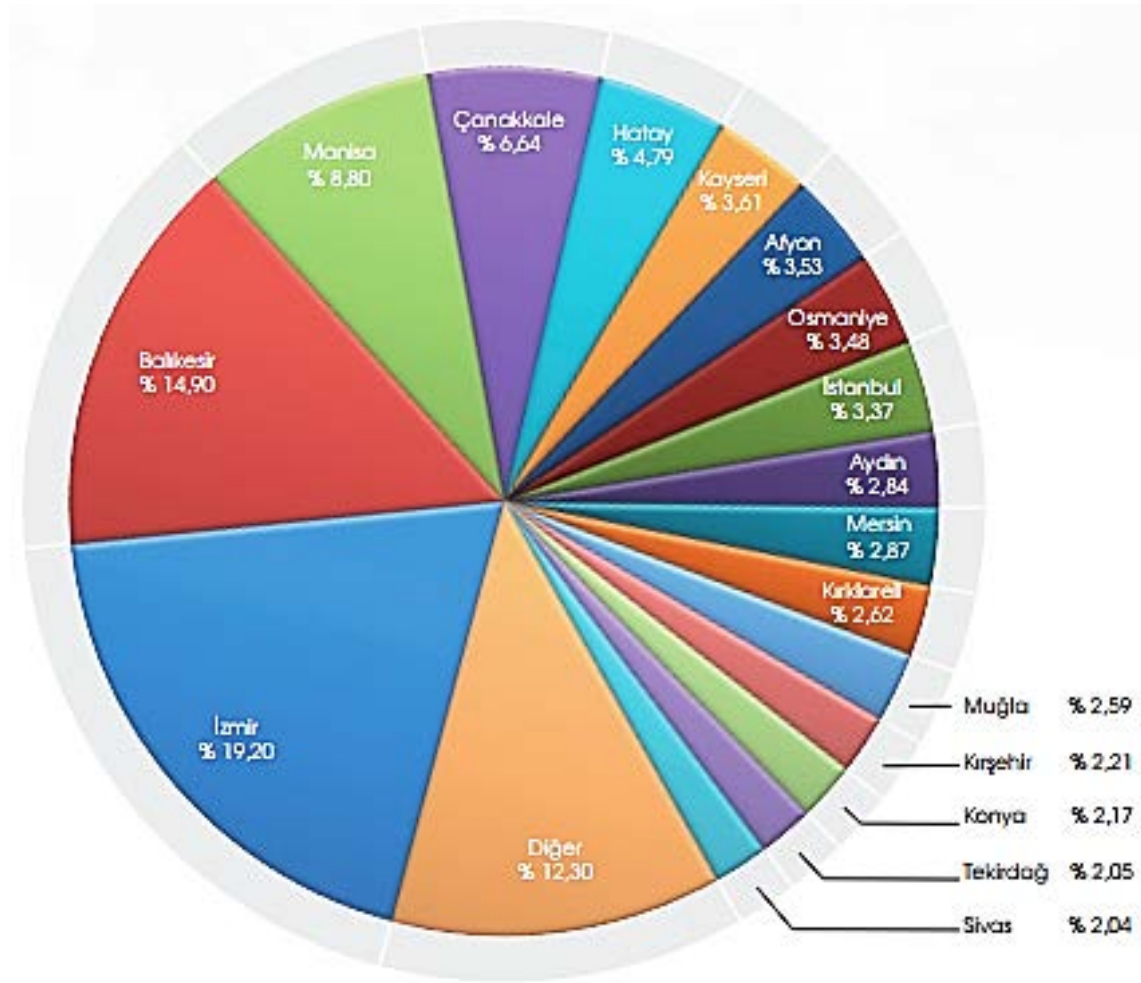
Şekil 1.5. 2008-2019 yılları arasında Türkiye’deki rüzgar enerjisinin gelişimi

Türkiye’de rüzgar enerjisinden elektrik üretiminde coğrafi bölgelerin payına bakıldığında ege bölgesi 1. Sırada yer almaktadır. Egenin ardından sırasıyla Marmara Akdeniz, iç Anadolu, Karadeniz, Güneydoğu Anadolu ve Doğu Anadolu bölgeleri gelmektedir. Şekil 1.6.’da TUREB (Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği)’nin verilerine göre Türkiye’deki rüzgar enerjisi üretiminin coğrafi bölgelere göre sıralaması gösterilmiştir.



Şekil 1.6. Türkiye’deki rüzgar enerjisi üretiminin coğrafi bölgelere göre sıralaması

Şekil1.7.'de TUREB (Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği)'nin verilerine göre Türkiye'deki rüzgar türbini kurulu gücünün % olarak şehirlere göre sıralaması gösterilmiştir.

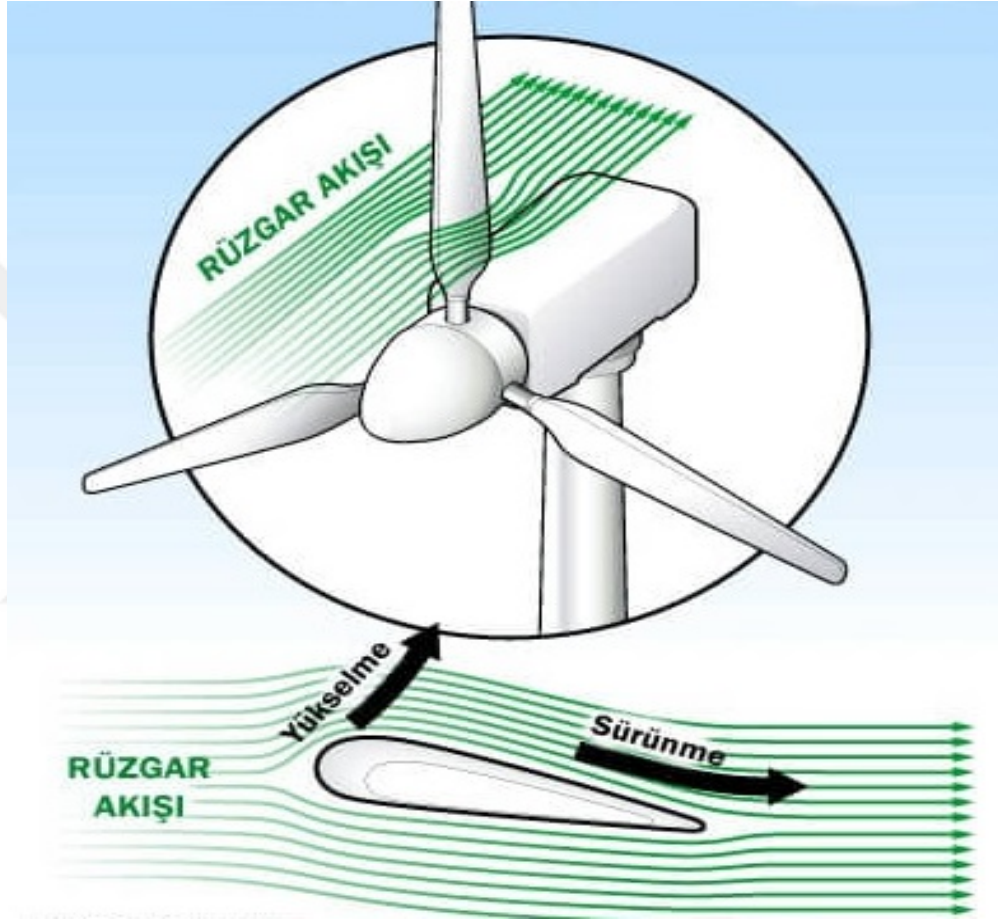


Şekil 1.7. Türkiye'deki rüzgar türbini kurulu gücünün % olarak şehirlere göre sıralaması

Türkiye'de yer seviyesinden 50 metre yükseklikte ve 7,5 m/s üzeri rüzg ar hızlarına sahip alanlarda kilometrekare başına 5 MW gücünde rüzg ar santrali kurulabileceğ i kabul edilmiştir. Bu kabuller ışığında, orta-ölçekli sayısal hava tahmin modeli ve mikro-ölçekli rüzg ar akış modeli kullanılarak üretilen rüzg ar kaynak bilgilerinin verildiğ i Rüzg ar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) hazırlanmıştır. Türkiye rüzg ar enerjisi potansiyeli 48.000 MW olarak belirlenmiştir. Bu potansiyele karşılık gelen toplam alan Türkiye yüz ölçümünün %1,30'una denk gelmektedir.

1.2.Rüzgâr Türbini Çalışma Prensibi

Rüzgâr türbini, hareketli bir rotoru bulunan yakaladığı hava akımının kinetik enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren bir sistemdir. Rüzgâr türbini, belirli çeşitlere ayrılmış olsalar da genel prensibi rüzgârın bünyesindeki kinetik enerjiyi, mekanik enerjiye dönüştüren kanat ve rotor sistemiyle elektrik üretilmesine dayanır.



Şekil 1.8. Türbin kanadında rüzgar akış yönleri

Rüzgâr türbinleri, rotorlarının dönüş eksenlerine göre genel olarak 3'e ayrılır;

1. Yatay eksenli
2. Dikey eksenli
3. Eğik eksenli rüzgar türbinleri.

1.2.1. Yatay eksenli rüzgâr türbinleri

Bu tip türbinlerin dönüş eksenini rüzgarların geliş yönüne göre paralel ve kanatları da diktir. Rotor kanatlarının sayısı azaldıkça daha hızlı dönmekte ve daha fazla elektrik üretmektedir. Bu tarz türbinlerin verimi yaklaşık olarak %45'dir. Yatay eksenli

türbinler genellikle yerden 20 m ya da 30 m yüksekliğe yerleştirilirler. Rüzgar hızının rotor kanadı hızına oranına kanat uç hız oranı (λ) denir.



Şekil 1.9. Yatay eksenli rüzgar türbini

Yatay eksenli rüzgar türbinleri;

- Kule
- Gövde
- Rotor
- Kanat

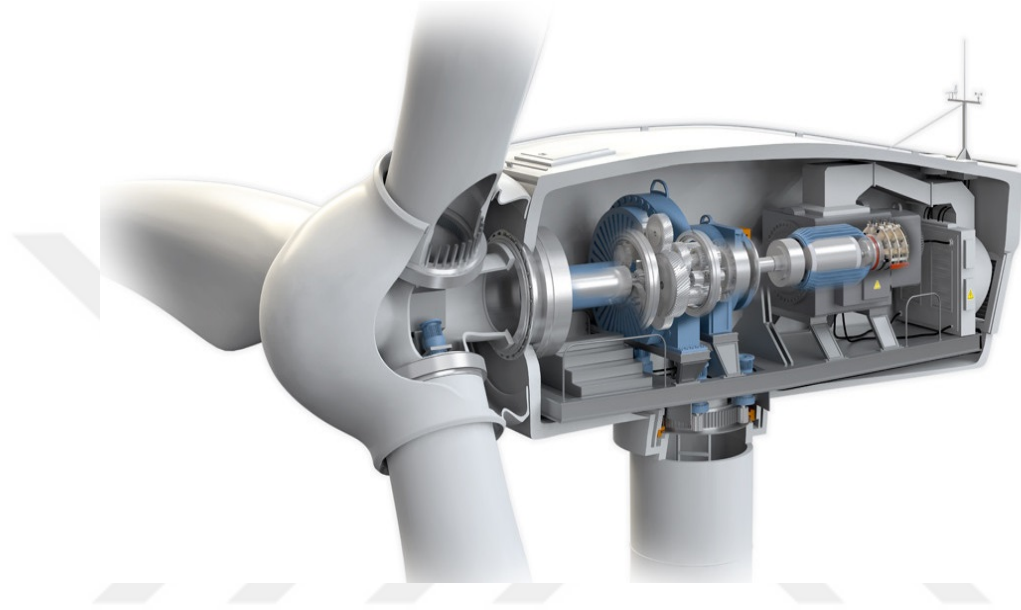
Olmak üzere 4 ana parçadan meydana geliri.

1.2.1.1. Kule

Kule, rüzgar enerjisi ile elektrik üretiminde üretim miktarını etkileyen en önemli bileşenlerden biridir. Rüzgar hızı ve enerjisi yükseklikle doğru orantılıdır. Bu yüzden kule boyu ne kadar yüksek olursa üretilen enerji miktarı da o kadar fazla olur. Bu duruma paralel olarak da maliyet artmaktadır ve sahada çalışma şartları da zorlaşmaktadır.

1.2.1.2. Gövde

Gövde, yatay eksenli rüzgar türbininde enerji dönüşümünün baladığı önemli bir kısımdır. İçerisinde çeşitli sistem elemanlarını barındıran bu kısım sistemin beyni niteliğindedir. Elektriğın üretildiğı, düzenlendiğı bu kısımda rüzgar türbinini kontrol sistemi de mevcuttur bu sayede türbinin hız, yn vs. kontrolleri sağlanmaktadır.



Şekil 1.10. Pervane tipi rüzgar türbinini gövdesi ve kabin içi parçaların görünümü

1.2.1.3. Rotor ve kanatlar

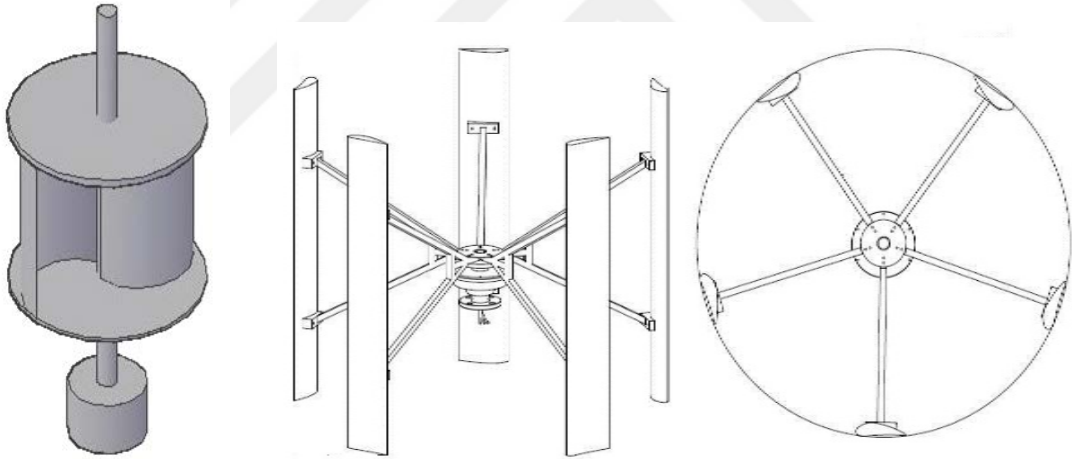
Rotor, kanatlardan, gövdeye bağlı olan bir göbekten ve döner afttan oluşur. Kanatlar rüzgarı yakalar ve gücü göbeğe aktarır. Rotor bir göbek ile afta bağlıdır ve göbek de türbinin düşük hız aftına bağlıdır. Kanatların dnyle bir ucu göbeğe bağlı, diğer ucu da jeneratöre bağlı olan aftı döndürür. Rotor dn rüzgar yönüne dik olarak kontrol edilir. Kanatta oluşan hava akısının bileşkesi rüzgar yönü ile rüzgar geçiş yönü arasında bir basınç farkı oluşturur. Bu basınç farkı bileşke akıya dik gelen bir itme kuvveti meydana getirir ve bu itme mekanik bir tork üreterek aftın hareket etmesini sağlar.

1.2.2. Dikey eksenli rüzgâr türbinleri

Bu türbin sistemlerinin dönüş eksenini rüzgâr yönüne dikler. DERT rüzgârı her yönden alabilir ve buna göre dönüş hareketiyle elektrik üretir. Bu özelliğiyle diğer türbin sistemlerine göre bir üstünlüğü bulunur. Rüzgârı sürükleyerek kaldıran bu türbinlerin verimini ise yaklaşık olarak %35'dir. Herhangi bir kuleye ihtiyaç duymadan çalışan bu türbinler toprak seviyesinde kurulur ve bu yüzden de düşük rüzgâr hızlarında çalışmak zorundadırlar (Bilindiği üzere rüzgâr hızı yerden yükseldikçe artmaktadır). Rotor çapı 5 m olan bir türbinden hemen hemen 0.5 kW'lık bir güç elde edilir.

Düşey eksenli türbinler, yatay eksenlilere göre daha az alan kaplarlar ama buna göre de daha az güç üretirler. Bu yüzden bu tip türbinler verimli bir şekilde kullanılmak isteniyorsa yüzlerce hatta belki de binlerce türbini birbirlerinin rüzgâr sahalarını kapatmayacak şekilde bir araziye yerleştirilmelidir. Düşey eksenli rüzgâr türbinleri;

1. Darrieus
2. Savonius olmak üzere 2'ye ayrılır.



Şekil 1.11. Savonius (solda) ve H tipi Darrieus (sağda) rüzgâr türbinleri

1.3.Evsel Kullanım İçin Rüzgâr Türbinleri

Rüzgâr enerjisinin kullanımı gün geçtikçe artmasına rağmen rüzgâr türbinleri henüz insanların yaşam alanlarına entegre olmuş durumda değildir. Bu durumun ana sebebi büyük enerji üretim kapasitelerine sahip rüzgâr türbinlerinin yüksek hızlarda rüzgâr hızına ihtiyaç duymaları ve şehir merkezlerinde de binalardan dolayı yeteli rüzgâr hızlarına ulaşamamasıdır. Bunun yanı sıra bu tarz büyük kapasiteli rüzgâr

türbinlerinin gürültülü çalışmaları da insanları yaşam alanlarında olumsuz etkilemektedir.

Yaşam alanlarındaki rüzgar enerjisinden faydalanmak için bir veya birkaç evin faydalanabileceği küçük kapasitelerde rüzgar türbinlerinin tasarlanması gerekmektedir. Bu tasarımlar için en uygun rüzgar türbini tipleri ise dikey eksenli Darrieus ve savonius rüzgar türbinleridir.

1.3.1. Darrieus rüzgâr türbinleri

Fransız bir mühendis olan George J.M. Darrieus tarafından icat edilen bu rüzgar türbini kanatları düzgün bir aerodinamik yapıya sahip olduğundan dolayı yüksek bir performansa sahiptir. Kanatlar üzerindeki çekme gerilimi hafif bir eğime sahip olduğundan çok düşüktür. Yüksek rüzgar hızlarında çalışabilir fakat ilk hareket için bir tahrik motoru gereklidir.

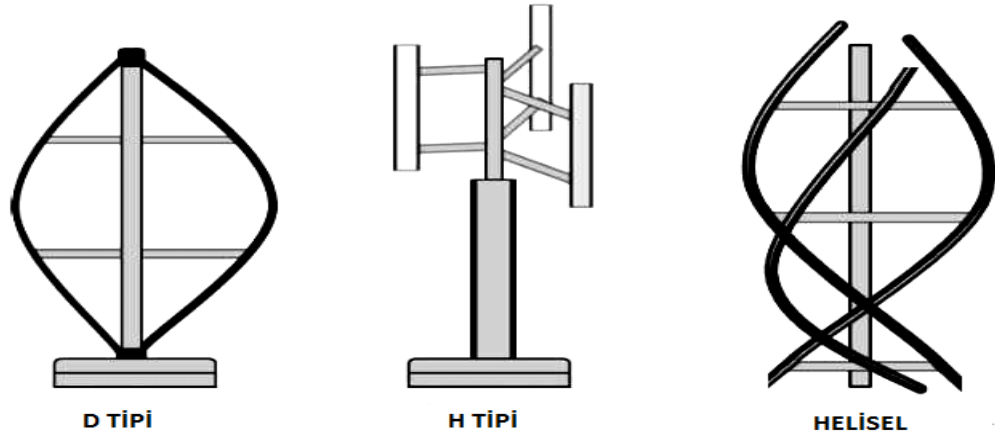


Şekil 1.12. H tipi Darrieus rüzgar türbini

Son yıllarda Darrieus rüzgar türbinleri üzerine yapılan çalışmalarda önemli ölçüde artış olmasına rağmen henüz yatay eksenli rüzgar türbinleri kadar yaygınlaşmamıştır. Darrieus rüzgar türbinleri kendi içlerinde;

- D tipi
- H tipi
- Helisel

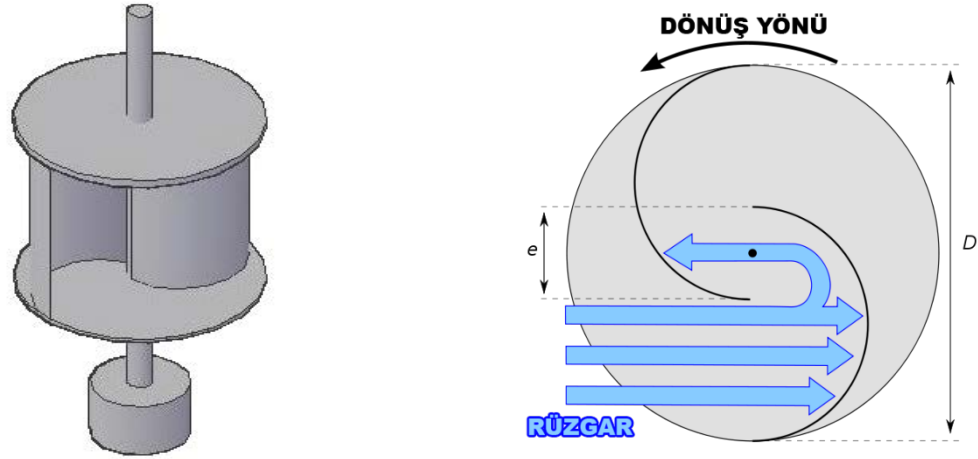
Olmak üzere 3'e ayrılır.



Şekil 1.13. Darrieus rüzgar türbini çeşitleri (Deda ve ark., 2006)

1.3.2.Savanius rüzgar türbinleri

Rüzgarın sürüklenme kuvveti etkisi ile çalışan düşey eksenli bir diğer rüzgar türbini ise ismini Finli mucit Sigurd Savonius dan alan Savonius rüzgar türbinidir (Deda ve ark., 2006). Savonius rotor dikey konumda duran silindirin ortadan ikiye kesilmesi ve kaydırılması ile elde edilen ve “S” şeklinde olan bir rotordur. Bu rotorun çalışma prensibi belirli bir hızla gelen rüzgarın rotora çarpması ile yarım daire silindirin iç kısmında pozitif diğer yarım daire silindirin dış kısmında negatif bir moment oluşur ve iç kısımda oluşan moment dış kısımda ki momente göre daha büyüktür ve aradaki bu farktan dolayı Savonius rotor dönmeye başlar, aşağıda ki şekilde (şekil 2.6. da) rotorun dönme aşaması verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi rüzgarın kanatlara (yarı silindirlere) çarpması ile rüzgara iç tarafı dönük olan kanada yani ilerleyen kanada gelen basınç dolayısıyla oluşan kuvvet geri dönen kanada gelenden daha fazladır. Böylece merkez noktaya göre ilerleyen kanadın momentini geri dönene göre daha fazla olduğu için Savonius rüzgar türbini dönmeye başlar. Düşey eksenli rüzgar türbinleri için rüzgarın yönü genellikle önemli değildir. Bu yüzden rüzgar hangi yönden eserse essin türbin bazı kritik noktalar hariç dönmeye ve güç üretmeye başlayacaktır (Deda ve ark., 2006).



Şekil 1.14. Savonius rüzgar türbini

1.3.3. Darrieus-Savanius birleşik rüzgar türbinleri

Son yıllarda rüzgar enerjisinden daha fazla yararlanabilmek için Darrieus ve Savonius rüzgar türbinleri birlikte tasarlanmaya başlanmıştır. Bu sayede Darrieus rüzgar türbinine ilk hareket savonius rüzgar türbini tarafından verilmektedir. Bu sayede hem Darrieus türbin için ilk hareket sorunu çözülmüş olmaktadır hemde toplam elde edilen güç artmaktadır. Şekil 1.15.'de Darrieus-Savonius birleşik rüzgar türbininin gösterimi bulunmaktadır.



Şekil 1.15. Darrieus-Savonius rüzgar türbini hibrit sistemi (Deda ve ark., 2006)

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Literatür incelendiğinde rüzgâr türbinleri üzerine yapılan çalışmaların gücü, güç katsayısını ve verimi arttırmak için kanat tasarımı ve mevcut tasarımların iyileştirilmesine yönelik olduğu görülmektedir. Dikey eksenli rüzgar türbinlerinde yapılan çalışmalara bakıldığında ise son zamanlarda performansı arttırmak amacıyla hibrit türbinlere yönelmenin olduğu dikkat çekmektedir.

Gavalda ve ark. (1990), yaptıkları çalışmada; birleştirilmiş yeni bir tasarım Darrieus-Savonius rüzgar çarkı önererek, deneylerini yapmışlardır. Darrieus-Savonius rüzgâr çarkının başlama moment ve güç katsayılarını inceleyerek maksimum güç katsayısını 0.35 olarak bulmuşlardır.

Avşar ve ark. (2001), çalışmalarında, Savonius rüzgâr çarkının Türkiye'deki uygulama örnekleri üzerine araştırma yapmışlardır. Afyon yöresinin rüzgâr potansiyelini inceleyip, rüzgâr potansiyeline göre Savonius rüzgâr türbini tasarlayarak, imalatını yapmışlardır. Tasarladıkları türbinin, Afyon yöresinin rüzgâr alan yüksek kesimlerinde ve etrafı açık olan ovalarda sorunsuz çalıştığını ve aküyü şarj ettiğini tespit etmişlerdir.

Köse (2003), çalışmasında genellikle şebekeden uzak yerlere kurulan rüzgar ölçüm istasyonlarının elektrik ihtiyacının mini Darrieus-Savonius rüzgar türbiniyle rahatlıkla karşılanabileceğini Selcuk Üniv. Kampüsü rüzgar ölçüm verilerine göre hesaplayarak göstermiştir.

Roynarin (2004), rotor çapı ve türbin yüksekliği 0,4 m olan bir düşey eksenli rüzgâr türbinini çeşitli kanat profilleri kullanarak testlere tabi tutmuştur. Yaptığı deneysel ve matlab çalışmaları sonrasında 40 farklı kanat profili arasından en iyi performansı S 1223 kanat profilinin verdiğini gözlemlemiştir. Başka bir dikey eksenli rüzgar türbini imalatını gerçekleştirerek, bir karides çiftliğinde, ilk hareketi içten yanmalı motor ile sağlanan Darrieus rüzgar türbinine Savonius türbini entegre ederek, düşük rüzgar hızlarında ilk hareketi bu türbinden sağlamıştır.

Saha ve ark. (2005), yaptıkları çalışmada; Savonius rüzgâr çarkı kanatlarında bazı tasarım değişiklikleri yaparak, kırsal alanlardaki küçük ölçekli güç gereksinimlerinin olduğu bölgelerde yararlı hale getirmek için çalışmışlardır. Bunun için bükülmüş bambu kanatlı Savonius rüzgâr çarkı imalatı yapmışlar ve bu çarkı daha önce yapılmış olan bükülmüş metalik kanatlı çarklar ile karşılaştırmışlardır.

Altan (2006), çalışmalarında, rüzgar hızını çarkın güç ve verimini arttırmak ve aynı zamanda çarkın dış bükey yüzeyi üzerine tesir eden negatif momenti engellemek için Savonius rüzgar türbininin önüne bir yapay perde düzeneği yerleştirmiştir.

Deda (2006), rüzgâr türbininin verimini arttırmak ve türbinin dış bükey yüzeyine etki eden negatif momenti engellemek için Savonius rüzgâr türbininin önüne perde düzenek yerleştirmiştir. Rüzgâr türbininin önce deneysel olarak perdeli ve perdesiz olarak statik ve dinamik momentler ölçmüştür. Ölçüm değerlerini kullanarak her bir durum için güç ve performans değerlerini hesaplamıştır. Sayısal Akışkanlar Dinamiği (CFD) kullanarak deneysel veriler ile CFD sonuçlarını karşılaştırmıştır. Perdeli model ile güç katsayısının %38'lere çıktığı görülmüştür.

Aktemur (2010), farklı Savonius rüzgâr türbinlerinin rüzgâr hızı ve akış koşulları sabit tutularak bilgisayar destekli analizlerini yapmıştır. Çalışmada kanat kayma mesafesinin kanat çapına oranı 0, 0.4 ve 0.8 olarak seçilmiştir. Yapılan bilgisayar destekli analizler sonucunda 3 kanatlı kayma mesafesi/kanat çapı oranları 0.4 oranlı olan tasarımda en iyi performans gözlenmiştir. Üç kanatlı tasarım için kayma mesafesi büyüdükçe performansta azalma kaydedilmiştir.

Kirke (2011), çalışmasında, birkaç tane Darrieus tipi çapraz akışlı hidrokinetik türbin üzerinde yapılan bir dizi testin sonuçlarını özetlemiştir. Sabit aralıklı düz kanat ve difizörsüz helisel türbinlerin maksimum performans katsayısı C_p , 1,5 m/s'de yaklaşık 0,25, 5 m/s'de ise 0,1'den düşük iken, difizörlü olanlarda C_p yaklaşık 0,3-0,45 arasındadır. Hem düz hem de helisel sabit kanat türbinleri düşük başlangıç torku sergilemiş, değişken adımlı türbinler ise kolayca başlamıştır.

Musco ve ark. (2014), çalışmalarında, CAD yazılımı kullanarak bazı Savonius türbinlerini yeniden tasarlamış ve CFD yazılımı kullanarak rotorların sanal davranışını simüle etmiştir. Tasarlanan bu yeni dikey eksenli rüzgar türbinine Bronzius ismini vermişlerdir. Sonuç olarak Bronzius'un klasik türbinlere göre daha yüksek C_p ve C_t değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Le ve ark. (2014), çalışmalarında, dikey eksenli gelgit türbinlerini akış tahrikli rotor simülasyonu ile analiz etmiştir. Optimal geometriye sahip 3 boyutlu akış tahrikli rotor simülasyonu helisel kanatlı bir türbinin aynı kanat sayılı bir düz türbine göre tork ve RPM'indeki düşük dalgalanmaların yanı sıra güç katsayısında %33'ten %42'ye bir artışın olduğunu göstermiştir.

Tiju ve ark. (2015), çalışmalarında, Darrieus dikey eksenli rüzgar türbinindeki temel araştırma yöntemlerine ve bunlara ilişkin uygulamaları gözden geçirerek, daha

fazla araştırmacının mevcut araştırma durumunu bilmesini ve ilgili araştırmalar için bir rehberlik sağlamayı amaçlamıştır.

Jin ve ark. (2015), çalışmalarında, küçük ölçekli kullanım için dikey eksenli bir rüzgar türbini tasarlamış ve üretimini yapmıştır. Deneylein sonuçlarında, hız arttıkaça, voltajda bir artış olduğunu ve bunun da farklı hızlarda watt değişimlerine işaret ettiği anlaşılmıştır. Bu aynı zamanda, yüksek rüzgâr olduğunda, rpm'nin daha yüksek olduğu anlamına gelir. Tasarlanan türbin,% 80'in üzerinde verimlilik ve 33 Watt çıkış gücü özelliklerine sahiptir ve aynı şekilde tasarlanan türbinin kapasitesinin, amacına uygun ve akım üretiminde verimli olduğu kanıtlanmıştır.

Savio ve ark. (2015), çalışmalarında, üç rotorlu dikey eksenli rüzgar türbini kullanarak ANSYS 13.0'da programı vasıtasıyla verilen akış koşulları altında türbinde oluşan Von Mises stresini ve deformasyonunu analiz etmiştir. Rüzgar hızı 72 km / s olarak alınmıştır. Sonuç olarak Von mises stresi, izin verilen sınırlarda olan maksimum 1.76901e 008 n / m ^ 2 değerini göstermiş ve deformasyon profili de izin verilen sınırlarda olup oluşan maksimum deformasyon 26,21 mm'dir.

Lee ve ark. (2016), çalışmalarında, Büküm açısının Savonius rüzgar türbini performansına etkisi incelemiştir. Sabit bir projeksiyon alanı koşullarında farklı uç hız oranlarında (TSR) güç katsayısı (Cp) ve 0, 45, 90 ve 135 helisel bıçak açıları için farklı azimutlarda tork katsayısı (CT) gözlendi. Sonuçlarımız, her iki durumda da maksimum güç katsayısı (Cp, maks) değerlerinin, bu çalışmada ele alınan TSR aralığı için benzer eğilimlere sahip olduğunu, yani 45 büküm açısı hariç, 0,4 ile 0,8 arasında olduğunu göstermiştir. Maksimum Cp 45'in büküm açısında meydana gelirken, 90 ve 135'te% 25,5 azalmıştır. Çeşitli azimutlardaki CT değerleri ile ilgili olarak, sonuçlar, 90 ve 135 için profillerdeki tepe-tepe değerlerinin 0 ve 45 için olanlardan daha düşük olduğunu göstermiştir.

Patel ve ark. (2017), çalışmalarında, üç kanatlı Darrieus türbinin Naca 0015, NACA0018 Ve NACA4415 kanat profillerinin hidrodinamik performansını farklı katılar için incelemiştir. Deneyleer 0,258, 0,298, 0,382 ve 0,434 katılıkları olan üç kanatlı Darrieus türbin üzerinde gerçekteşmiştir. Üç farklı hidrofoil NACA0018, NACA0015, ve NACA4415 0,46m/s'lik sabit akış hızı ile test edilmiştir. NACA0015 ve NACA0018 yaklaşık 0,382 katılıkla Cp=0,15 en yüksek güç katsayısını sağlamıştır.

Ramesh ve ark. (2017), çalışmalarında, Savonius ve Darrieus' un kombinasyonunu içeren bir hibrit türbin güç katsayısını incelemiştir. Bu amaçla ilk olarak Savonius türbini iki, üç, ve dört kanatlı olarak deneyleel olarak test etmiştir.

Testler 3 kanatlı rotorun düşük rüzgar hızlarında iki ve dört kanatlılardan daha yüksek güç katsayısına sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca Savonius, Darrieus ve hibrit türbinler rüzgar tüneli üzerinde farklı rüzgar hızlarında test edilmiştir. Hibrit türbin, Savonius rotoruna(0,19) ve Darrieus üç kanatlı rotoruna(0,21) kıyasla düşük rüzgar hızında daha yüksek güç katsayısı(0,23) vermiştir.

Balduzzi (2017)'de Kline-Fogleman kanatlarının Darrieus türbininde kullanılmasının güç üretimine etkisi, önceden doğrulanmış hesaplamalı akışkanlar mekaniği (HAD) analizleri vasıtasıyla incelemiştir. Sonuç olarak kanada basamak açmanın yüksek uç hız oranlarında (dönme hızlarında), beklentinin aksine, elde edilen gücü %28 (dıştan basamaklı) ile %44 (içten basamaklı) arasında düşürdüğünü belirlemiştir. Ancak, düşük uç hız oranlarında (dönme hızlarında), dıştan basamak açmanın, gücü ve momentini 33% oranında artırdığını gözlemlemiştir.

Fertahi ve ark. (2018), çalışmalarında, iki boyutlu sayısal CFD aracılığıyla düşük kesme hızına sahip bir dikey eksenli gelgit türbinini savanius ve Darrieus'un iç içe hibridizasyonu yoluyla hidrodinamik performansını incelemiştir. Savanius ve Darrieus'un faydalarından yararlanan 3 hibrit model tasarlanmıştır. Bunlar;

- Senkron kavrama, iki rotor için aynı dönme yönü
- Asenkron kavrama, iki rotor için dönüş yönü ters
- Asenkron kavrama, iki rotor için aynı dönme yönü

Asenkron kavrama (iki rotor için aynı dönme yönü) diğer hibritlere göre en iyi performansı sağlamıştır. Lakin bu durum pratikte mümkün olmayıp teoride kalmıştır.

Arpino ve ark. (2018), çalışmalarında, yardımcı düz kanatlara sahip Darrieus sitili dikey T eksenli rüzgar türbinini sayısal performans analizini yapmıştır. Çalışmada Reynolds Ortalama Navier Stokes tabanlı bir CFD modeli kullanılmıştır. CFD modeli rüzgar tüneli verilerine göre doğrulanmış ve gerçek ölçekli rüzgar türbini performansı, güç ve tork katsayıları sayısal olarak analiz edilmiştir. Sonuçlar önerilen konfigürasyonun 4 m/s rüzgar hızının altında bile kayda değer bir performans sergilediğini göstermiştir.

Hashem ve ark. (2018), çalışmalarında, H-rotor Darrieus rüzgar türbininin aerodinamik performans iyileştirmelerini araştırmıştır. Aerodinamik performans değerlendirmesinde, üretilen gücü arttırmak için Darrieus türbin kanadının kesit profilleri 24 yeni kanat profili (simetrik ve simetrik olmayan) için yapılmıştır. Sonuç olarak Simetrik S1046-tipinin 2 ila 7 arasında değişen tipik uç hızı oranı için en iyi performansa sahip kanat tipi olduğu ve bir sikloidal yüzey difüzörü ile donatılan üç

kanatlı Darrieus türbininin (S1046 kanatlarından oluşur) maksimum güç katsayısının 1,3662'ye eşit olduğu gösterilmiştir.

Douak ve ark. (2018), çalışmalarında, düşük rüzgar hızlarında başlayabilen optimize edilmiş bir Darrieus tipi rüzgar türbini projelendirmeyi amaçlamıştır. Çalışma üç bölümden oluşmaktadır: birincisi, düşük rüzgar hızlarında kendi kendine çalışmaya izin veren saldırı açısını izleme ve kontrol sistemi sunulmuş, ikinci kısım iyi bir başlangıç torku ve üçüncü kısım ile bir profil elde etmek için genel bir yöntem sunmaktadır. Sonuç olarak maksimum tork sağlayan en uygun hücum açısının $\alpha=15^\circ$ olduğunu gösterilmiştir. Ayrıca üç kanatlı bir rotorun, başlangıç konumundan bağımsız olarak kendi kendine çalışmaya başlayacağı gösterilmiş ve rüzgar tünelineki türbin modeli üzerinde yapılan testlerle doğrulanmıştır.

Kaviskar ve ark. (2018) yaptıkları çalışmalarında güneş ve Rüzgar'ın yenilenebilir enerjilerini kullanarak, PVC boru malzemesinden yapılan dikey eksenli rüzgar türbini ve 3 W'lık PV hücreli yenilenebilir elektrik üretim sistemli Güneş-Rüzgar hibrit ağaç güç sistemini geliştirmişlerdir.

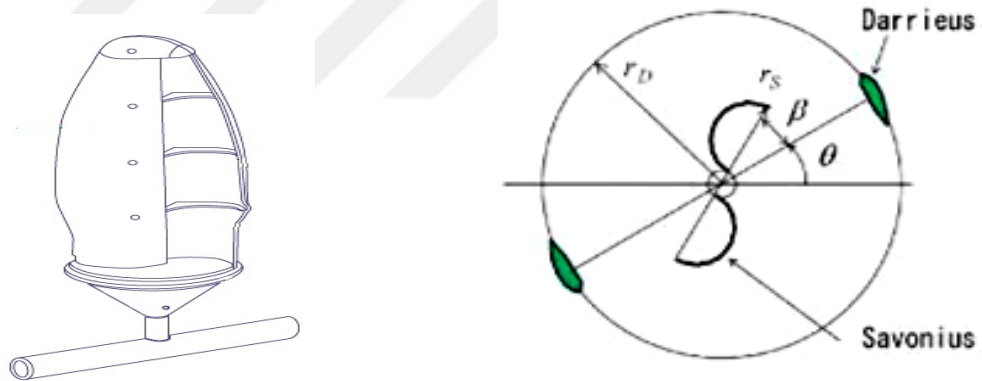
Alom ve ark. (2018), yaptıkları çalışmada, havalandırma artırmalı eliptik kanatlı Savonius rotoru sayısal ve deneysel olarak araştırmışlardır. Sonuç olarak 3B dengesiz simülasyon ve rüzgar tüneli deneyleri karşılaştırılmış; havalandırma artırmalı eliptik kanatlı rotor için, 3B sayısal simülasyonu, 0.132'lik bir maksimum güç katsayısı (CP) gösterirken, deneyler maksimum 0.146 bir CP göstermiştir.

Marini ve ark. (2019), çalışmalarında, daha yüksek bir enerji dönüşüm verimliliği sağlayabilmek amacıyla dönme sırasındaki aerodinamik ve bıçak atalet kuvvetleri nedeniyle şekillerini pasif olarak değiştiren esnek kanatlı Savonius tipi bir dikey eksenli rüzgar türbini tasarlamıştır. Tasarımı, genetik algoritmalara dayalı özelleştirilmiş bir şekil optimizasyonu iş akışı ile optimize etmiştir. Sonuç olarak, yapısal gerilimi tasarım sınırı içinde tutarken güç katsayısının% 8 oranında iyileştirmenin mümkün olduğunu göstermiştir.

Anup ve ark. (2019), çalışmalarında, küçük rüzgar türbinlerinin kentsel çevrede uygulanması ve akan rüzgarın özelliklerini, performanslarını ve bilgedeki boşlukları tanımlamak için yapılan çeşitli çalışmaları gözden geçirmiştir. Bu gözden geçirme makalesinde ayrıca, SWT'ler için uluslararası tasarım standardının, IEC 41400-2'nin kentsel çevreler için ne derece geçerli olduğu araştırılmıştır. Bu incelemeden elde edilen bulgular, IEC 61400-2'ye dahil edilen rüzgar modellerinin, SWT'lerin kentsel çevreye montajı için uygun olmadığını göstermiştir.

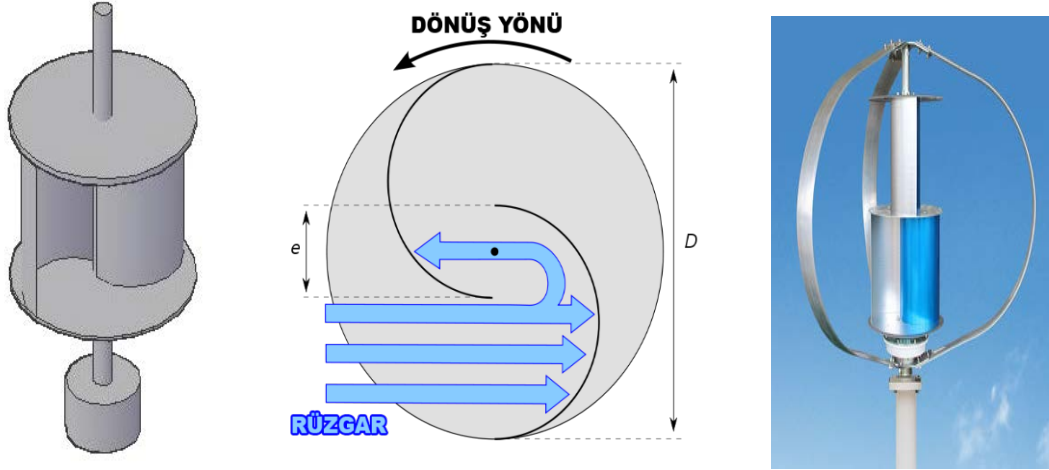
3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada yapılacak olan deneyler hazır bir rüzgar tüneli içerisine uygun büyüklükte türbin yerleştirilerek yapılmıştır. Test edilecek olan türbin tasarımı mevcut literatürde verilen formül ve kabullere göre imal edilmiştir. Bunun için ilk aşamada testlerini yapacağımız Savanius kanat profilli dikey eksenli rüzgar türbininin en uygun boyut ve teknik parametreleri belirlenerek tasarlanacak türbinin kanat profili çizimleri yapılmıştır. Kanat sayısı 2 alınmış, jeneratör olarak DC jeneratör kullanılmıştır. Kanat profili seçiminde “National Advisory Committee for Aeronautics (NACA)” ve diğer uygun profiller dikkate alınmıştır. Strafor malzemeden kalıp hazırlanarak polyester emdirilmiş cam elyaftan türbin kanadı imal edilmiştir. Deneylerin yapılması sırasında deney seti üzerinde gerekli bölümlere; kayıt edici özelliği termometre, havanın hızını ölçebilmek için anemometre montajı yapılmıştır. Sonuç olarak tasarlanan hibrit sisteminin verimi, tek başına çalışan Savanius rüzgar türbini ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Şekil 3.1. ve Şekil 3.2.’de Savonius ve Darrieus -Savonius hibrit rüzgar türbininin gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.1. Savonius (solda) ve Darrieus-Savonius rüzgar türbini (sağda)

Savanius türbinle birleşik çalışacak Darrieus türbini tasarımı yapılmış ve tek başına teste tabi tutulmuştur. Mevcut literatürdeki formül ve kabullere göre yapılan imalat sonrası tasarlanan Savanius ve Darrieus türbinler aynı şasi üzerine monte edilerek hibrit bir sistem meydana getirilmiştir. Oluşturulan bu sistem rüzgar tüneli deney düzeneğinde bir takım testlere tabi tutularak türbin gücü ve güç katsayısı hesaplanmıştır. Sonuç olarak Darrieus türbin eklenmiş dikey eksenli Savanius rüzgar türbini için en uygun parametreler belirlenerek yorumlanmıştır.



Şekil 3.2. Savonius ve Darrieus-Savonius rüzgar türbinleri

Türbin çıkış gücü; P_t (1), türbin mevcut işi; P_{tot} (2) ve türbin verimi; η_t (3) ifadeleri ile verilmiştir.

$$P_t = \frac{2\pi\eta_t M}{60} \quad (1)$$

$$P_{tot} = \Delta P_t \dot{Q}_v \quad (2)$$

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_{tot}} \quad (3)$$

Bu ifadelerdeki M ; dönme momenti, \dot{Q}_v ; hacimsel hava debisini, ΔP_t ise türbin bölgesi boyunca basınç değişimini ifade etmektedir. Ayrıca türbinin güç katsayısı (C_p) da (4) numaralı denklem ile hesaplanacaktır:

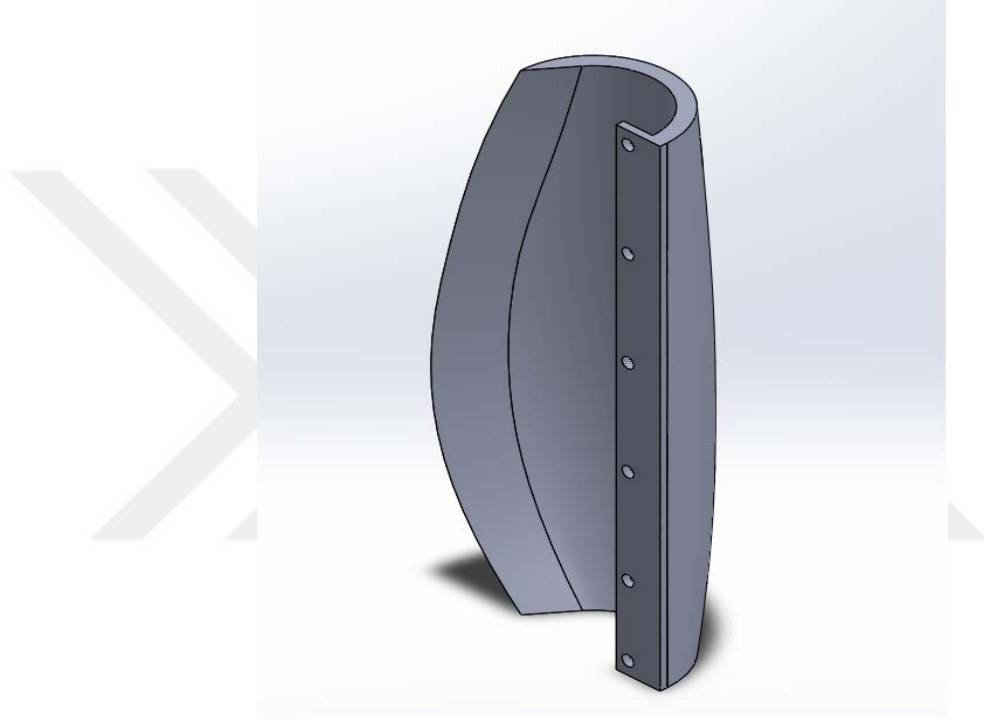
$$C_p = \frac{P}{P_o} \quad (4)$$

$$P_o = \frac{1}{2} * \rho * S * v^3 \quad (5)$$

Bu bağıntılardaki P ; türbinden elde edilen elektriksel güç (W), P_o ; rüzgârın potansiyel gücünü, ρ ; havanın yoğunluğunu (kg/m^3), A ; rüzgârın etki ettiği alanı (m^2), v simgesi ise rüzgârın hızını (m/s) ifade etmektedir. Sonuç olarak dikey eksenli Darrieus-Savonius hibrit rüzgar türbini için en uygun parametreler belirlenerek yorumlanıp tartışılmıştır.

3.1. Savonius Rüzgar Türbininin İmalatı

Tasarlanan Savonius rüzgar türbini en üst taraftan orta kısma kadar artan bir çap ölçüsüyle devam edecek ardından tekrar daralarak üst taraftaki çap ölçüsünün değerinde tamamlanacaktır. Bu kapsamda türbinin bir kepçesinin en üst kısmından en altına kadar 6 adet dairesel bölgeye ayrılmıştır. Bunların yarıçapları 1.'si 10 cm, 2.'si 12,5cm, 3.'sü 15 cm, 4.'sü 316 cm, 5.'si 15 cm ve 6.'sı 10 cm olarak seçilmiştir. Yükseklik ise 75 cm olarak belirlenmiştir. Şekil 3.3. ve Şekil 3.4.'te tasarlanan Savonius rüzgar türbinin çizimi gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Savonius rüzgar türbin kanadı

Savonius türbinin rotor çapı S , (3.1) denklemine göre hesaplanır ;

$$S=2dh \quad (3.1)$$

Burada;

S =Çarkın süpürme alanı (m^2)

d =Yarıçap (m)

h =yüksekliğin yarısı(m)

$$S=2.0,32.0,75.=0,48 m^2$$

Olarak hesaplanmıştır.

Havanın yoğunluğu için deniz seviyesindeki yoğunluk (1,25 kg/m³), ortalama rüzgar hızını da 10 m/s olarak alınmıştır. Bu durumda türbinin üzerinden geçen havanın gücü (3.2) denklemi ile elde edilir;

$$P_{max} = \frac{1}{2} \rho S V^3 \quad (3.2)$$

$$P_{max} = \frac{1}{2} 1,25 \cdot 0,48 \cdot 10^3 = 300 \text{ W}$$

Olarak bulunur. Güç katsayısı $c_p=0,15$ olarak kullanırsak Darrieus rüzgar türbinini gücü denklem (3.3.) kullanılarak bulunur;

$$P = C_p \cdot P_{max} \quad (3.3)$$

$$P = 0,15 \cdot 300 = 45 \text{ W}$$

Olarak bulunur.



Şekil 3.4. İmalatı yapılacak tasarlanan Savonius rüzgar türbin kanadı

Rüzgar türbini kanadı için çeşitli malzemeler kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları metal, ahşap ve epoksi gibi malzemelerdir. Bu projede üretilecek Savonius rüzgar türbininin kanadının yüksek hızdaki rüzgarlara dayanabilecek kadar güçlü ve hafif olabilmesi için cam elyaf takviyeli polyeşter kullanılmıştır. Kanadı imal edebilmek için öncelikle strafor malzemedeki kalıp oluşturulmuştur.

İlk olarak kalıp üzerine kalıp ayırıcı sıvı sürüldü. Kalıbın etrafı cam elyaf ile 3 kat olacak şekilde kaplandı. Şekil 3.5.'te etrafı cam elyafla sarılmış kalıp gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Cam elyaf ile sarılmış kalıp

Her bir katman kalıba sarıldıktan sonra polyester emdirildi. Polyester karışımı hazırlanırken %0,5 oranında hızlandırıcı, % 2 oranında da sertleştirici katılmıştır. 3. Katın da işlemi tamamlandıktan sonra kalıp üzerinde 1 gün bekletilip sertleşmeye bırakılmıştır. Şekil 3.6.'da polyester emdirilmeye hazır kalıp üzerindeki cam elyaf gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Polyester emdirilmeye hazır cam elyaf

Kalıp üzerinde kuruyup sertleşen cam elyaf takviyeli polyesterden kalıp çıkarılarak kanadın son şekli verilmiştir.

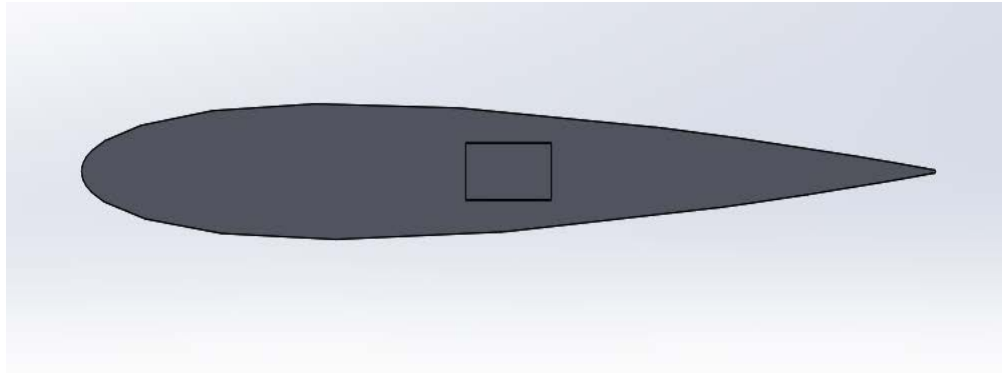
Kanattaki pürüzleri gidermek için macunla pürüzlerin kapatılma işlemi yapıp pürüzsüzlük sağlanmıştır. Kanatın etrafına pürüzsüzlük için kauçuk malzeme sarılarak boyama işlemi yapılmıştır. Şekil 3.7.'de kauçukla kaplanıp boyama işlemi yapılarak son hali verilen Savonius kanat gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Çevresi kaplanarak boya işlemi yapılmış Savonius türbini rüzgar tüneli önünde.

3.2. Darrieus Rüzgar Türbinin İmalatı

Tasarımı yapılacak Darrieus rüzgar türbini için H tipi Darrieus rüzgar türbini seçilmiştir. Türbin boyutları olarak yükseklik $h=75$ cm, yarıçap $r=32$ cm ve kanat sayısı da 2 kanat olarak seçilmiştir. Şekil 3.8’de tasarlanan Darrieus rüzgar türbin kanadı çizimi gösterilmiştir.



Şekil 3.8. İmalatı yapılacak olan Darrieus rüzgar türbini kanadı

Hava yoğunluğu $\rho = 0,25$ alınmıştır. Rüzgar hızı $V=10$ m/s, devir sayısı $N=596,83$ d/d olarak belirlenmiştir. Verilen bilgilere göre Darrieus rüzgar türbinin uç hız oranı, (3.4) denklemine göre hesaplanır.

$$\lambda = \frac{2.\pi.N.r}{60.V} \quad (3.4)$$

$$\lambda = \frac{2\pi \cdot 596,83 \cdot 0,32}{60 \cdot 10} = 2$$

Bulunur. λ uç hız oranı ile kanat giriş uzunluğu arasındaki bağıntı (3.5) denkleminde verilmiştir.

$$\lambda^2 = \frac{5 \cdot r}{b \cdot c} \quad (3.5)$$

Burada;

r: Yarıçap (m)

b: Kanat sayısı

c: Giriş uzunluğu (m)

(3.5) denkleminde;

$$c = \frac{5 \cdot r}{b \cdot \lambda^2} = \frac{5 \cdot 0,32}{2 \cdot 2^2} = 0,2 \text{ m}$$

Olarak kanat giriş uzunluğu bulunur. Bu verilen değerler dikkate alınarak rüzgar türbininin gücü, (3.6) denklemi kullanılarak hesaplanır;

$$P = \rho \cdot S \cdot V^3 \quad (3.6)$$

Burada;

P: Güç (W)

S: Çarkın süpürme alanı (m^2)

V: Rüzgar hızı (m/s)

Süpürme alanını hesaplamak için, (3.7) denklemi kullanılır.:

$$S = \frac{2}{3} \cdot 2r \cdot 2h \quad (3.7)$$

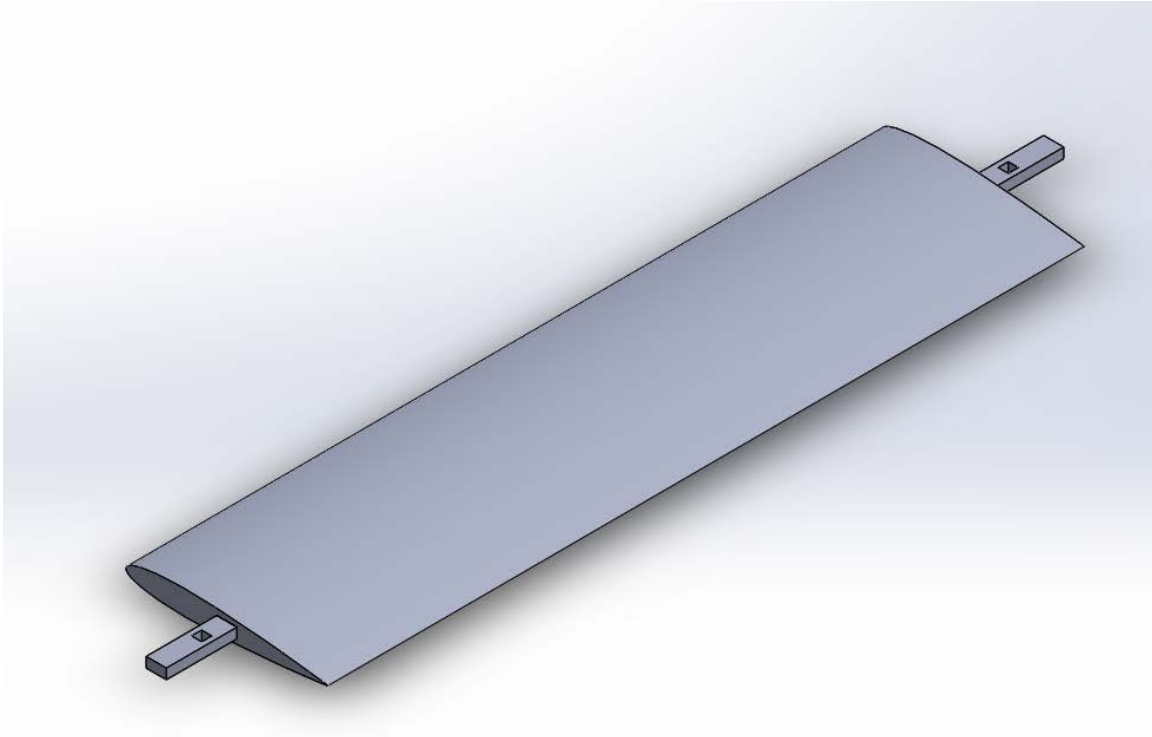
$$S = \frac{2}{3} \times 2 \times 0,32 \times 2 \times 0,75 = 0,32 \text{ m}^2$$

Bulunur. Rüzgar türbininin gücü ise;

$$P = 0,25 \cdot 0,64 \cdot 10^3 = 80 \text{ W}$$

Olarak bulunur.

Darrieus rüzgar türbininin hesaplamaları bu şekilde yapıldıktan sonra imalat aşamasına geçilmiştir. Kanat profili olarak NACA 0012 kanat profil kullanılmıştır. İmalat maddesi olarak ahşap malzeme tercih edilmiştir. Şekil 3.9. ve Şekil 3.10.'da Darrieus rüzgar türbin çizimi gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Darrieus rüzgar türbini kanadı



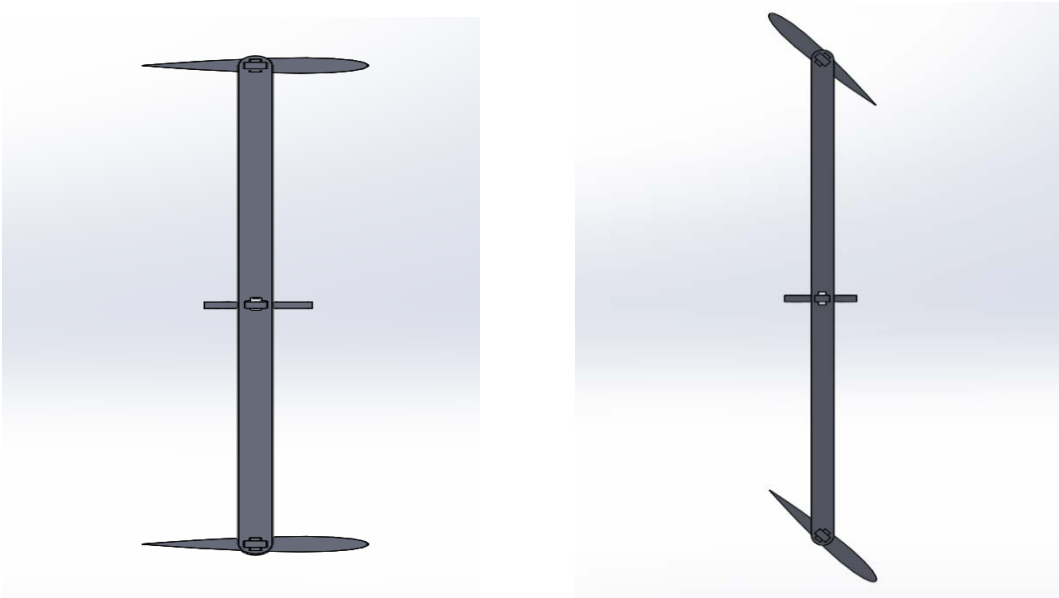
Şekil 3.10. Darrieus rüzgar türbini kanadı imalatı.

Darrieus rüzgar türbininin kanat açılarını 90 ve 45 derece olacak şekilde ayarlayabilmek için özel bağlantı elemanı imal edilmiştir. Şekil 3.11.'de Darrieus ve Savonius rüzgar türbinlerini birbirine montajını sağlayacak montaj elemanları gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Türbinlerin montaj elemanları

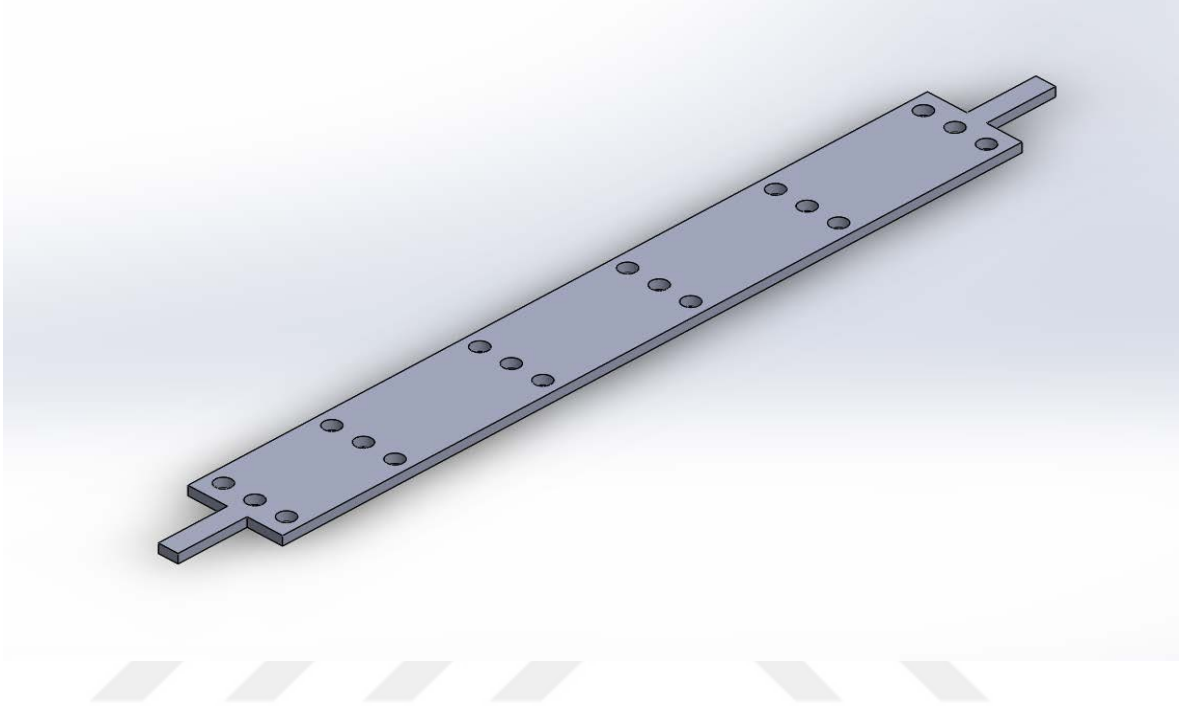
Son olarak kanatlar bağlantı elemanları ile mile bağlanmış deneyler yapılmıştır. Şekil 3.12.'de montajı yapılmış Darrieus türbin kanatlarının çizimi gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Montajı yapılmış Darrieus türbin kanatları.

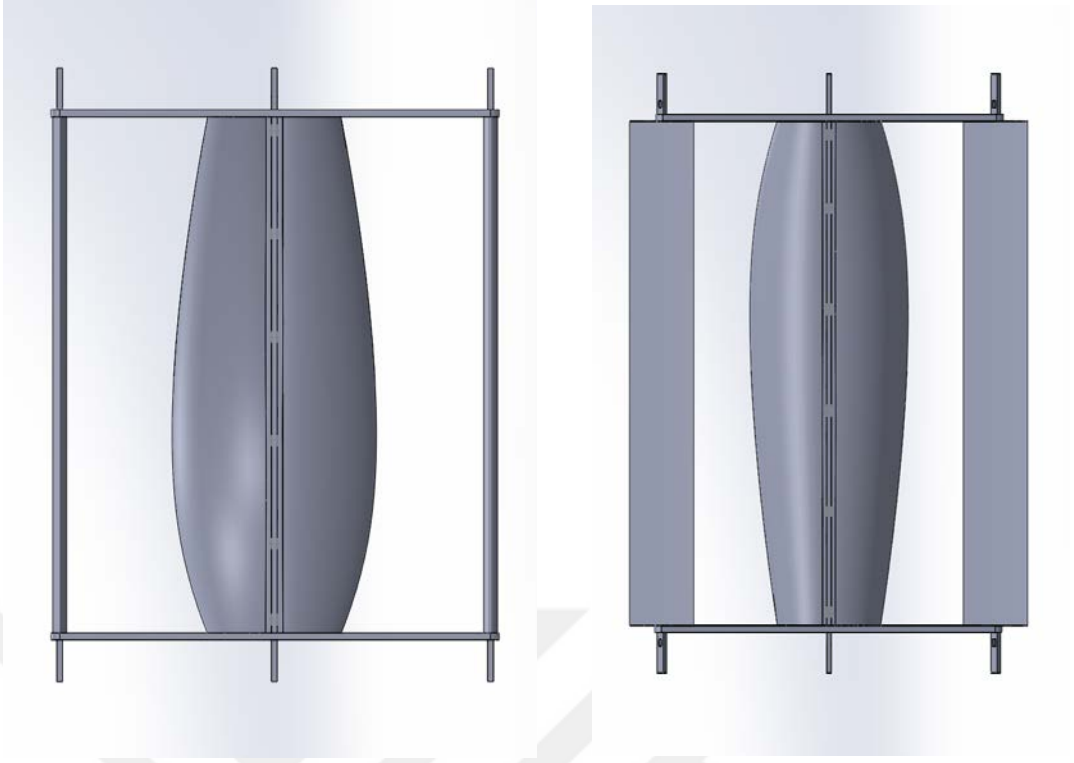
3.3. Darrieus-Savonius Hibrit Rüzgar Türbinin Montajı

İmalatı yapılan Savonius rüzgar türbininde hava sirkülasyonunun olması için tasarlanan milin ortasından delikler açılmıştır. Şekil 3.13’de tasarlanan türbin milinin çizimi gösterilmiştir.



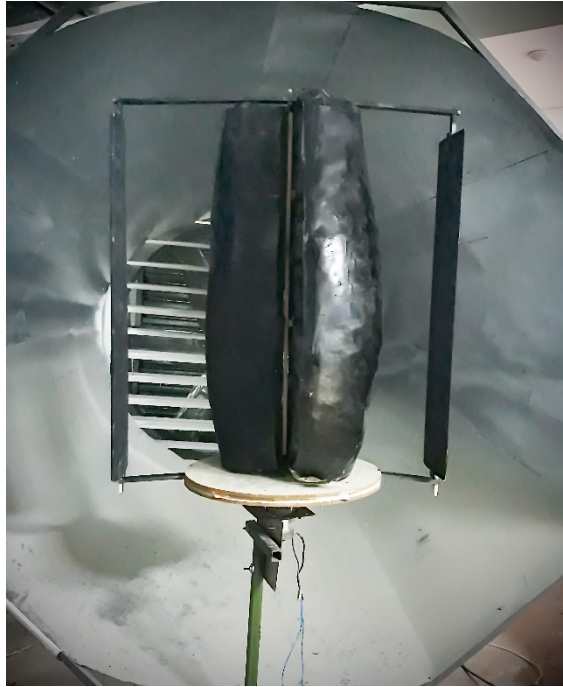
Şekil 3.13. Tasarlanan Savonius rüzgar türbini mili

Savonius türbin kanatlarının mile montajı yapıldıktan sonra Darrieus türbin kanatları imalatı yapılan bağlantı elemanlarıyla Savonius rüzgar türbinine bağlanmıştır. Darrieus türbin kanatlarının açıları 90 ve 180 derece olacak şekilde ve Darrieus türbinin Savonius kanatlara göre konumu değiştirilerek deneyler yapılmıştır. Darrieus- Savonius hibrit rüzgar türbininin montaj çizimi Şekil 3.14’de gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Darrieus-Savonius hibrit rüzgar türbini

İmalatı yapılan Darrieus ve Savonius türbinlerin montaj resimleri Şekil 3.15'te gösterilmiştir.



Şekil 3.15. . Darrieus-Savonius hibrit rüzgar türbini rüzgar tüneli önünde

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

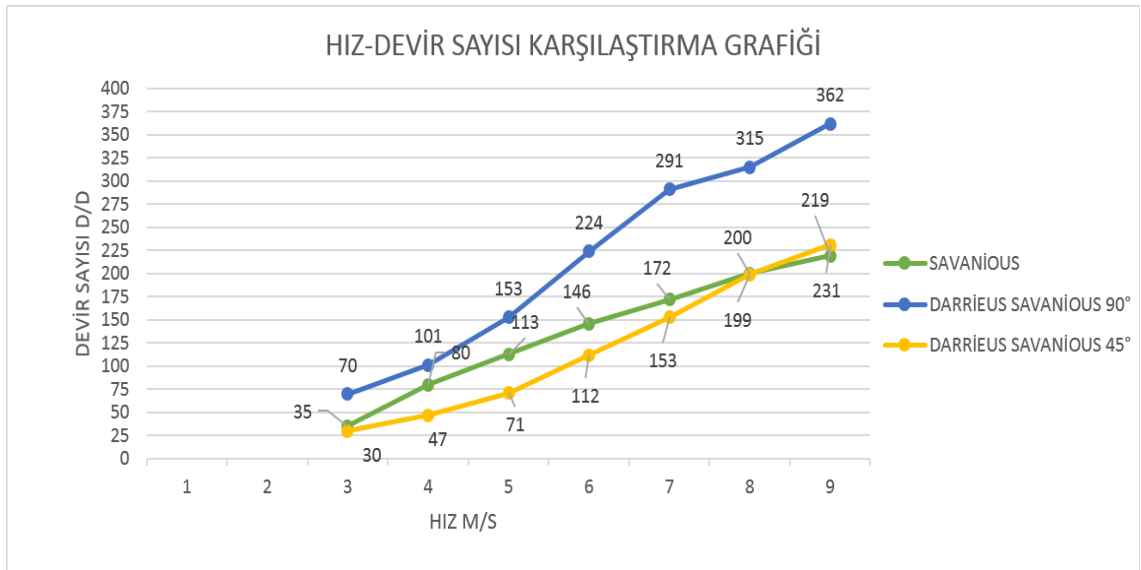
İmalatı yapılan Savonius ve Darrieus türbinlerden öncelikle yalnız Savonius rüzgar türbini maksimum 9 m/s hızında rüzgar oluşturan bir rüzgar türbininde denenmiştir. Daha sonra Darrieus rüzgar türbininin Savonius rüzgar türbinine montajı yapılmıştır. Oluşturulan bu hibrit Darrieus-Savonius rüzgar türbini yine maksimum 9 m/s hızda rüzgar veren rüzgar tüneline denenmiştir. Denemelerde Darrieus rüzgar türbinin kanat açıları değiştirilerek ölçümler yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarında darrieus-Savonius hibrit rüzgar türbininin 90 derece kanatlı olanında en yüksek güç değerlerine ulaşılmıştır.

Türbin güçleri hesaplanırken Multimetre kullanılmıştır. Volt ve amper değerleri ölçülerek elektriksel güç hesaplanmıştır. Elektriksel güç hesabında denklem 4.1. kullanılmıştır.

$$P = V.I \quad (4.1.)$$

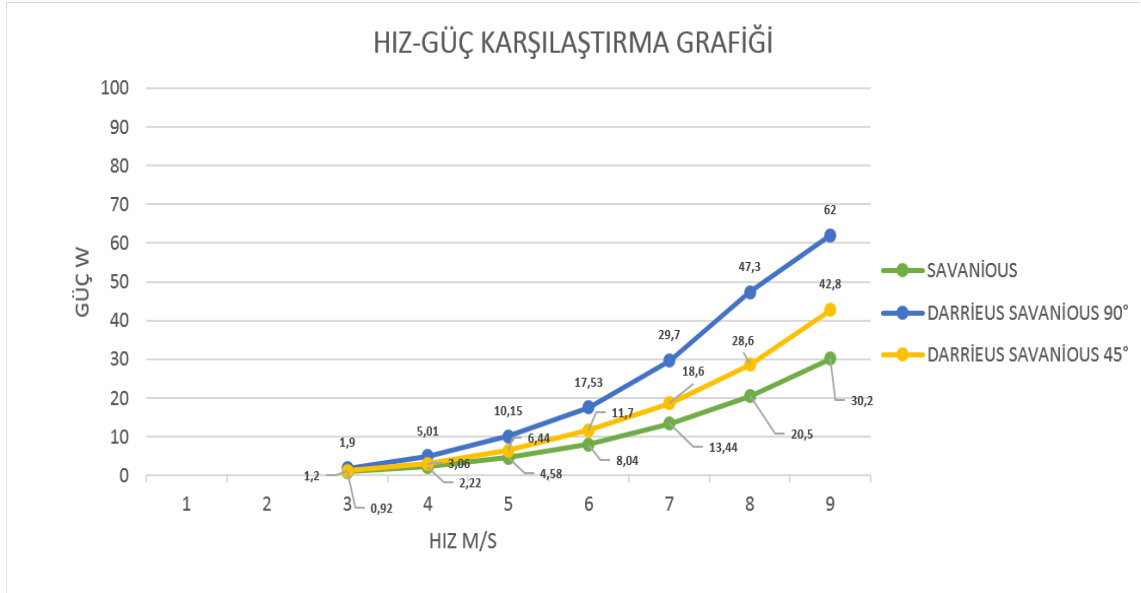
4.1. Ölçüm Sonuçları

İmalatı yapılan Savonius ve Darrieus-Savonius hibrit rüzgar türbinlerinin rüzgar tüneline 0 m/s ile 9 m/s rüzgar hızı değerleri arasında deneyleri yapılmıştır. Bunun sonucunda devir sayısı, güç katsayısı, uç hız oranı ve güç değerleri elde edilmiştir. Elde edilen devir sayısı değerleri Şekil 4.1.'de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Savonius ve Darrieus-Savonius hibrit rüzgar türbinlerinin rüzgar hızı-devir sayısı deney sonucu değerleri

Elde edilen güç değerlerinin rüzgar hızı ile değişimi Şekil 4.2.'de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Ölçülen güç değerlerinin rüzgar hızı ile değişimleri

Elde edilen devir sayısı ve güç değerleri kullanılarak uç hız oranı λ denklem 4.2.'ye göre hesaplanmıştır.

$$\lambda = \frac{2.\pi.n.R}{60.V} \quad (4.2.)$$

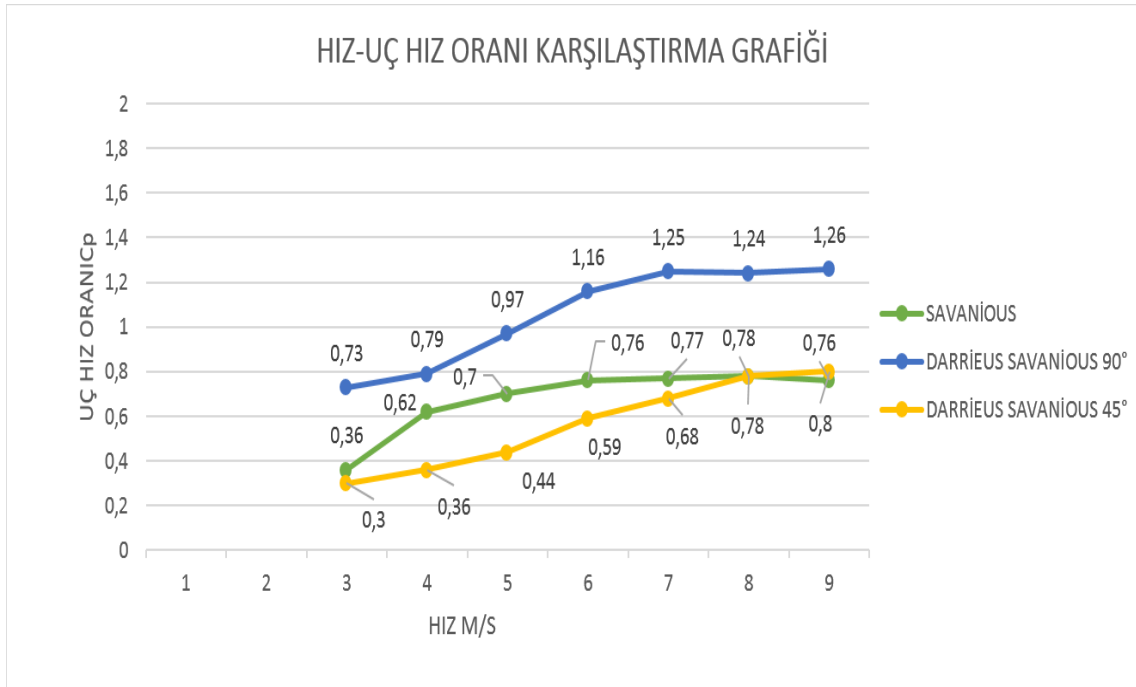
Burada;

n: Devir sayısı

R: Yarıçap

P: Rüzgar gücü

Bu hesaplamalar sonucunda 3-9 m/s arasındaki hızlarda elde edilen uç hız oranı değerleri Şekil 4.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Ölçülen değerlere göre hesaplanan uç hız oranı değerlerinin rüzgar hızı ile değişimleri

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen güç değerlerinden yola çıkarak Cp güç faktörü hesabı denklem 4.3. kullanılarak yapılmıştır.

$$C_p = \frac{P_f}{P} \quad (4.3.)$$

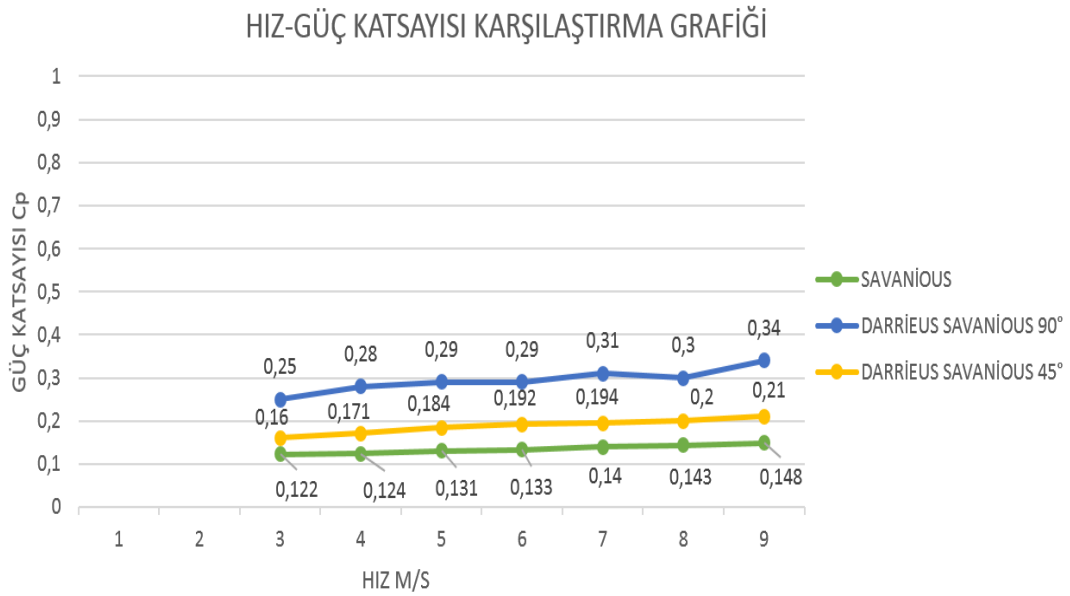
Burada;

Cp: Güç katsayısı

P_f : Faydalı güç

P: Hesaplanan rüzgar gücü

Hesaplamalar sonucu elde edilen Cp güç katsayısı değerlerinin karşılaştırması Şekil 4.4.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Ölçüm sonuçlarına göre elde edilen Cp değerlerinin rüzgar hızı ile değişimleri

4.3 Belirsizlik Analizi

Yapılan deney ölçümleri için belirsizlik analizi yapılmıştır. Belirsizlik analizi bize sonuçların hassasiyeti hakkında yöntemsel bir yaklaşım sunar. Bu yaklaşım ile olası hatalar için bir aralık belirlenmektedir. İki çeşit belirsizlik analizi yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar:

- ANSI/ASME International’s PTC 19.1 Test Uncertainty
- ISO “Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement” (ISO GUM)

n adet bağımsız değişkeni olan bir ölçmede;

- R : Ölçülecek boyut
- x1, x2, x3,....., xn : ölçümü etkileyen değişkenler
- w1, w2, w3,....., wn : bağımsız değişkenle ilgili hata oranı ise
- Toplam hata oranı WR denklem (4.2)’ye göre hesaplanır.

$$\frac{w_R}{R} = \left[\left(\frac{w_{x1}}{x1} \right)^2 + \left(\frac{w_{x2}}{x2} \right)^2 + \dots + \left(\frac{w_{xn}}{xn} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.2.)$$

Deneylerde en yüksek güç değerini elde ettiğimiz 9 m/s hızdaki Darrieus-Savonius hibrit rüzgar türbinin ölçüm değerlerine göre belirsizlik analizi yapılmıştır. Ölçüm yapılan Multimetrenin belirsizliği voltaj ölçümünde (E=12 V ± 0.1V) ve (I=5,16 A ± 0,1A) olarak alınmıştır. Ölçümü yapılan güç katsayısının belirsizlik analizi;

Güç katsayısı C_p ;

$$C_p = \frac{P_E}{P_R} = \frac{I \cdot V}{0.5 \cdot \rho \cdot A \cdot V^3} \quad (4.3.)$$

Denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır.

$$C_p = \frac{5.12 \cdot 12}{0.5 \cdot 1.225 \cdot 0.48 \cdot 9^3} = 0.28$$

Denklemler 4.3. kullanılarak belirsizlik analizi denklemler 4.2.'ye göre yapılmıştır.

$$\frac{w_{C_p}}{C_p} = \left[\left(\frac{W_I}{I} \right)^2 + \left(\frac{W_V}{V} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\left(\frac{W_I}{I} \right) = \frac{12}{0.5 \cdot 1.225 \cdot 0.48 \cdot 9^3} = 0.3 \text{ V}$$

$$\left(\frac{W_V}{V} \right) = \frac{5.16 \cdot -2 \cdot V^{-3}}{0.5 \cdot 1.225 \cdot 0.48 \cdot 9^3} = 0.048 \text{ A}$$

$$\frac{w_p}{p} = \left[\left(\frac{V}{0.5 \cdot \rho \cdot A \cdot V^3} \cdot W_V \right)^2 + \left(\frac{V \cdot -2 \cdot V^{-3}}{0.5 \cdot \rho \cdot A \cdot V^3} \cdot W_I \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{w_p}{p} = [(0.3 \cdot 0.1)^2 + (0.048 \cdot 0.1)^2]^{\frac{1}{2}} = 0.0013$$

$$\frac{0.0013}{0.28} \cdot 100 = 0.46$$

Belirsizlik % 0.46 olarak hesaplanmıştır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Sonuç olarak 50-100 watt güce sahip olacak şekilde ev uygulamaları için Darrieus-Savonius rüzgar türbini tasarlanmıştır. İlk önce Savonius rüzgar türbininin tasarımı yapıp üretimi yapılmıştır. Daha sonra Savonius türbinine uygun Darrieus rüzgar türbininin tasarımı yapılarak üretimi yapılmıştır. Darrieus ve Savonius türbin kanatları birbirine montaj edilerek 3m/s ve 9 m/s rüzgar hızları aralığında deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler sırasıyla; yalnız Savonius türbini(1), Darrieus kanatların 90 derece olduğu Darrieus-Savonius hibrit rüzgar türbini(2) ve Darrieus kanatların 45 derece olduğu Darrieus-Savonius hibrit rüzgar türbini(3) şeklinde 3 m/s ve 9 m/s hız aralıklarında yapılmıştır. Devir sayısı ölçüm değerlerinin sonuçları deney 1’de 219 d/d, deney 2’de 362 d/d, deney 3’te 231 d/d olarak elde edilmiştir. Güç ölçüm değerlerinin sonuçları; deney 1’de 30.2 W, deney 2’de 62 W deney 3’te 42.8 W olarak elde edilmiştir. Bu ölçüm sonuçlarına göre hesaplanarak elde edilen güç katsayısı değerleri deney 1’de 0.148 (%14.8), deney2’de 0.34 (%34.0), deney 3’te 0.21 (%21.8) olarak elde edilmiştir. Ölçüm sonuçlarından hesaplanarak elde edilen uç hız oranı değerleri ise deney1’de 0.76, deney 2’de 1.26, deney 3’te 0.8 olarak elde edilmiştir.

Bu sonuçlara göre literatürde %15’lerde olan Savonius türbini verimine ulaşılmıştır. Hibrit sistemlerden ise 90° açılı türbin yerleşiminin %34.0 ile en yüksek güç katsayısı değerine ulaştığı görülmektedir. Elde edilen sonuçlar literatürle uyumlu çıkmıştır.

Deneylerde kullanılan ölçü aletleri olan multimetre ve anemometrenin belirsizlik analizi yapılmıştır. Cp güç katsayısının belirsizliği %0.46 olarak hesaplanmış olup sonuç uygun çıkmıştır.

5.2 Öneriler

İmalatı yapılan Darrieus-Savonius hibrit rüzgar türbini 9 m/s rüzgar hızında en yüksek 62 W güce ulaşmıştır. Tasarım geliştirilip kayıplar azaltılarak türbin sayısı artırılıp bir rüzgar ağacı oluşturularak normal bir ailenin elektrik ihtiyacı karşılanabilir.

Yapılan çalışmada Savonius türbin kanadında hafif ve dayanıklı olmasından dolayı polyester emdirilmiş cam elyaf, Darrieus türbin kanadında da ahşap malzeme

kullanılmıştır. Savonius rüzgar türbininin dairesel yapısından dolayı üretilen kanatta pürüzler meydana gelmiş bu da türbin veriminin düşmesine sebep olmuştur. Bu durumun oluşmasını engellemek için daha farklı malzemeler araştırılabilir. Darrieus türbin kanadı yapımından daha iyi verim alabilmek için ahşaptan daha hafif ve dış ortam şartlarında çalışabilecek cam elyaf takviyeli polyester malzemeler kullanılabilir.

Darrieus türbin kanatlarının sayısı artırılarak farklı şekillerde Savonius türbin kanatları tasarlanarak hibrit türbin deneyleri yapılabilir. Bu sayede en uygun kanat sayısı ve tasarımı belirlenebilir.



KAYNAKLAR

- Aktemur, K., 2010, Bir Rüzgar Türbininin Bilgisayar Destekli Analizi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Alom N., Saha U. K., 2018, Performance evaluation of vent-augmented elliptical-bladed savonius rotors by numerical simulation and wind tunnel experiments, *Energy*, 152 (2018), 277e290
- Altan, B. D., 2006, Perdeleme yöntemi ile Savonius rüzgar çarkının performansının incelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Denizli.
- Anup K.C., Whale J., Urmee T., 2019, Urban wind conditions and small wind turbines in the built environment: A review, *Renewable Energy*, 131 (2019), 268-283
- Arpino F., Scungio M., Cortellessa G., 2018, Numerical performance assessment of an innovative Darrieus-style vertical axis wind turbine with auxiliary straight blades, *Energy Conversion and Management*, 171 (2018,) 769–777.
- Balduzzi F. , Drofelnik J. , Bianchini A., Ferrara G., Ferrari L., Campobasso M. S., 2017, Darrieus wind turbine blade unsteady aerodynamics: a threedimensional Navier-Stokes CFD assessment, *Energy*, 128 (2017), 550-563
- Deda, B., Atılgan, M., ve Öztürk, H.K., 2006, Savonius rüzgar çarklarının performanslarının incelenmesi, III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 423-430.
- Douak M., Aouachria Z., Rabehi R., Allam N., 2018, Wind energy systems: Analysis of the self-starting physics of vertical axis wind turbine, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81 (2018), 1602–1610.
- Galinos C., Larsen T.J., Madsen H.A., Paulsen U.S., 2016, Vertical-axis wind turbine design load cases investigation and load comparison with horizontal axis wind turbine, 13th Deep Sea Offshore Wind R&D Conference EERA DeepWind'2016
- Gavalda, J., Massons, J., and Diaz, F., 1990, Experimental Study on a Self-Adapting Darrieus-Savonius Wind Machine, *Solar&Wind Technology*, 7(4), 457-461.
- Güleren, K. M. ve Demir, S., 2011, Rüzgar türbinleri için düşük hücum açılarında farklı kanat profillerinin performans analizi, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 31 (2), 51-59.
- Hashem I., Mohamed M.H., 2018, Aerodynamic performance enhancements of H-rotor Darrieus wind turbine, *Energy*, 142 (2018), 531-545.
- Jin X., Zhao G., Gao K.J., Ju W., 2015, Darrieus vertical axis wind turbine: Basic research methods, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42(2015), 212–225.

- Karaoglan, I. and Altıparmak, F., 2015, A memetic algorithm for the capacitated location-routing problem with mixed backhauls, *Computers & Operations Research*, 55 (1), 200-216.
- Kaviskar S.S., Ghare G. P, Katkade Y., Manwatkar S., (2018), Design of Future Tree to Harvest Solar and Wind Energy, Conference Proceedings of i-Mechanical Engineering Students Conference 2018 (i –MESCON 18), 28th December, 2018.
- Kirke B.K., 2011, Tests on ducted and bare helical and straight blade Darrieus hydrokinetic turbines, *Renewable Energy*, 36 (2011), 3013-3022
- Köse, F., 2003, Rüzgar ölçüm istasyonu elektrik ihtiyacının mini Darrieus-Savonius rüzgar türbiniyle karşılanması, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, Kayseri, 217-223.
- Lee J.-H., Lee Y.-T., and Lim H.-C., 2016, Effect of twist angle on the performance of Savonius wind turbine, *Renewable Energy*, 89 (2016), 231-244.
- Marini I. c-K., Vucina D. and Milas Z., 2019, Concept of flexible vertical-axis wind turbine with numerical simulation and shape optimization, *Energy*, 167 (2019), 841-852.
- Muscolo G. G. and Molfino R., 2014, From Savonius to Bronzinus: a comparison among vertical wind turbines, *Energy Procedia* 50 (2014) 10 – 18.
- Patel V., Eldho T.I., Prabhu S.V., 2017, Experimental investigations on Darrieus straight blade turbine for tidal current application and parametric optimization for hydro farm arrangement, *International Journal of Marine Energy*, 17 (2017), 110–135.
- Ramesh K., Kavade and Pravin M. Ghanegaonkar 2017, Design and Analysis of Vertical Axis Wind Turbine for Household Application, *Journal of Clean Energy Technologies*, Vol. 5, No. 5, September 2017.
- Roynarin W., 2004, Optimisation of Vertical Axis Wind Turbines, School of Engineering and Technology, Northumbria University, A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements Fort the Degree of Doctor of Philosophy.
- Saha, U.K., Mahanta, P., Grinspan, A.S., Kumar, P.S., and Goswami, P., 2005, Twisted Bamboo Bladed Rotor for Savonius Wind Turbines, *Journal of the Solar Energy Society of India (SESI)*, 4, 1-10.
- Saif ed-Din, Fertahi, T. Bouhal, Omar Rajad, T. Kousksou, A. Arid, T. El Rhafiki, A. Jamil, A. Benbassou, 2018, CFD performance enhancement of a low cut-in speed current Vertical Tidal Turbine through the nested hybridization of Savonius and Darrieus, *Energy Conversion and Management*, 169 (2018), 266–278
- Tjiu W. , Marnoto T., Mat S.f, Ruslan M. H., Sopian K., 2015, Darrieus vertical axis wind turbine for power generation I: Assessment of Darrieus VAWT configurations, *Renewable Energy*, 75 (2015), 50-67.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : İsmail ARDIÇ
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : AMASYA-1993
Telefon : 5514282338
Faks :
E-Posta :

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: AMASYA A.Ö.L	MERKEZ	AMASYA	2011
Üniversite	: SELÇUK ÜNV.	SELÇUKLU	KONYA	2016
Yüksek Lisans	:			
Doktora	:			

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2019	Özel	Makine mühendisi

UZMANLIK ALANI

Makine mühendisliği

YABANCI DİLLER

İngilizce