

**T.C.**  
**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**  
**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**SİLİNDİRİK HELİSEL SAVONIUS RÜZGAR TÜRBİNİ TASARIMI**

**MM4006 – BİTİRME PROJESİ**

**Oğuzhan KOÇ**  
**Muhammed Erkan GÜLER**  
**I. ÖĞRETİM**

**HAZİRAN 2021**

**TRABZON**

**T.C.**  
**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**  
**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**SİLİNDİRİK HELİSEL SAVONIUS RÜZGAR TÜRBİNİ TASARIMI**

**MM4006 – BİTİRME PROJESİ**

**Oğuzhan KOÇ**  
**Muhammed Erkan GÜLER**  
**I. ÖĞRETİM**

**Danışman: Prof. Dr. Yücel ÖZMEN**

**Danışman: Prof. Dr. Ertan BAYDAR**

**Bölüm Başkanı: Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU**

**HAZİRAN 2021**

**TRABZON**

## ÖNSÖZ

Günümüzde elektrik üretimi pek çok farklı şekilde yapılabilmektedir. Rüzgar gücü ile elektrik üretimi de bu dallardan bir tanesidir. Ülkemizde ve dünyada da bu alanla alakalı geçmişten günümüze pek çok çalışma yapılmıştır. Bitirme projemize de konu olan silindirik helisel savanious rüzgar türbini de bir çeşit rüzgar gücüyle elektrik üretimidir. Bu çalışmada da türbinin rüzgarın verdiği hareket enerjisiyle elektrik üretilip bir sokak lambası yakacak kadar güç edilmiştir.

Öncelikle bu çalışmamızda her zaman yanımızda olan ve desteğini esirgemeyen Makine Mühendisliği öğretim üyemiz Sayın Prof. Dr. Yücel ÖZMEN'e ve Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği mezunu Sayın Ali Furkan BEKCI' ye teşekkürlerimizi sunmaktayız.

Oğuzhan KOÇ

Muhammed Erkan GÜLER

Trabzon – 2021

## ÖZET

Bu proje çalışmasında, ürettiği elektrik enerjisiyle bir sokak lambasının aydınlatma ihtiyacını karşılayabilen, dikey rüzgar türbinlerinin bir çeşiti olan silindirik helisel savonius rüzgar türbini tasarımı yapılması amaçlanmıştır. Yapılan literatür çalışmaları dikkate alınarak bu projede, savonius dikey eksenli rüzgar türbininde farklı bir kanat tasarımı (kanat uzunluğu, kanat helisel açısı, kanat kalınlığı) kullanarak performans etkisi incelenerek daha düşük rüzgar hızlarında verim sağlayan kayıpları en aza indiren sistem belirlenmeye çalışılmıştır. Bu projenin amacı mahalle, sokak, park, bahçe gibi aydınlatma ihtiyacı olan bir çok yerde kullanılarak üretim kolaylığı olan, yakıt maliyeti olmayan, hava kirliliğini azaltan, enerji tasarrufu ve ülke ekonomisine katkı sağlayan bir sistem tasarlanmasıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Yenilenebilir enerji, silindirik helisel rüzgar türbini, Savonius, Performans

## **SUMMARY**

In this project study, it is aimed to design a cylindrical helical savonius wind turbine, which is a type of vertical wind turbines that can meet the lighting needs of a street lamp with the electricity it generates. Considering the literature studies, in this project, the performance effect of the savonius vertical axis wind turbine using a different blade design (blade length, blade helical angle, blade thickness) has been examined and the system that minimizes the losses at lower wind speeds has been tried to be determined. The aim of this project is to design a system that is easy to manufacture, has no fuel cost, reduces air pollution, and contributes to energy savings and the national economy by using it in many places that need lighting such as neighborhoods, streets, parks, gardens.

**Keywords:** Renewable energy, cylindrical helical wind turbine, Savonius, Performance

## İÇİNDEKİLER

	<u>SAYFA NO</u>
ÖNSÖZ.....	III
ÖZET.....	IV
SUMMARY.....	V
İÇİNDEKİLER.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	IX
SEMBOLLER ve KISALTMALAR.....	X
1.AMAÇ ve KAPSAM.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.1.1. Genel Bilgiler.....	1
1.1.2. Rüzgar Enerjisi.....	2
1.1.3. Rüzgar Türbinleri.....	2
1.1.4. Düşey Eksenli Rüzgar Türbinleri.....	2
1.1.5. Savonius Rüzgar Türbinleri.....	2
1.2. Literatür Taraması.....	4
1.3. Kısıtlar ve Koşullar.....	8
2. HAFTALIK ÇALIŞMA PROGRAMI.....	10
3.MÜHENDİSLİK HESAPLARI ve ANALİZLERİ.....	11
3.1. Yapılan Hesaplamalar.....	11
3.2. Yapılan Tasarım Çalışmaları.....	11
3.3.Güç Katsayısı Hesabı.....	12

3.3.1. Rüzgarın Gücüne ( $P_r$ ).....	13
3.3.2 Rüzgar Türbini Kanatları Tarafından Üretilen Faydalı Güç( $P_f$ ).....	13
3.3.3. Güç Katsayısı ( $C_p$ ).....	14
3.3.4. Ansys – Fluent Analizinden Elde Edilen Sonuçlar.....	14
4. ÇEVRESEL ETKİ DEĞERLENDİRMESİ.....	18
5. MALİYET HESAPLARI.....	19
6. SONUÇLAR.....	20
7.KAYNAKLAR.....	21
8.EKLER.....	23
ÖZGEÇMİŞ	

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>SAYFA NO</u>
Şekil 1.1. Savonius rüzgar çarkı.....	3
Şekil 1.2. Savonius Rüzgar Türbini.....	4
Şekil 3.1. Tasarlanan türbinin kanat profili.....	11
Şekil 3.2. Tasarlanan türbinin 3 boyutlu görüntüsü.....	12
ŞEKİL 3.3. Kesit-Hız Grafiği.....	14
ŞEKİL 3.4. Kesit- Hız Grafiği – 2.....	15
ŞEKİL 3.5. Rüzgar Akış Çizgileri.....	15
ŞEKİL 3.6. Eksenel Hız – Hacimsel Gösterim.....	16
ŞEKİL 3.7. X-Z Ekseninde Kesit-Hız Gösterimi.....	16
ŞEKİL 3.8. X-Y Ekseninde Kesit-Hız Gösterimi.....	17
ŞEKİL 3.9. Y-Z Ekseninde Kesit Hız Gösterimi.....	17
Şekil 8.1. Türbin Tasarımı Ön Görünüş.....	23
Şekil 8.2. Türbin Tasarımı Üst Görünüş.....	24
Şekil 8.3. Türbin Tasarımı Perspektif Görünüş.....	25
Şekil 8.4. Türbin Montajı Önden Görünüş.....	26
Şekil 8.5. Türbin Montajı Üstten Görünüş.....	27
Şekil 8.6. Türbin Tasarımı Perspektif Görünüş.....	28



## **TABLULAR DİZİNİ**

Tablo 1. Haftalık çalışma programı.....	10
Tablo 2. Sistemin maliyet tablosu.....	19

## SEMBOLLER ve KISALTMALAR

$C_p$	Güç katsayısı
$P_f$	Faydalı çıkış gücü(J/s)
$P_r$	Rüzgar gücü(J/s)
$\rho$	Havanın yoğunluğu ( $kg/m^3$ )
A	Süpürme alanı $m^2$
$V_r$	Havanın hızı (m/s)
H	Türbin uzunluğu (m)
D	Türbin çapı(m)
$P_f$	Rüzgar türbininin kanatları tarafından üretilen faydalı gücün (Watt)
$M_d$	Döndürme momenti(Nm)
$\omega$	Açısal hız (rad/s)
n	Devir sayısı(d/dk)

## 1. AMAÇ VE KAPSAM

### 1.1. Giriş

#### 1.1.1. Genel Bilgiler

Bir maddenin veya maddeler sisteminin iş yapabilme kabiliyetine kısaca enerji denir. Enerji geçmişte günümüze biz insanların yaşamını devam ettirebilmeleri için en temel kaynaklardan biri olmuştur. Gelişen teknoloji, sanayileşme ve artan insan nüfusu ile birlikte enerjiye ihtiyaç daha fazla olmuştur. Yer altında depolanmış ve sınırlı sayıda olan yenilenemez enerji kaynakları olarak adlandırılan fosil yakıtlar yakın gelecekte tükenme tehlikesinin yanında devamlı olarak çevreyi ve atmosferi kirletmekte, zararlı emisyonların salınımını yapmakta ve radyasyon salgılamaktadır. Fosil yakıtların kullanılması ile birlikte sera etkisi(küresel ısınma), asit yağmurları, ozon tabakasının delinmesi, dumanlı sis oluşumu gibi sorunlarla karşılaşmıştır.

Olumsuz nedenlerden dolayı güneş var olduğu sürece var olacak sınırsız enerji kaynaklarına sahip, çevre ile dost yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının türleri güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerji, deniz ve okyanuslardaki enerji, biokütle gibi gruplara ayrılabilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının fosil yakıtlara göre bazı avantaj ve dezavantajları vardır. Bunlar maddeler şeklinde sıralanabilir:

- Fosil yakıtların sınırlı sayıda rezervleri varken, yenilenebilir enerji kaynakları sınırsızdır.
- Fosil yakıtlar zararlı emisyonlarından dolayı çevreye zarar verir, yenilenebilir enerji kaynakları çevre dostudur.
- Fosil yakıtları üretmek için kurulan tesisler fazla yer kaplarken, yenilenebilir enerji tesisleri fazla yer kaplamazlar ve insanların yaşadıkları yerlerde enerji üretebilirler.
- Yenilenebilir enerji kaynakları için kurulan tesislerin ilk kurulum maliyeti yüksektir.
- Yenilenebilir enerji kaynaklarında enerji üretimi devamlı olmaz ve depolama sistemi ile birlikte kurulumları gerçekleştirilir.

### **1.1.2. Rüzgar Enerjisi**

Rüzgar enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında zararlı emisyonlarının az, bol ve temiz olması nedeniyle değerli bir yere sahiptir. Milattan sonra (MS) VI. – VII.' dan günümüze kadar bu temiz enerji kaynağından faydalanılmıştır. Rüzgar enerjiden elde edilen verimin günden güne artması, üretimi esnasında zararlı emisyon salınımının az olması ve üretilen enerjinin maliyetinin günden güne azalması dolayısıyla rüzgar enerjisine olan rağbet artmıştır. Bu enerjiden elektrik enerjisi üretmek için rüzgar türbinleri kullanılmaktadır.

### **1.1.3. Rüzgar Türbinleri**

Rüzgar türbinleri, rüzgarın hareketleri sonucunda oluşan kinetik enerjiyi, önce mekanik enerjiye, daha sonra ise elektrik enerjisine dönüştürmeye yarayan makinalardır. Rüzgar türbinlerini geliştirmek, daha fazla verim elde etmek, maliyetlerini düşürmek için çalışmalar tasarlanmış, kullanılmış ve halen günümüzde de tasarlanıp, kullanılmaya devam edilmektedir.

Rüzgar türbinlerinin sınıfları maddeler şeklinde sıralanabilir:

1. Yatay eksenli rüzgar türbinleri (HAWT)
2. Düşey eksenli rüzgar türbinleri (VAWT)
3. Eğik eksenli rüzgar türbinleri (Wagner RT)

### **1.1.4. Düşey Eksenli Rüzgar Türbinleri**

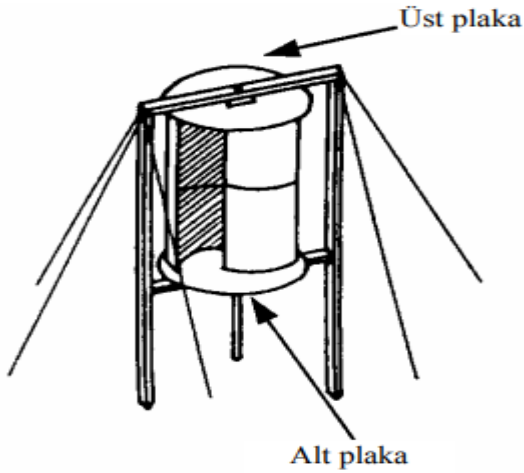
Düşey eksenli türbin uygulamaları için genellikle Savonius ve Darrieus tipi türbinler yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Bu tip rüzgar türbinlerinin dönme yönü, rüzgar yönüne dik gelecek şekilde ayarlanmıştır. Pervaneleri de dikey konumdadır. Ayrıca, elektronik ve elektro-mekanik parçaları yerde bulunduğu için bakımı son derece kolay ve maliyetsizdir.

### **1.1.5. Savonius Rüzgar Türbinleri**

Mühendislik tasarımı dersi kapsamında yaptığımız bu çalışmamızda bir silindirik helisel savonius rüzgar türbini tasarımı yapacağız. İyi bir şekilde tasarlanıldığı zaman her yönden rüzgarı rahat bir şekilde alabilir ve bu sayede de yatay eksenli rüzgar türbinlerinde bulunan türbin yönünü rüzgarın geldiği yöne göre ayarlayan yaw sisteminin

kullanılmasına gerek kalmaz. Nisbeten diğer rüzgar türbinlerine göre tasarımını yapmak basit ve daha ekonomiktir. Basit yapılı oldukları için yatay eksenli rüzgar türbinleri gibi jeneratörü ve şanzımanı yerden yüksekde değil zemin seviyesindedir bu sayede de bakım ve onarımları daha kolaydır. Aynı zamanda düşey eksenli rüzgar türbinlerinin yere yakın oldukları için türbinlere gelen rüzgar daha düşük seviyelerdedir, verimleri daha düşüktür, sistem durur vaziyette iken kendi kendine çalışmaz bu işlem için ek donanımlar gereklidir

Savonius rüzgar çarkı, iki yatay disk arasına yerleştirilmiş ve merkezleri birbirlerine göre simetrik olarak kaydırılmış kanat adı verilen iki yarım silindirden oluşur. Çarkın çalışma prensibi, basit olarak şu şekilde açıklanabilir; belirli bir hızla gelen rüzgar, çarkı oluşturan silindirin içbükey kanadı üzerinde pozitif ve dışbükey kanadı üzerinde negatif bir moment oluşturmaktadır. Silindirin içbükey kanadında oluşan momentin dışbükey kanat üzerinde oluşan momentten daha büyük olmasından dolayı, bir dönme hareketi sağlanmaktadır. Savonius rüzgar çarklarının kanat yapımında malzeme olarak sac levha, plastik levha ve kompozit malzeme kullanılabilir. Taşıyıcı kule ise çelik profil veya ahşap konstrüksiyon olabilir. Şekil 1.1'de Savonius rüzgar çarkının basit bir şekli gösterilmiştir.[6]



**Şekil 1.1.** Savonius rüzgar çarkı

Helisel Savonius rüzgar türbinlerinin iki kanadının hem içbükey hem de dışbükey tarafı şekil 1.2'de gösterildiği gibi rüzgâra bakmaktadır. Savonius rüzgar türbinlerinin rotorunun temel itici gücü sürüklenme kuvvetidir. İçbükey bir yüzeyin sürüklenme katsayısı dışbükey yüzeyden daha fazladır. Dolayısıyla, içbükey tarafı rüzgâra bakan

kanat diğer kanattan daha fazla sürüklenme kuvveti sağlayacak ve böylece rotoru dönmeye zorlayacaktır. Savonius rüzgar türbinlerinin kanatlarına verilen helis açısı dönme sırasında oluşan tork dalgalanmalarını düzeltmek için kullanılabilir.[1]



**Şekil 1.2.** Savonius Rüzgar Türbini

SRT'lerin imalatında genellikle sac veya plastik levha ya da kompozit içerikli malzemeler tercih edilebilir. Son yıllarda gelişen 3B yazıcı ile üretim teknolojisi de önemli bir alternatif haline gelmiştir.[5] Sürüklenme kuvveti ile çalışan SRT'ler nispeten daha düşük güç katsayısına sahiptir. Bununla birlikte, bazı geliştirmeler ile güç katsayısının 0,40'lara kadar çıktığı belirlenmiştir. SRT'ler yüksek sağlamlığa ve dolayısıyla yüksek başlangıç torkuna sahiptir.[1] [6]

## **1.2. Literatür Taraması**

Savonius rüzgar çarkı; düşey eksenli bir rüzgar çarkı olup, 1925 yılında Finlandiya'lı bir mühendis olan Sigurd Savonius tarafından keşfedilmiştir (Ushiyama ve Nagai 1988).[6]

Blackwell, Sheldahl ve Feltz (1977); Savonius tipi rüzgar türbininin 15 farklı konfigürasyonunu aerodinamik performanslarını belirlemek için düşük hızlı bir rüzgar tüneline test edilmiştir. Bu çalışmanın sonunda görülmüştür ki iki kanatlı yapılar üç kanatlı yapılara göre başlangıç torku haricinde daha iyi aerodinamik performanslara sahiptir. Reynolds sayısının artması ile birlikte aerodinamik performanslar iyileşmiştir. Yükseklik ve çap oranı arttıkça türbin performansı biraz daha artmıştır. Kanatlar arasında

oluşan boşluğun çapa oranının 0,1 ile 0,15 aralığında optimum performans sağladığı görülmektedir.

Ushiyama, Mino ve Nagai (1982); Savonius tipi rüzgar türbinlerinin optimum kanat tasarımları ile ilgili yaptığı deneysel çalışmalarda kanat en boy oranı, kanat çakışması, kanat ayırma boşluğu, rotor kanadı kesitinin profili ve yönetme kanadı gibi değişkenleri test edilerek basit Savonius rotor güç katsayısı değerini 0,15-0,20 değerlerinden optimum kanat konfigürasyonları ve uygun yönetme kanadı ile güç katsayısı değerini 0,34 değerlerine kadar çıkarmayı başarmışlardır.

Modi vd. (1990); Rüzgar enerjisinin sulama sisteminde kullanılmasını esas alarak yaptıkları Savonius rüzgar çarkı dizaynını, nümerik ve deneysel olarak yaptıkları çalışma ile incelemişlerdir.[6]

Ushiyama ve Nagai (1988); Çalışmalarını Savonius rüzgar çarklarının optimum tasarım biçimleri ve performansları üzerine yaparak, optimum şekilleri belirlemek için çeşitli modelleri rüzgar tüneline denemişlerdir. Rotorun uç levhalarının olup olmasını, kepçe sayısını göz önüne alarak, akış ayrılması ile rotor etrafındaki akışı inceleyerek en yüksek güç ve momenti veren çark modelini belirlemişlerdir.[6]

Fujisawa ve Taguchi (1993), dönen ve sabit bir Savonius rüzgar çarkının içinde ve etrafındaki faz ortalamalı hız dağılımlarını koşullu örnekleme tekniği ile bir partikül görüntüleme hız ölçeri ile saptayarak, sonuçları kızgın tel dağılım resmi ile karşılaştırmışlardır. Hareketli kanadın konveks tarafındaki hız yayılımının gelişimi, akış ayrımı ile hareketli kanat üzerindeki akış yoğunlaşması etkisinin varlığını inceleyerek, kanat akış mekanizması üzerinde uç hız oranının etkisini tartışmışlardır.[6]

Yiğit(1998); Bu çalışmada optimizasyon çalışmasında maksimum verime ve güç katsayısına en uygun tasarım belirlenmiştir. En iyi verim kanat açıklık oranının 0,848 ve örtüşme oranının 0,068 olduğu durumda elde edilmiştir.

Menet(2004); Bu çalışmada Savonius rotorlarının aerodinamik davranışını belirlemek için için iki yöntem kullanmıştır. İlk olarak ana etkili geometrik parametreleri tanımlayarak kaynakçasal çalışılmış ikinci olarak sayısal simülasyon ile aerodinamik davranış tahmin edilmiştir.

Saha ve Rajkumar(2006); Bu çalışmada geleneksel ve helisel Savonius rüzgar türbinlerini deneysel olarak karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak helisel Savonius rüzgar türbini daha verimli olmuş, daha düzgün çalışmış ve hareketsiz durumdan hareketli duruma geçme yeteneği daha kuvvetli olduğu görülmüştür.

Deda (2006); Perdeleme yöntemi ile Savonius rüzgar çarklarının performansını hem deneysel hemde sayısal olarak incelenmiştir. Çarkın benzer konumları için çark hareket etmiyorken perdeli durumun perdesiz duruma göre daha iyi performans sağladığı ve uzun perde kullanılmasının kısa perde kullanımına göre daha verimli olduğu neticeleri alınmıştır. Hareketin olmadığı durum için perdeli ve perdesiz durumda yapılan deneylerin güç katsayıları karşılaştırılmış ve perdeli durumun perdesiz duruma göre neredeyse 2,4 kat daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Deneysel olarak yapılan çalışmalarda ise perdeli Savonius rüzgar çarklarının düşük hızlarda daha performanslı olabileceği sonucuna varılmıştır. Deda'ya göre perdeli Savonius tipi türbinlerin tek dezavantajı klasiklerin rüzgarı her taraftan alabilmesi iken perdelilerin muhakkak rüzgara doğru döndürülmesidir. Bunun için ise sisteme bir yönlendirme dümeni veya bir algılayıcı sensör monte edilmesini önermiştir.

Kılıç(2009); Bu çalışmada sarmal( helezonik) kanat modeli tasarlanılıp diğer Savonius kanat tipleri ile karşılaştırılmıştır. Kanat malzemesi, kanatların daha hafif olması istendiği için bakalit fiber malzemesinden yapılmıştır. Hem malzemenin sac, ahşap gibi malzeme yerine bakalit fiber malzeme kullanılması hemde kanat tasarımının klasik tipli Savonius rüzgar türbini kanatlarından farklı tasarlanması nedeniyle kanat dönüş esnasındaki ivmelenme en aza indirilmiş, harekete geçmesi için gereken rüzgar hızı daha da azalmış ve hava türbülansları en aza indirilmiştir.

Mahmoud, El-Haroun, Wahba ve Nased(2012); Bu çalışmada Savoinus rüzgar türbinlerinin optimum geometrilerini belirlemek için çeşitli parametreleri değiştirerek deneysel olarak çalışılmıştır. Deney sonucunda 2 kanatlı rotorun 3 ve 4 kanatlı rotora göre daha verimli olduğu, uç plakalı rotorun uç plakasız rotora göre daha yüksek verimlilik sağladığı, iki katlı rotun tek katlı rotora göre daha yüksek performans gösterdiği ve en-boy oranındaki artışla güç katsayısında arttığı sonuçlarına ulaşılmıştır.

Roy ve Saha(2013); Bu çalışmada deneysel olarak en-boy oranının Savonius rüzgar türbinlerinin performansına etkisi araştırılmıştır. Rüzgar hızlarının 5 ile 10 m/s hızları



arasında değiştiği bir deney dzenenęinde farklı rüzgar hızlarına göre elektrik yükleri verilmiş ve güç çıkışı akım ile voltaj cinsinden hesaplanmıştır. En verimli ve en performanslı durum için rotor en-boy oranı 0,80 olarak bulunmuştur.

Wenebenubun, Saputra ve Sutanto(2014); Bu çalışmada kanat sayısının Savonius rüzgar türbinine etkisi hem deneysel olarak incelenmiş hem de ANSYA 13.0 kullanılarak bazı sonuçlar bulunmuştur. Çalışma kapsamında kanat sayısının türbinlerin performansına etki edeceği, üç kanatlı türbinin iki ve dört kanatlı türbine göre daha yüksek dönüş hızı ve uç hızı ürettiği, dört kanatlı türbin rotorunun iki ve üç kanatlı türbin rotoruna göre daha yüksek torka sahip olduğu ve üç kanatlı türbinin yüksek hızlarda yüksek uç hız oranında daha iyi performans sergilediği sonuçlarına ulaşılmıştır.

Rosmin, Jauhari, Mustaal, Husin, ve Hassan(2014) ; Bu çalışma elektrik üretmek amacıyla başarıyla tasarlanılmış ve inşa edilmiştir. Tek katlı ve iki katlı Savonius rüzgar türbinlerini karşılaştırdıkları zaman tek katlı türbinin iki katlı türbine göre daha iyi performans sergilediği ve iki kat daha fazla güç üretebildiği görülmüştür.

Yalçın (2017); Yaptığı çalışmada Savonius türbin ve jeneratör tasarlayarak kanatlarda galvaniz ya da kopozit malzemelerin kullanılmasını türbin verimini arttırdığını jeneratörde klasik dairesel sargılar yerine çok katlı torodial şekilli sargılar kullanılmasının performansı arttırdığını gözlemlemiştir.[11]

Gül(2018); Bu çalışma deneysel olarak yapılmış daha sonra elde edilen değerler sayısal çözümleme ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada Savonius rüzgar türbini kanadının verimi dış bükey kanat üzerinde meydana gelen negatif yükün tesirini azaltarak arttırılmıştır. Hareketsiz durumda iken yarı parça kanatlı modelin harekete geçmesi için parça kanat modeline göre daha fazla rüzgar hızına ihtiyaç duyduğu gözlemlenmiştir. Parça kanat modelinin hem klasik kanat modelinden hem de yarı parça kanat modelinden daha fazla güç katsayısına sahip olduğu belirlenmiştir.

Sert (2019); Bu çalışmada Savonius rüzgar türbinlerinin verimini ve performansını arttırmak için farklı kanat tasarımları yapılarak Ansys Fluent programında çözümlenmeler yapılmıştır. Bu çalışmanın sonunda çokda karmaşık olmayan kanat tasarımları ile statik tork performansının iyileşebileceği kanaatine varılmıştır.

Şengül(2020); Bu çalışmada, klasik Savonius rüzgar türbinin uç profilinin geliştirilerek üretilen gücün artışı amaçlanmıştır. Sonuçların doğruluğunu kanıtlamak amacıyla sayısal

analizle elde edilmiş sonuçları olan klasik Savonius rüzgar türbini, Islam ve diğ. (1993) ve Sawada (1986) tarafından klasik Savonius rüzgar türbini için yapılan deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Yapılan sayısal hesaplamalar ile elde edilen sonuçlar Islam ve diğ. (1993) ve Sawada (1986)'nın deneysel sonuçları ile büyük uyum göstermektedir. Böylelikle yeni uç profili ile geliştirilen Savonius rüzgar çarkları için yapılan sayısal analizler doğruluk kazanmıştır.[15]

Gencer(2020); Bu çalışmada Savonius rüzgar türbinin performansı hem deneysel hem sayısal olarak incelenmiştir. Helisel silindirik ve konik geometrideki türbinleri karşılaştırdığı zaman kanat sayının 2'den 3'e çıkarılması ile konik geometrideki türbinin devir sayısının daha fazla arttığını belirlemiştir. 2,3 ve 4 kanatlı helisel silindirik ve konik türbinleri incelediğinde ise helisel silindirik rüzgar türbininin devir sayısının konik geometrideki rüzgar türbinine göre daha fazla devir sayısına sahip olduğunu tesbit etmiştir. Yüksek ve düşük hızlarda silindirik geometriye sahip Savonius rüzgar türbinleri konik geometrideki Savonius rüzgar türbinlerine göre daha iyi performans göstermiştir. Kanatlarına çap oranı 1 olan dairesel uç plakalar eklenerek geliştirilmiş silindirik Savonius rüzgar türbinlerinin güç katsayısının ( $C_p$ ), referans geometri olan geleneksel Savonius rüzgar türbinlerinin güç katsayısından daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Şimşek(2020); Bu çalışmada farklı kanat tiplerindeki Savonius tipi kanat profilleri hem deneysel hem sayısal olarak karşılaştırılmıştır. Klasik Savonius rüzgar türbinleri karşılaştırıldığı zaman en yüksek güç katsayısı değerini 3 kanatlı modelde olduğu gözlemlenmiştir. Helisel Savonius rüzgar türbinleri karşılaştırıldığında ise en yüksek güç katsayısı değerinin 3 kanatlı modelde olduğu gözlemlenmiştir. Helisel tipli kanat ile klasik kanat modelleri karşılaştırıldığı zaman ise helisel tipli kanat modelinin daha yüksek çalışma hızlarında enerji üretebildiği ve bunu saklayabildiği neticesine ulaşılmıştır.

### **1.3. Kısıtlar ve Koşullar**

Tasarımımızın en fazla enerjiyi üretmesi amacıyla mümkün olan en büyük boyutlarda olması amaçlanmıştır. Fakat test yapılması planlanan KTÜ Makine Mühendisliği bölümü laboratuvarlarında bulunan rüzgâr tüneli boyutları (457 mm genişlik X 457 mm derinlik X 1000 mm yükseklik) ve tasarımın üretileceği KTÜ Makine Mühendisliği Laboratuvarlarında bulunan 3D yazıcı boyutları (200 mm X 200 mm X 200 mm) gibi kısıtlardan dolayı tasarımımız 200mm X 200mm X 200mm boyutlarından küçük olacak

şekilde 176 mm çap ve 176 mm yükseklikte tasarlanmıştır. Üretilcek türbinin malzemesi türbin 3D yazıcı ile üretileceğinden 3D yazıcılarda kullanılabilen ABS, PLA vb. malzemeler kullanılabilir.

## 2. HAFTALIK ÇALIŞMA PROGRAMI

Tasarımda izlenen haftalık çalışma programı Tablo 1' de verildiği gibidir.

YAPILAN ÇALIŞMALAR	1.ay				2.ay				3.ay				4.ay			
	1.03.2021	8.03.2021	15.03.2021	22.03.2021	29.03.2021	5.04.2021	12.04.2021	19.04.2021	26.04.2021	3.05.2021	10.05.2021	17.05.2021	24.05.2021	31.05.2021	7.06.2021	14.06.2021
	1.hafta	2.hafta	3.hafta	4.hafta	1.hafta	2.hafta	3.hafta	4.hafta	1.hafta	2.hafta	3.hafta	4.hafta	1.hafta	2.hafta	3.hafta	4.hafta
Literatür taraması																
Kısıt ve koşulların belirlenmesi																
Sistem tasarım çalışması																
Sistem bileşenlerinin araştırılması																
Mühendislik hesaplarının yapılması																
Türbin üretim süreci																
Sistem üretim süreci																
Maliyet hesabı																
Rapor yazımı																

**Tablo 1:** Haftalık çalışma programı.

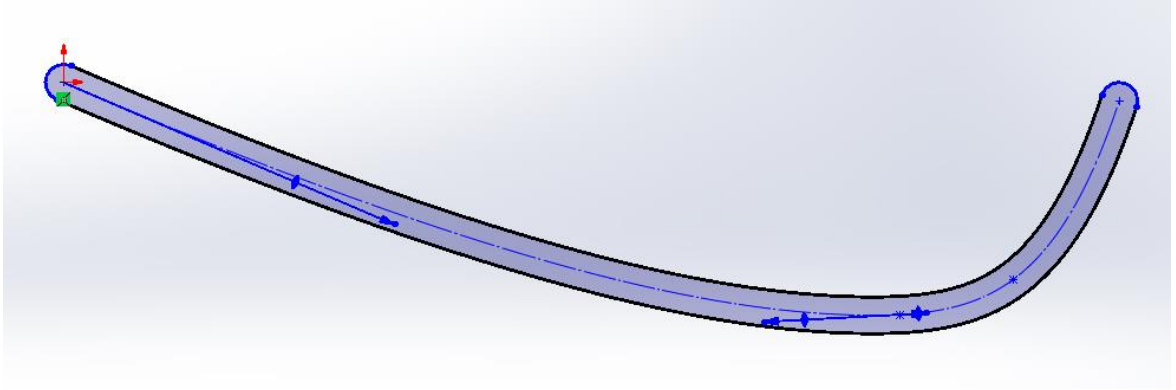
### 3.MÜHENDİSLİK HESAPLARI ve ANALİZLERİ

#### 3.1. Yapılan Hesaplamalar

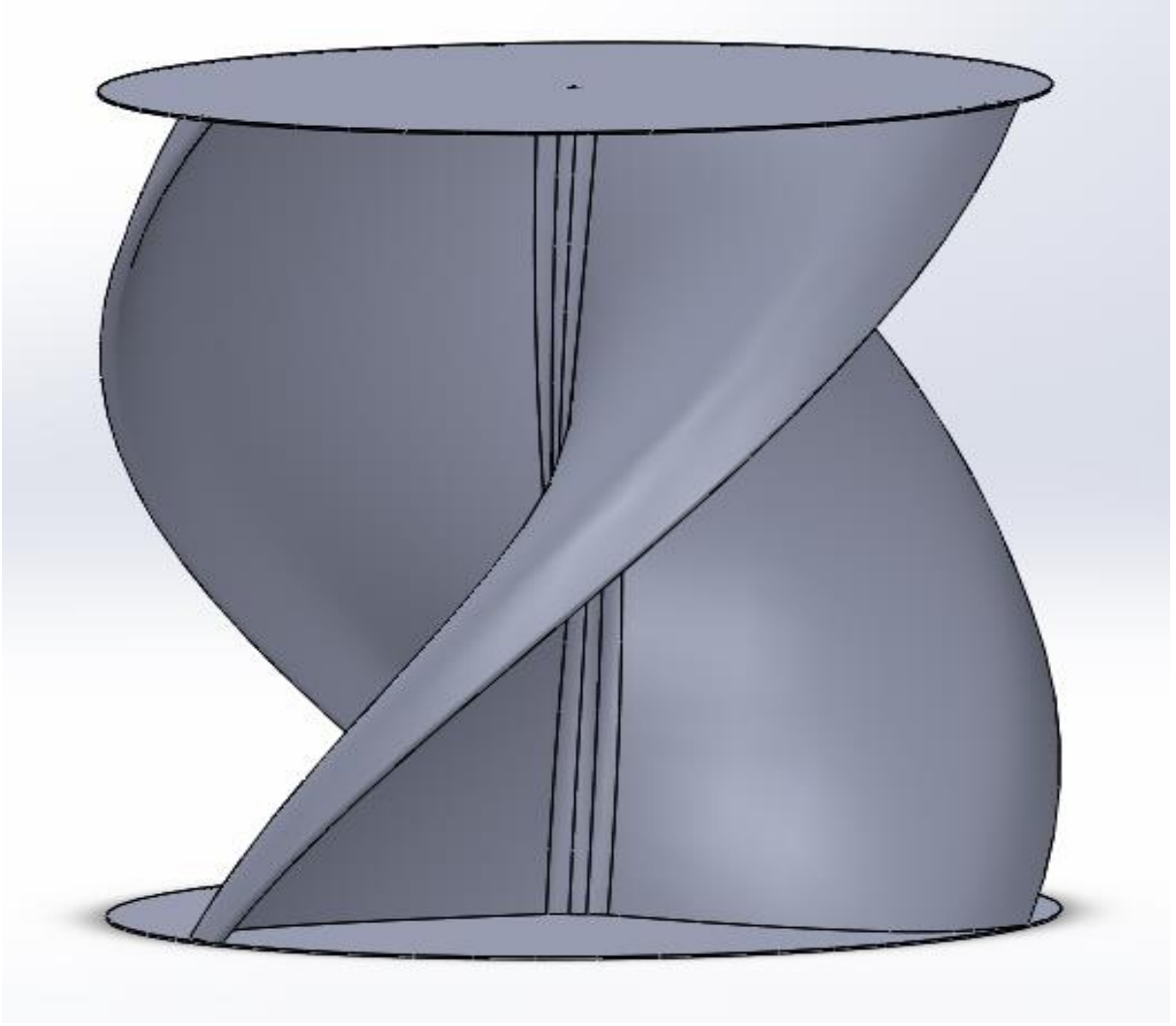
Tasarımımıza konu olan Savonius rüzgâr türbinlerini tasarımı esnasında mühendislik hesaplarına literatür taraması sonucunda ulaşılmış ve tasarım esnasında bulunan hesaplardan faydalanılarak verimi en yüksek olarak belirlenen türbin özelliklerinde farklı bir tasarım yapılmıştır. Bu özelliklere çap oranının 1 alınması ve kanat sayısının 3 alınması örnek verilebilir [5]. Bu projeye konu olan tasarımımızda kanat helis açısı  $120^\circ$  olarak belirlenmiştir.

#### 3.2. Yapılan Tasarım Çalışmaları

Çalışmamızın tasarım aşamasında SolidWorks programından faydalanılmıştır. Programın parça modülünde Şekil 3.1.'de gösterildiği şekilde oluşturulan profil  $120^\circ$  'lik helisel açıyla oluşturulan 3 adet kanat ve bu kanatları altında ve üstünde bulunan 1 çap oranıyla oluşturulmuş uç plakalar tasarlanmıştır. Tasarlanan türbinin 3 boyutlu görüntüsü Şekil 3.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Tasarlanan türbinin kanat profili.



Şekil 3.2. Tasarlanan türbinin 3 boyutlu görüntüsü.

### 3.3. Güç Katsayısı Hesabı

Rüzgar türbininin önemli tasarım parametrelerinden biri olarak kabul edilen güç katsayısı ( $C_p$ ), rüzgar türbininin kanatları tarafından üretilen faydalı gücün ( $P_f$ ), rüzgarın gücüne ( $P_r$ ), olan oranı olarak ifade edilir. Güç katsayısı lineer momentum teorisine göre 0,59 değerini aşmamaktadır ve bu değer Betz limiti olarak bilinmektedir. Güç katsayısı denklemi aşağıda verilmiştir.

Güç katsayısı  $C_p$ ;

$$C_p = \frac{P_f}{P_r} = \frac{\text{Faydalı Çıkış Gücü}}{\text{Rüzgar Gücü}} \dots (1)$$

Burada;  $C_p$  güç katsayısı,  $P_f$  rüzgar türbininin ürettiği faydalı güç(J/s),  $P_r$  rüzgar gücü(J/s) olarak ifade edilir.

### 3.3.1. Rüzgarın Gücüne ( $P_r$ )

$$P_r = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V_r^3 \text{ (Watt) ... (2)}$$

Burada;  $\rho$  havanın yoğunluğu ( $kg/m^3$ ), A rüzgar türbininin bir turdaki süpürme alanı ( $m^2$ ) ve  $V_r$  havanın hızı ( $m/s$ ) olarak ifade edilir.

2 numaralı denklemde veriler yerine yazılırsa;

$$P_r = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V_r^3 \text{ (Watt)}$$

$$\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$$

$$A = H * D \quad A = 0,030976 \text{ m}^2$$

$$H = 0,176 \text{ m}$$

$$D = 0,176 \text{ m}$$

$$V_r = 12 \text{ m/s ( ortalama rüzgar hızı )}$$

$$P_r = \frac{1}{2} \cdot 1,225 \cdot 0,030976 \cdot 12^3$$

$P_r = 32,785 \text{ Watt}$  olarak bulunur.

### 3.3.2 Rüzgar Türbininin Kanatları Tarafından Üretilen Faydalı Gücün ( $P_f$ )

$$P_f = M_d \cdot \omega \text{ ... (3)}$$

Burada;  $M_d$  döndürme momenti (Nm) ve  $\omega$  açısal hız (rad/s) olarak ifade edilir.

3 numaralı denklemde veriler yerine yazılırsa;

Açısal hız;

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \left( \frac{rad}{s} \right) \text{ ... (4)}$$

$n = 200 \text{ d/dk}$  olarak belirlendi.

$M_d = 0,45938851 \text{ Nm}$  olarak Ansys Fluent analizinden hesaplandı.

$$\omega = (3,14 * 200) / 30$$

$$\omega = 20,9439 \text{ rad/ s}$$

$$P_f = 0,45938851 * 20,9439$$

$P_f = 9,62 \text{ Watt}$  olarak bulunur.

Tasarlanan rüzgar türbinin led lamba yakabilmesi için gerekli güç 5 Watt'tır. Çarktan elde edilebilecek faydalı güç 9,62 Watt olduğundan dolayı tasarım uygundur.

### 3.3.3. Güç Katsayısı ( $C_p$ )

1 numaralı denklemde veriler yerine yazılırsa;

$$C_p = \frac{P_f}{P_r} = \frac{\text{Faydalı Çıkış Gücü}}{\text{Rüzgar Gücü}}$$

$$C_p = 9,6214/32,785$$

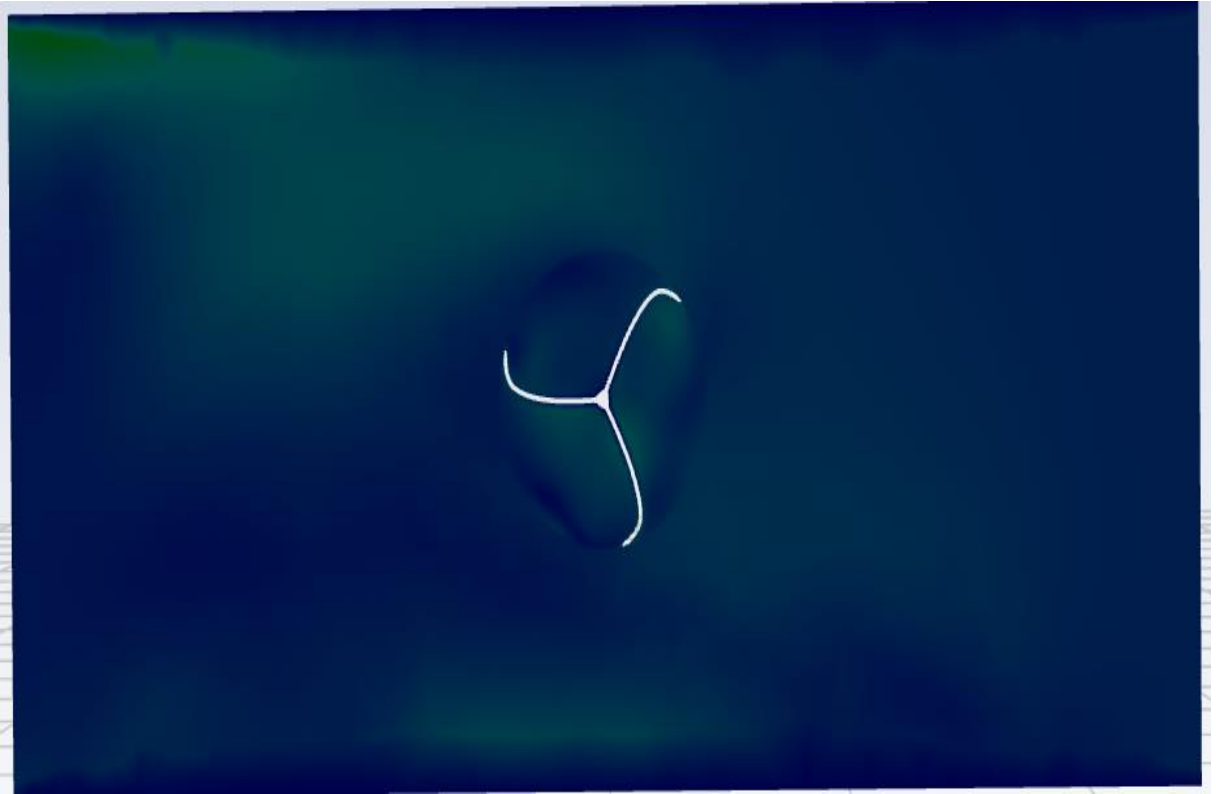
$C_p = 0,2934$  olarak bulunur.

$$\frac{P_{r_{max}}}{T} = \frac{\frac{8}{27} \cdot \rho \cdot A_T \cdot V_1^3}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_T \cdot V_1^3} = \frac{16}{27} = 0,5926 \quad \text{BETZ LİMİTİ}$$

0,2934 < 0,5926 olduğundan dolayı Betz limitine uygundur.

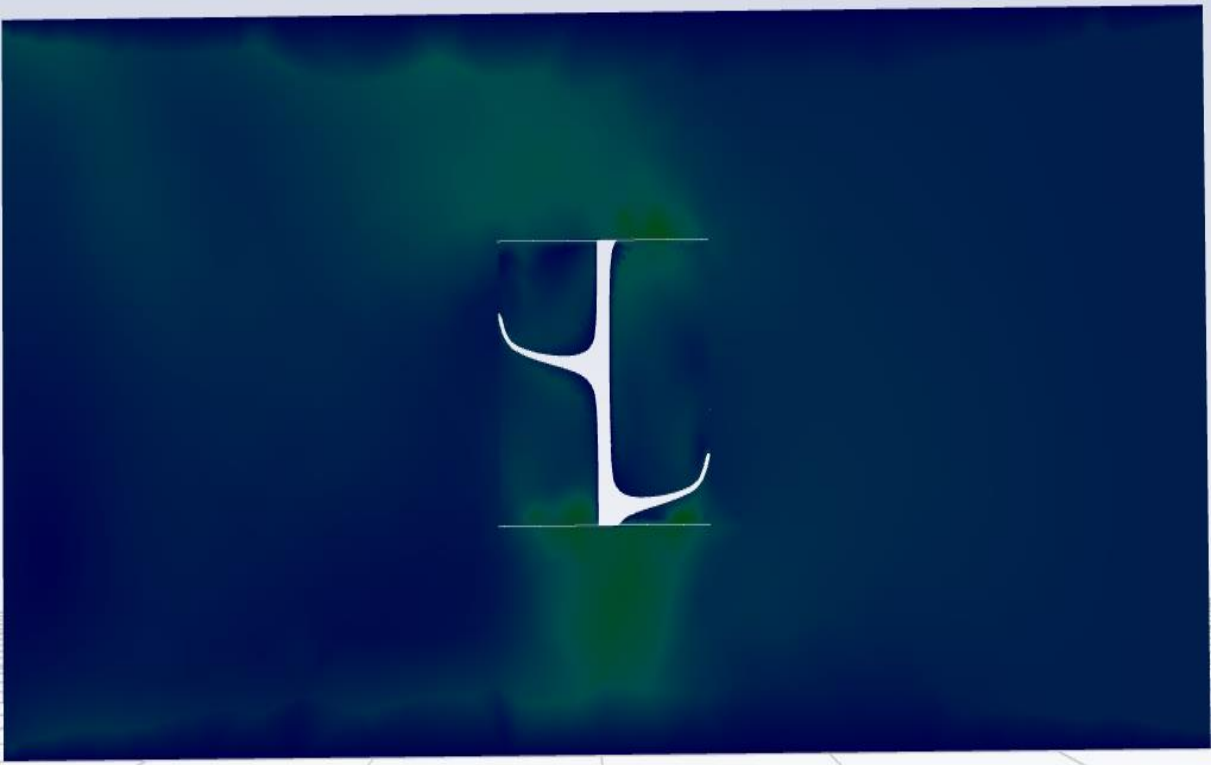
Ansys – Fluent analizinden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

### 3.3.4. Ansys – Fluent Analizinden Elde Edilen Sonuçlar

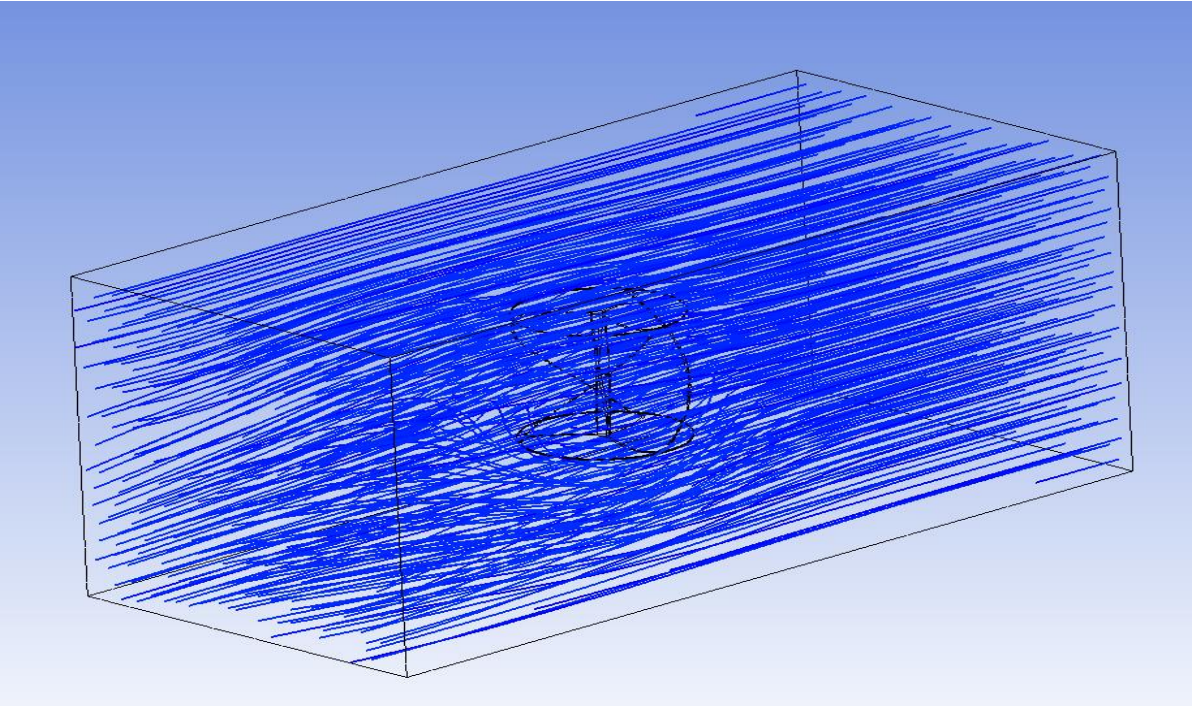


ŞEKİL 3.3. KESİT-HIZ GRAFİĞİ

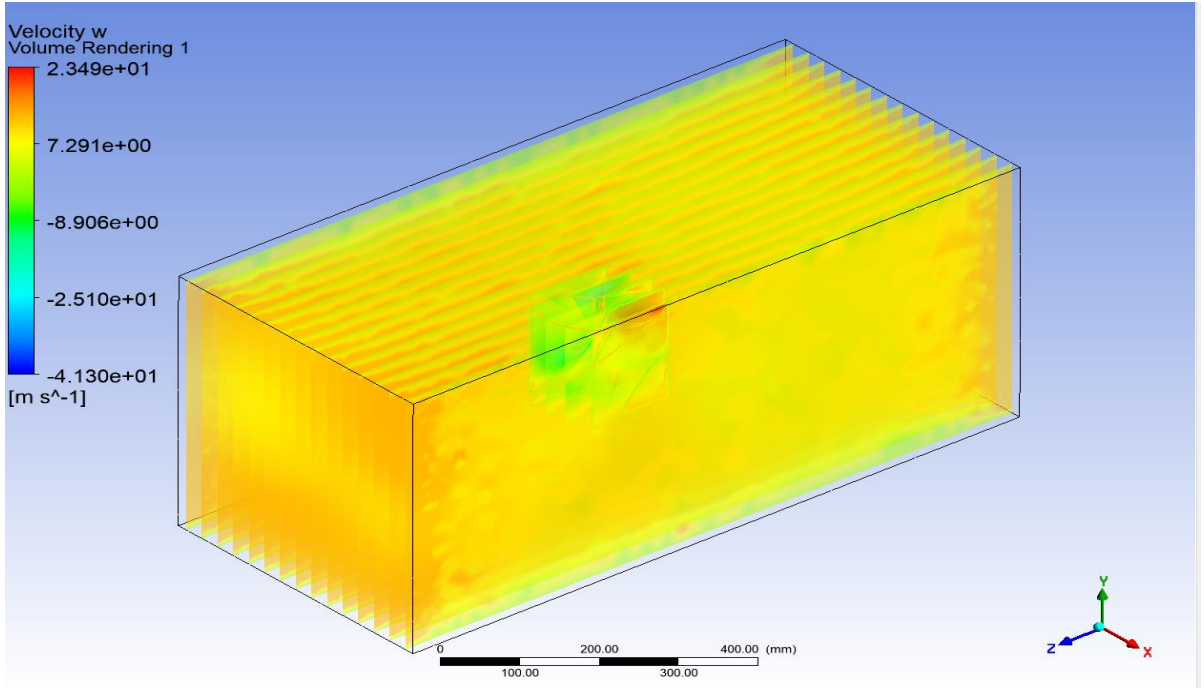




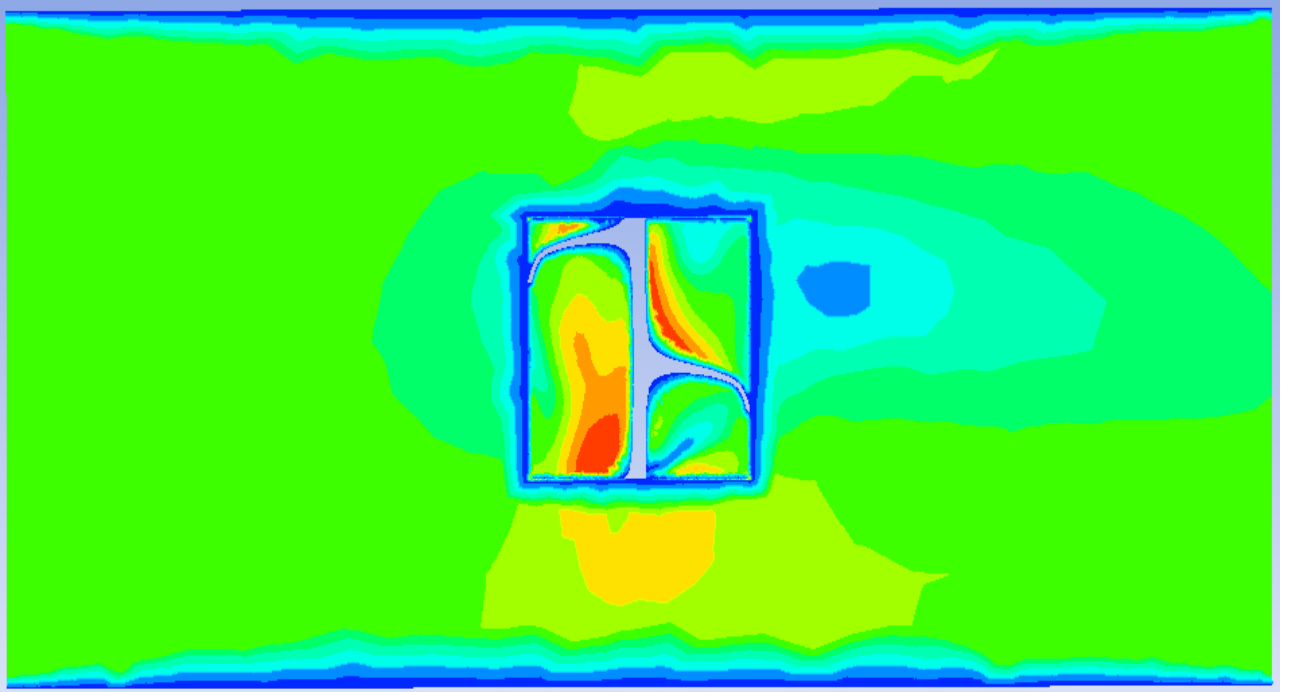
**ŞEKİL 3.4. KESİT- HIZ GRAFİĞİ – 2**



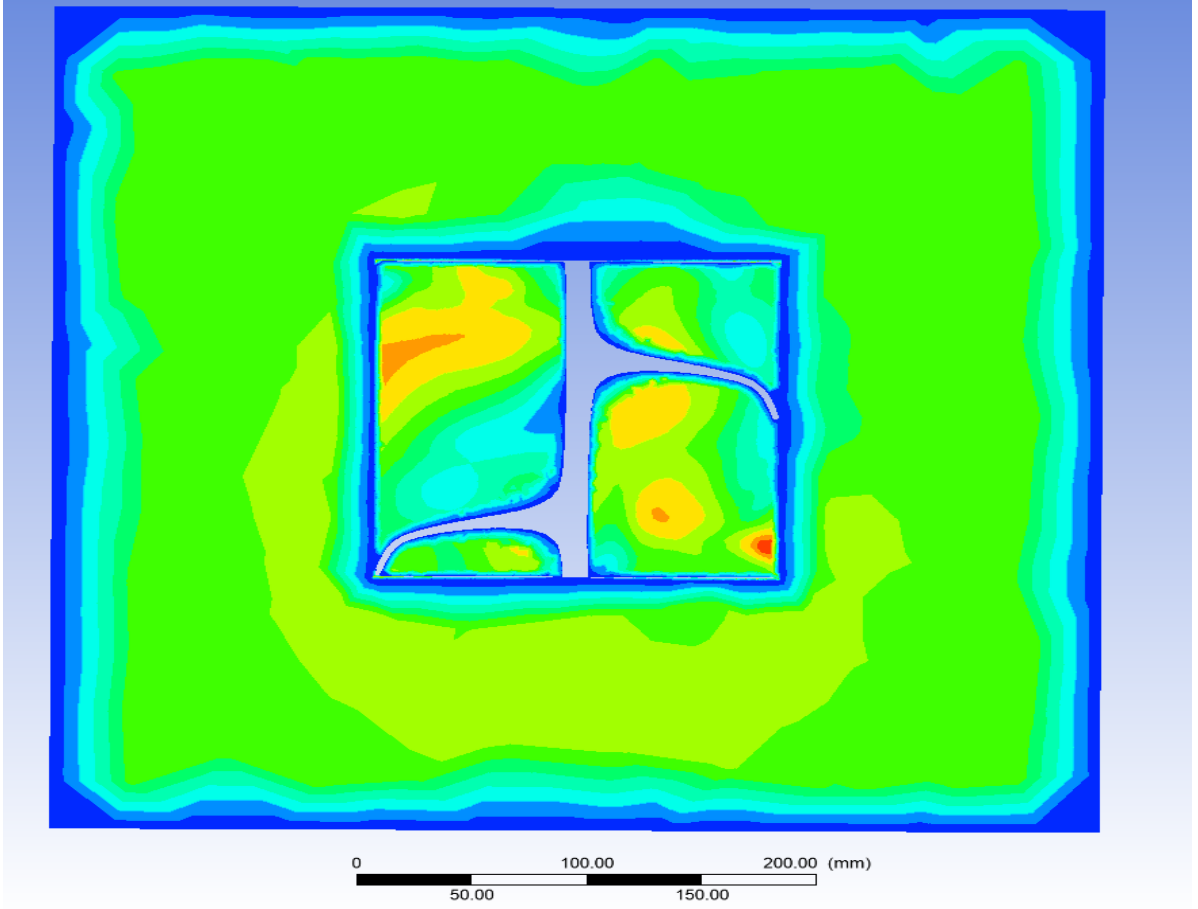
**ŞEKİL 3.5. RÜZGAR AKIŞ ÇİZGİLERİ**



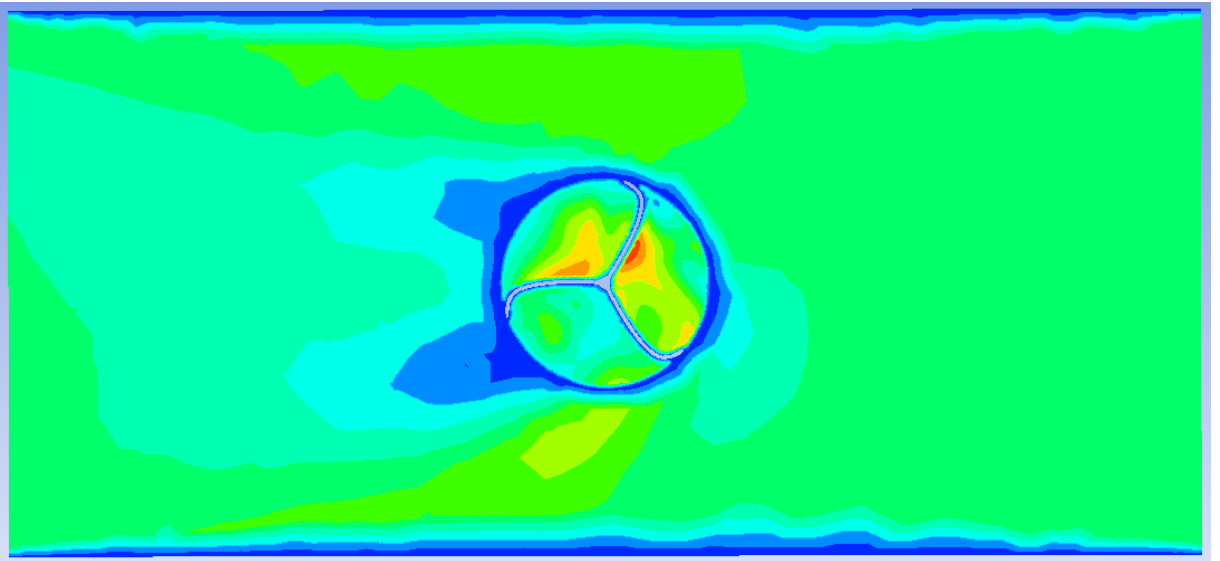
**ŞEKİL 3.6. EKSENEL HIZ – HACİMSSEL GÖSTERİM**



**ŞEKİL 3.7. X-Z EKSENİNDE KESİT-HIZ GÖSTERİMİ**



**ŞEKİL 3.8. X-Y EKSENİNDE KESİT-HIZ GÖSTERİMİ**



**ŞEKİL 3.9. Y-Z EKSENİNDE KESİT HIZ GÖSTERİMİ**

#### 4. ÇEVRESEL ETKİ DEĞERLENDİRMESİ

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan rüzgar enerjisi temiz, sürekli ve çevre dostu bir kaynaktır. Rüzgar türbinleri rüzgar enerjisinin mekanik enerjiye ve bunu da elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir ve çevreye bir çok katkı sağlar.

Rüzgar türbinlerinin çevresel katkıları maddeler halinde sıralanırsa:

- Fosil yakıt tüketilmemesi ve karbon salınımının olmaması,
- Diğer yeraltı kaynakları çıkarılırken doğaya verilen zararın rüzgar türbinleri için geçerli olmaması,
- Yerleşim yerlerine kolayca kurulabilir olması,
- Küresel ısınmaya ve asit yağmurlarına yol açmaz,
- Ekolojik yapıyı korur ve doğal dengeyi bozmaz.

## 5. MALİYET HESAPLARI

Motor	<b>20 TL</b>
Dişli takımı	<b>35 TL</b>
3D yazıcı maliyeti	<b>200 TL</b>
Led	<b>50 TL</b>
Batarya	<b>300 TL</b>
Kablo	<b>10 TL</b>
Elektrik ekipmanları montajı	<b>25 TL</b>
Mekanik montaj	<b>45 TL</b>
<b>TOPLAM</b>	<b>685 TL</b>

**Tablo 2:** Sistemin maliyet tablosu

## 6. SONUÇLAR

Sistem üretildiği zaman rüzgâra maruz bırakılarak kanatların dönmesi sağlanarak üretilen elektrik enerjisi ile bir sokak lambasının yanması amaçlanmaktadır. Ayrıca verimin maksimum düzeyde olması istenmektedir. Bu nedenle literatür taraması yapılmış maksimum verimin nasıl olacağı belirlenmiş ve buna uygun bir tasarım çalışması yapılmıştır.

Yapılan hesaplamalar sonucunda çarkın üretebildiği faydalı güç 9,62 Watt olarak bulunmuştur. İstenilen lambanın yanabilmesi için gerekli güç 5 Watt olduğundan dolayı sistem tasarımı, boyutları ve hesaplamaları uygundur. Hesaplanan değerlerin doğruluğu Ansys – Fluent yazılımı üzerinden analizi yapılarak doğrulanmıştır.

Rüzgar olmadığı durumlarda da sokak lambasının yanabilmesi için sisteme batarya eklenmiştir. Rüzgar türbini döndüğü zaman aynı anda bataryayı da şarj etmektedir. Bu sayede sokak lambasının rüzgar olmadığı durumlarda da yanması sağlanmaktadır.

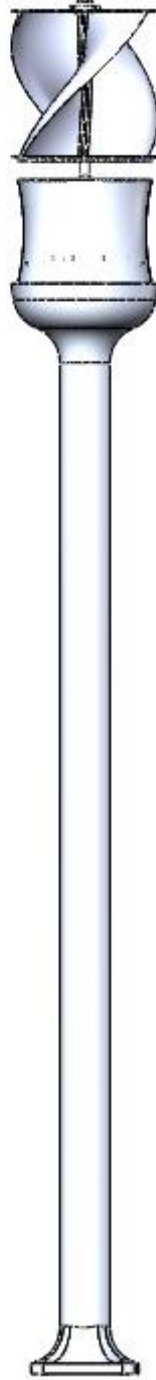
## 7.KAYNAKLAR

1. Mathew S., Wind Energy Fundamentals Resource Analysis and Economics. Springer, The Netherlands. (2006)
2. Savonius, S. J., (1931), The S-Rotor and Its Applications, Mechanical Engineering, Vol. 53, No. 5, May, pp. 333-338.
3. Aydınüz G., Dikey Eksenli Rüzgar Türbinlerinin Yapısal Analizi, Bitirme Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 2015
4. Çetin K., Genç M.,S., Daldaban F., Dikey Eksenli Rüzgâr Türbinleri-Küçük Ölçekli Uygulamalar, BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi,2019
5. Gencer F., Konik Ve Silindirik Helisel Savonius Rüzgar Türbinlerinin Aerodinamik Performansına Kanat Sayısı ve Uç Plakanın Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,2020
6. Altan, B. (2006). Perdeleme Yöntemi İle Savonius Rüzgâr Çarkının Performansının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
7. Manwell, J. F., McGowan J. G., Rogers, A. L., (2002). Wind Energy Explained Theory. Design And Application (First edition), England: WILEY, 83.
8. Savonius wind turbine, URL (Erişim 27.02.2020), [Gallery | Oy Windside Production Ltd](#)
9. Blackwell F., Sheldahl L., Feltz L., Wind Tunnel Performance Data for TWO- and Three-Bucket Savonius Rotors,1977
10. <https://www.osti.gov/biblio/5327389>
11. Şimşek A., Savonius Rüzgar Türbinlerinde Farklı Kanat Tasarımlarının Türbin Performansına Etkisinin Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri,2020
12. Gül İ., Parça Kanatlı Savonius Rüzgar Türbin Performansının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2020
13. Sert Ş. M., Farklı Kanat Tiplerinde Savonius Rüzgar Çarkları Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2019
14. Kılıç F., Helezonik Savonius Türbini İmalatı ve Denemesi Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi,2009

15. Şengül B., Uç Profili Geliştirilmiş Savonius Rüzgar Çarklarının Performansının Sayısal Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2020
16. Saha, U. K., Rajkumar, M. J., (2006). On the performance analysis of Savonius rotor with twisted blades. *Renewable Energy*, 31, 1776-1788
17. Mendoza V., Katsidoniotaki E., Bernhoff H., Numerical Study of a Novel Concept for Manufacturing Savonius Turbines With Twisted Blades, Uppsala University, 2020
18. Mahmoud, N.H., El-Haroun A.A., Wahba, E., Nased, M.H., An Experimental Study On Improvement Of Savonius Rotor Performance, Alexandria University, Faculty Of Engineering, 2012
19. Roy, S., Saha, U., Investigations On The Effect Of Aspect Ratio Into The Performance Of Savonius Rotors, In Proceedings Of The Gas Turbine India Conference, Bangalore, Karnataka, India, ASME, 2013
20. Rosmin, N., Jauhari, A.S., Mustaamal, A.H., Husin, F., Hassan, Y., Experimental Study For The Single-Stage And Double-Stage Two-Bladed Savonius Micro-Sized Turbine For Rain Water Harvesting (RWH) System, 2nd International Conference Energy Engineering And Application, ICSEEA 2014
21. Wenebenubun, F., Saputra, A., Sutanto H., An Experimental Study On The Performance Of Savonius Wind Turbines Related With The Number Of Blades, 2nd International Conference On Sustainable Energy Engineering And Application, ICSEEA 2014
22. Yiğit, C., Optimization Of The S-Rotor Savonius Wind Turbine, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 1997
23. Bayraktar, H., Yenilenebilir Enerji Kaynakları Ders Notu, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon



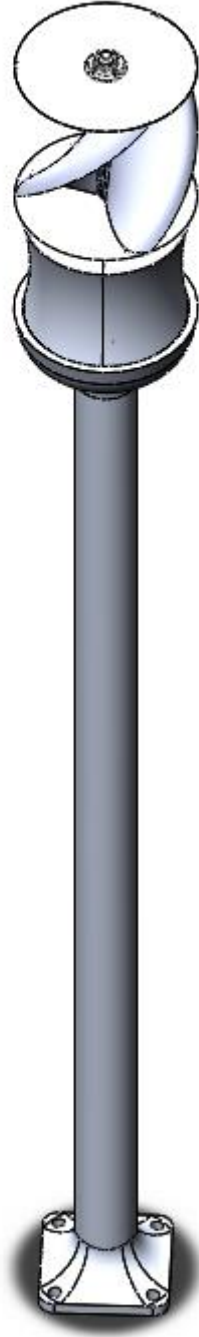
## 8.EKLER



**Şekil 8.1.** Türbin Tasarımı Ön Görünüş



**Şekil 8.2.** Türbin Tasarımı Üst Görünüş



**Şekil 8.3.** Türbin Tasarımı Perspektif Görünüş

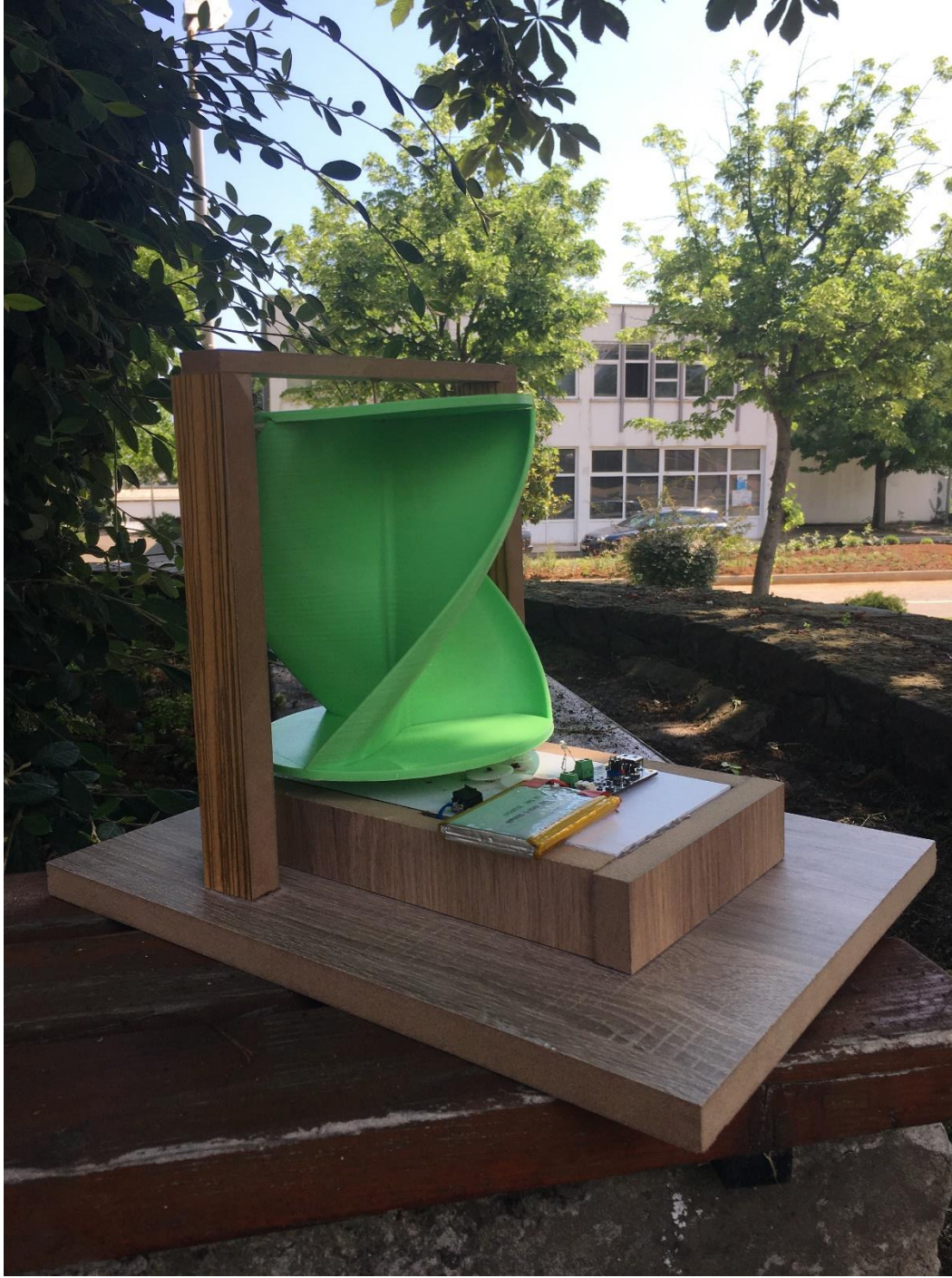


**Şekil 8.4.** Sistem Montajı Önden Görünüş





Şekil 8.5. Sistem Montajı Üstten Görünüş



**Şekil 8.6.** Sistem Montajı Perspektif Görünüş

## ÖZGEÇMİŞ

**Muhammed Erkan GÜLER**, 5 Ocak 1998 yılında Kahramanmaraş'ta doğdu. İlkokul ve ortaokul eğitimini Necip Fazıl Kısakürek İlköğretim Okulu'nda okudu. Lise öğrenimini Kahramanmaraş Erdem Bayazıt Anadolu Lisesi'nde tamamladı. Şu anda üniversite hayatına Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği son sınıf öğrencisi olarak devam etmekte. Orta düzeyde İngilizce bilmektedir.

**Oğuzhan KOÇ** 12 Ekim 1998 yılında Ankara'da doğdu. İlkokul ve ortaokul eğitimini Abidinpaşa İlköğretim Okulu'nda okudu. Lise öğrenimini Ege Anadolu Lisesi'nde tamamladı. Şu anda üniversite hayatına Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği son sınıf öğrencisi olarak devam etmekte. Halen devam lisans eğitimi süresince BAİS A.Ş. şirketinde stajını yapmıştır. Orta düzeyde İngilizce bilmektedir. SolidWorks, AutoCAD ve MS Office programlarını etkin bir şekilde kullanabilmektedir.