



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



BİR MİKRO GÜNEŞ BACASI İÇİN TÜRBİN
TASARIMI, İMALATI ve DENEYLERİNİN
YAPILMASI

Recep Emre ÜNAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Enerji Anabilim Dalı

Haziran-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Recep Emre ÜNAL tarafından hazırlanan “Bir Mikro Güneş Bacası İçin Türbin Tasarımı, İmalatı ve Deneilerinin Yapılması” adlı tez çalışması 14/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Ali KAHRAMAN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Faruk KÖSE

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Selçuk DARICI

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Yakup KARA
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması BAP tarafından 18101011 nolu proje ile desteklenmiştir.

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 atf 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.

Recep Emre ÜNAL

Tarih: 14.06.2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

BİR MİKRO GÜNEŞ BACASI İÇİN TÜRBİN TASARIMI, İMALATI ve DENEYLERİNİN YAPILMASI

Recep Emre ÜNAL

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Enerji Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Faruk KÖSE

2019, 62 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Ali KAHRAMAN
Dr. Öğr. Üyesi Selçuk DARICI
Dr. Öğr. Üyesi Faruk KÖSE

Yenilenebilir enerji kaynaklarının en geniş kullanım alanlarından birisi güneş enerjisidir. Güneş enerjisi ile elektrik üretiminde kullanılan yeni sistemlerden birisi de güneş bacalarıdır. Güneş bacaları; kollektör, baca ve türbin olmak üzere üç ana elemandan oluşur. Güneş ışınımı etkisi ile ısınan ve yükselen hava, bacanın da vakum etkisi ile baca girişine yerleştirilen bir türbini döndürerek elektrik enerjisi üretilir.

Bu çalışmada 10 m baca yüksekliğinde, 6,4 m kollektör çapına sahip eğimli bir güneş bacası sistemi deney seti olarak kullanılmıştır. Güneş bacası sistemi üzerinde montajı yapılan sensörler ile 10 saniye aralıklarla kollektör giriş ve çıkış hava sıcaklığı, dış ortam sıcaklık, baca giriş ve çıkışı hava akış hızı, dış ortam rüzgar hızı, baca içerisindeki basınç farkı, türbin devir sayısı ve güneş ışınımı değeri verileri alınarak değerlendirmeler yapılmıştır. Türbin kanatları 3 farklı kanat profilinden imal edilmiştir. 5 kanata sahip olan güneş bacası türbini için alüminyum döküm yöntemi kullanılarak toplamda 15 adet kanat imalatı yapılmıştır. Baca çapı ölçüsüne göre imal edilen türbin baca girişine montajlanmıştır. NACA0015, NACA2415, NACA4415 profil tipinde imalatı yapılan kanatlar 3 farklı hatve açısında test edilmiştir.

Çalışma sonucunda güneş ışınımı ve kollektör çıkış sıcaklığının baca girişi hava akış hızı üzerinde doğrudan etkisinin olduğu gözlemlenmiştir. Bu profil tiplerinde kamburluk oranı arttıkça ve hatve açısı azaldıkça türbin devir sayısında artış olduğu tespit edilmiştir. NACA4415 profilinin 40° hatve açısında en verimli model olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Baca türbini, Güneş bacası, Güneş enerjisi, Hatve açısı, Kanat profili, Kollektör

ABSTRACT

MS/THESIS

DESIGN AND MANUFACTURING of TURBINE FOR A MICRO SOLAR CHIMNEY POWER PLANT; PERFORMING of EXPERIMENTS

Recep Emre ÜNAL

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

Advisor: Asst.Prof. Dr. Faruk KÖSE

Year, 62 Pages

Jury

**Prof. Dr. Ali KAHRAMAN
Asst. Prof. Dr. Selçuk DARICI
Asst. Prof. Dr. Faruk KÖSE**

Solar energy is one of the most applied renewable energy sources. Solar chimneys are one of the new systems used for the production of electricity with solar energy. Solar chimneys consists of three main elements: collector, chimney and turbine. Electrical energy is generated by rotating a turbine placed at the inlet of the chimney by heating and rising of air with the effect of solar radiation, and the vacuum effect of chimney.

In this study, a sloped solar chimney system with 10 m chimney height and 6,4 m collector diameter was used as an experimental set. Collector input and output air temperature, outdoor temperature, chimney inlet and outlet air flow rate, outdoor wind speed, pressure difference within the chimney, turbine speed and solar radiation values were measured at 10 second time interval with the sensors installed on the solar chimney system. The turbine blades are made with 3 different blade profiles. A total of 15 blades were manufactured by using aluminum casting method for the solar chimney turbine with 5 blades. The turbine manufactured according to the chimney diameter was installed at inlet of chimney. Blades was manufactured using NACA0015, NACA2415, NACA4415 blade profiles and they have been tested with 3 different pitch angle

As a result of the study, it was observed that the solar radiation and collector outlet temperature had direct effect on inlet air flow rate. It was found that the turbine rotation speed was increased with the increase in hunchback ratio and decrease in the pitch angle, for this type profiles.. It was concluded that the NACA4415 profile was the most efficient model at 40 ° pitch angle.

Keywords: Blade profile, Chimney turbine, Collector, Pitch angle, Solar chimney, Solar energy,

ÖNSÖZ

Günümüzde nüfus ve sanayileşmenin artması enerji ihtiyacında da artışa sebep olmaktadır. Fosil yakıtların ömrü göz önüne alındığında yenilenebilir enerjinin tükenmeyen ve çevre dostu bir enerji kaynağı olması önemini artırmaktadır. Tarıma elverişsiz çorak arazilerin değerlendirilebilmesi açısından işletme maliyeti çok düşük olan güneş bacası sistemleri güneş enerjisinden elektrik üretimi konusunda ilgi çekici bir duruma gelmiştir. Bu çalışmada Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi yerleşkesinde kurulu bir eğimli güneş bacası sistemi için farklı tip kanat profilleri ile türbin tasarımı yapılmıştır.

Bu yüksek lisans tez çalışmasının tamamlanmasında bana yol gösteren ve daima destek olan değerli danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Faruk KÖSE'ye teşekkürlerimi sunarım. Güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, güneş bacası sistemi konusunda benimle bilgi paylaşımı yapan, desteğini esirgemeyen mesai arkadaşım Sayın Öğr. Görevlisi Muhammed Hüseyin GÜZEL'e teşekkür ederim. Deneysel çalışmalar kapsamında yardımcı olan Arş. Gör. Muhammed Arif ŞEN ve Arş. Gör. Dr. Mehmet Numan KAYA'ya da teşekkür ederim. Dün ve bugün olduğu gibi her konuda yanı başımda olan, yüksek lisans tez çalışması sürecim boyunca bir an olsun desteğinden vazgeçmeyen kıymetli eşim Esra ÜNAL'a, çocuklarım Muhammed Emin ve Mustafa Emir'e teşekkür ederim.

Recep Emre ÜNAL
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
2.1. Güneş Bacası Sistemi ve Ana Elemanları.....	12
2.1.1. Kollektör	16
2.1.2. Baca	17
2.1.3. Türbin.....	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	23
3.1. Matematiksel Denklemler ve Kavramlar	23
3.1.1. Sıkıştırılabilir ve Sıkıştırılamaz Akışlar	23
3.1.2. İç ve Dış Akışlar	23
3.1.3. Laminer ve Türbülanslı Akışlar	23
3.1.4. Doğal ve Zorlanmış Akışlar.....	25
3.1.5. Daimi ve Daimi Olmayan Akışlar	25
3.1.6. Güneş Bacası Sisteminde Kullanılan Denklemler	25
3.2. Türbin Tasarımı	28
3.2.1. Türbin Kanat Profillerinin Belirlenmesi	29
3.2.2. Türbin Rotor ve Kanat Boyunun Hesabı	31
3.2.3. Türbin Kanatlarının Çizimi ve İmalatı.....	33
3.2.4. Türbin Elemanlarının Montajı	39
3.2.5. Ölçüm Aletleri ve Ölçüm İşlemleri	42
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA	46
4.1. Deneysel Sonuçlar	46
4.2. Belirsizlik Analizi	54
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	55
5.1. Sonuçlar	55
5.2. Öneriler	56
KAYNAKLAR	57
EKLER	59
ÖZGEÇMİŞ	62

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A_{baca}	: Baca kesit alanı (m ²)
A_{koll}	: Kollektör alanı (m ²)
c	: Ses hızı (m/s)
C_p	: Havanın sabit basınçta özgül ısı değeri (J/kg.K)
C_{PBetz}	: Güç faktörü (boyutsuz)
d_1	: Türbin rotor çapı (m)
d_2	: Türbin çapı (m)
D	: Geometrinin karakteristik uzunluğu, çap (m)
G	: Kollektör yüzeyine gelen anlık toplam güneş ışınımı (W/m ²)
g	: Yer çekimi ivmesi (m/s ²)
H	: Baca yüksekliği (m)
n_{ort}	: Ortalama devir sayısı (d/d)
P	: Güneş bacası sisteminde üretilen güç (kW)
P_{elk}	: Elektrik gücü (W)
$P_{maksimum}$: Maksimum güç (W)
P_{mek}	: Mekanik güç (W)
P_{top}	: Türbin mevcut işi (W)
$P_{türbin}$: Türbin çıkış gücü (W)
Re	: Reynolds sayısı
T_0	: Çevre sıcaklığı (°C)
u	: Çevresel hız (m/s)
V	: Akış hızı (m/s)
$V_{baca,maks}$: Baca içindeki maksimum akış hızı (m/s)
$V_{baca,ort}$: Baca girişinde ortalama akış hızı (m/s)
V_{koll}	: Kollektör altı hava hızı (m/s)
V_{ort}	: Ortalama akış hızı (m/s)
α	: Hücüm açısı (°)
β	: Hatve açısı (°)
λ	: Rotor uç hız oranı
λ_b	: Başlık oranı

v	: Akışkanın kinematik viskozitesi (m^2/s)
ρ	: Havanın yoğunluğu (kg/m^3)
ρ_a	: Çevre hava yoğunluğu (kg/m^3)
ρ_{baca}	: Baca içi hava yoğunluğu (kg/m^3)
ρ_{koll}	: Kollektör hava yoğunluğu (kg/m^3)
Ψ	: Basınç sayısı
Q	: Kollektör çıkışındaki güç (W)
ω	: Türbin dönme hızı (rad/s)
ΔP	: Basınç farkı (mmSS)
Δp_s	: Statik basınç farkı (Pa)
ΔP_{top}	: Toplam basınç farkı (Pa)
ΔT	: Kollektördeki sıcaklık farkı ($^{\circ}C$)
ΔT_{ζ}	: Çevre sıcaklığından baca girişi sıcaklığına kadar olan artış ($^{\circ}C$)
\dot{m}	: Kütleli debi (kg/s)
\dot{V}	: Hacimsel debi (m^3/s)
$\dot{Q}_{güneş}$: Kollektöre gelen güneş enerjisi (W)
η_{baca}	: Baca verimi
η_{koll}	: Kollektör verimi
η_{sistem}	: Güneş bacası sisteminin verimi
$\eta_{türbin}$: Türbin verimi

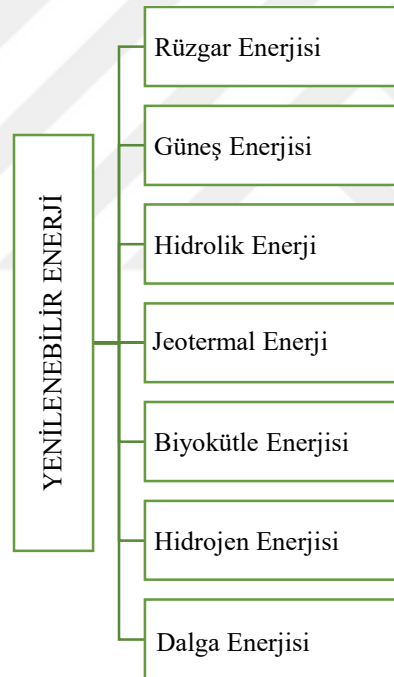
Kısaltmalar

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
EES	: Mühendislik Denklem Çözücüsü
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
NACA	: Ulusal Havacılık Danışma Kurulu

1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji, doğada sürekli var olan, sürekli bir çevrim halinde bulunan enerji akışından elde edilen enerjidir. Mevcut dünya nüfusunun temel ihtiyaçlarını giderebilmesi, teknolojik ve ekonomik faaliyetlerini devam ettirebilmesi için enerji gereksinimi kaçınılmazdır. Dünya genelinde sanayileşmenin artması, enerji ihtiyacının da aynı düzeyde artması demektir. Bir ülkenin gelişmesi ve kalkınması ülkenin sahip olduğu enerjinin verimine ve kalitesine bağlıdır.

Günümüzde enerjinin %80'i fosil yakıtlardan elde edilmektedir (Anonim, 2018a). Petrol, kömür ve doğalgaza olan ihtiyacın minimuma düşürülmesinde en önemli pay yenilenebilir enerjiye düşmektedir. Yenilenebilir enerji kaynağı çeşitleri Şekil 1.1'de gösterilmiştir.

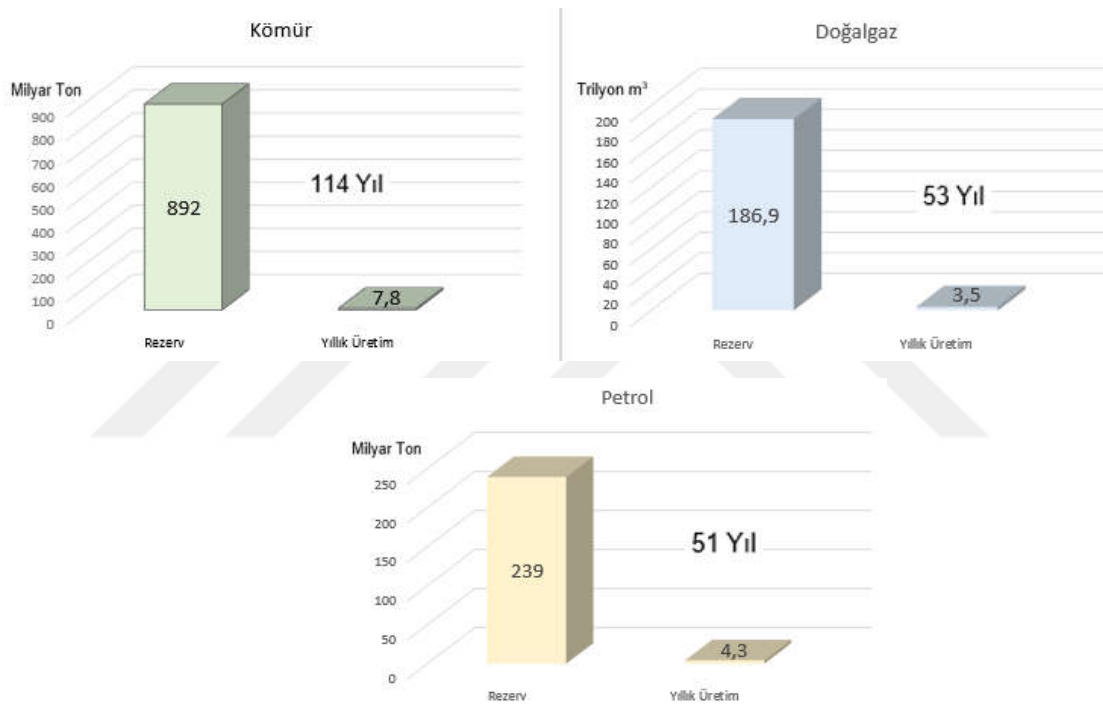


Şekil 1.1. Yenilenebilir enerji kaynağı çeşitleri

Rüzgar Enerjisi; güneş ışınlarının dünyaya geliş açısındaki değişiklikler sebebiyle oluşan basınç farkı ile ortaya çıkan enerji türüdür. Sürekliliği olan, dışa bağımlılığı bulunmayan, temiz ve ilerleyen teknoloji sayesinde birim maliyetlerin düştüğü bir yenilenebilir enerji türüdür. Sürdürülebilir enerji üretimi için en yaygın olarak kullanılan öncü bir yenilenebilir enerji kaynağıdır (Kaya ve ark., 2018).

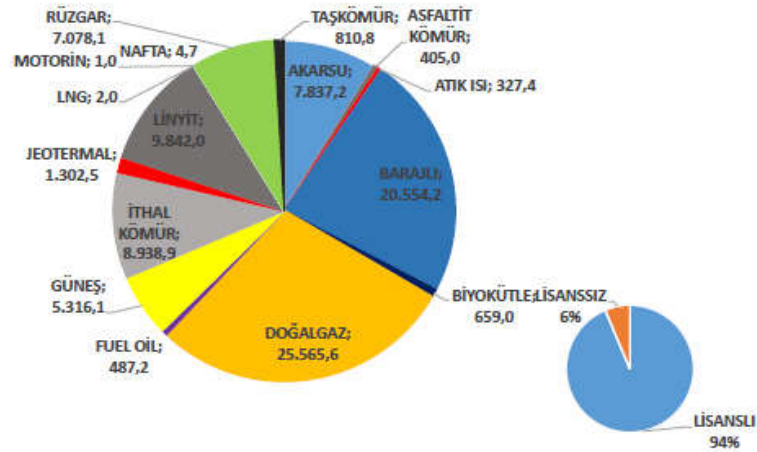
Güneş Enerjisi; dünyaya gelen güneş ışınlarının bir kollektör vasıtasıyla ısı ve elektrik enerjisine dönüştürülerek faydalanılan, tükenmeyen, temiz ve her ülkenin kullanabileceği bir yenilenebilir enerji türüdür.

Yenilenebilir enerji kaynakları zamanla doğru orantılı olarak tükenmezler. Dünyada, nüfus artışına bağlı olarak ihtiyaç olan enerji miktarı da artacaktır. Fosil yakıtlar ile enerji üretimi çevre kirliliğinin başlıca sebeplerinden bir tanesidir. Sera gazı emisyonu, fosil yakıtların fiyatları ve kalan ömürleri, yenilenebilir enerjiye olan ihtiyacı gözler önüne sermektedir. Fosil yakıtların rezervinde türlerine göre dünya üzerinde kalan ömürleri Şekil 1.2’de verilmiştir.



Şekil 1.2. Türlerine göre fosil yakıt rezervlerinin kalan ömürleri (Anonim, 2017)

Türkiye petrol, kömür ve doğalgaz gibi yer altı enerji kaynaklarında dışa bağımlı bir ülke konumundadır. 2018 yıl sonu itibariyle elektrik enerjisi kurulu güç dağılımı 88.550,8 MW olarak kayıtlara geçmiştir (Anonim, 2019a). Şekil 1.3’te 2019 Mart sonu itibariyle elektrik enerjisi üretiminde Türkiye’de bulunan kurulu güç dağılımı verilmiştir. Kurulu güç bakımından dış ülkelere en bağımlı olunan yakıt tipinin doğalgaz olduğu görülmektedir.



Şekil 1.3. 2019 Mart sonu Türkiye elektrik enerjisi kurulu güç dağılımı (Anonim, 2019b)

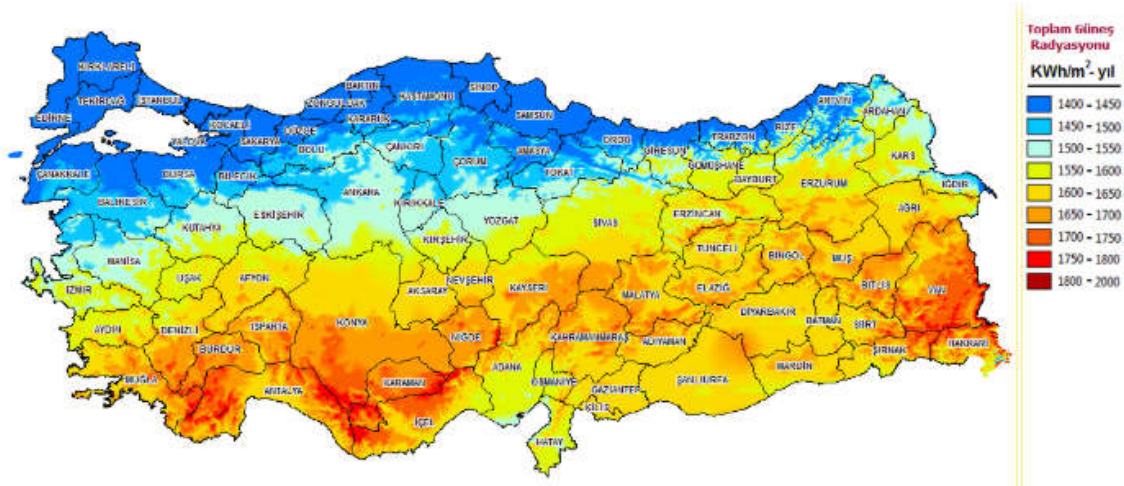
Ekonomik çıkarlar için dışa bağımlı olunan enerji kaynakları yerine, yerli birincil enerji kaynaklarının yanında yenilenebilir enerji çeşitlerini değerlendirmek gerekmektedir. Güneş enerjisi konusunda son yıllarda atılan adımlar oldukça önem arz etmektedir. Çizelge 1.1’de aralarında Türkiye’nin de yer aldığı bazı yenilenebilir enerji yatırımlarında 2017 yılına ait yıllık yatırım verilerinde ilk 5 ülke görülmektedir.

Çizelge 1.1. 2017 Yılında yıllık yatırım/net kapasite ilaveleri/üretim (Anonim, 2018b)

Yenilenebilir Enerji ve Yakıt Yatırımı	1	2	3	4	5
Jeotermal Güç Kapasitesi	Endonezya	Türkiye	Şili	İzlanda	Honduras
Hidroelektrik Kapasitesi	Çin	Brezilya	Hindistan	Angola	Türkiye
PV Güneş	Çin	ABD	Hindistan	Japonya	Türkiye
Güneş Enerjili Su Isıtma Kapasitesi	Çin	Türkiye	Hindistan	Brezilya	ABD
Rüzgar Enerjisi Kapasitesi	Çin	ABD	Almanya	İngiltere	Hindistan
Biyodizel Kapasitesi	ABD	Brezilya	Almanya	Arjantin	Endonezya

Güneş enerjisi, sıcak su elde etmek için ısıtma sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Güneş enerjisinin herhangi bir ulaştırma maliyeti yoktur, çünkü yerinde

uygulama yapılır. Saf bir enerji türüdür ve kullanıldığında kükürt veya karbon gibi zararlı bir atık gaz çıkışı söz konusu değildir. Güneşin bu ısısından doğrudan faydalandığı gibi, elektrik enerjisi üretiminde de kullanılabilir. Güneş, dünyanın kullanabileceği bitmeyecek bir enerji kaynağıdır. Türkiye'nin bulunduğu coğrafi konum, güneş enerjisi potansiyeli açısından oldukça verimlidir. Kuzeyden güneye doğru gidildikçe güneşlenme potansiyeli artmaktadır. Doğu Anadolu, İç Anadolu, Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz yüksek değerde ışıınım alan bölgelerimizdir.



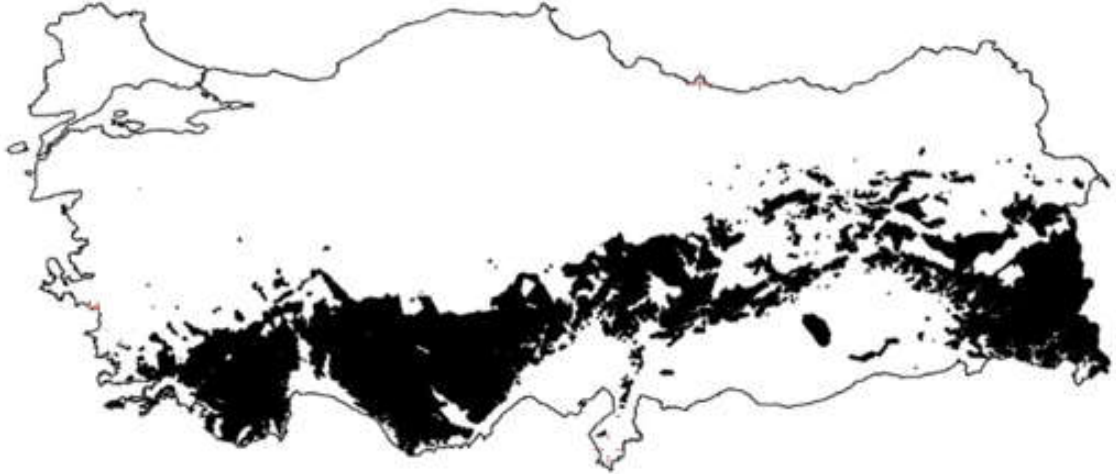
Şekil 1.4. Türkiye GEPA atlası (Anonim, 2019a)

İç Anadolu Bölgesi Türkiye'nin güneş enerjisi yatırımları için en büyük potansiyele sahip bölgelerindedir. Şekil 1.4'e bakıldığında Konya ve Karaman ili bölgenin yatırım için en müsait illeri olarak görülmektedir. Konya iline bağlı Karapınar bölgesinde tarıma olanak tanımayan geniş araziler bulunmaktadır. Güneşten elektrik üretim santralleri için kurulum yeri seçilirken sahanın güneş enerjisi potansiyeli önem arz etmektedir. Bu durum tesis kurulum ve işletim maliyet çalışmalarında son derece önemlidir. Çizelge 1.2'de bölgelerin güneşlenme süresi değerleri verilmiştir.

Çizelge 1.2. Bölgelerin ışıınım değerleri ve güneşlenme süreleri (Anonim, 2006)

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m2-yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/yıl)
Güneydoğu Anadolu	1.460	2.993
Akdeniz	1.390	2.956
Doğu Anadolu	1.365	2.664
İç Anadolu	1.314	2.628
Ege	1.304	2.738
Marmara	1.168	2.409
Karadeniz	1.120	1.971

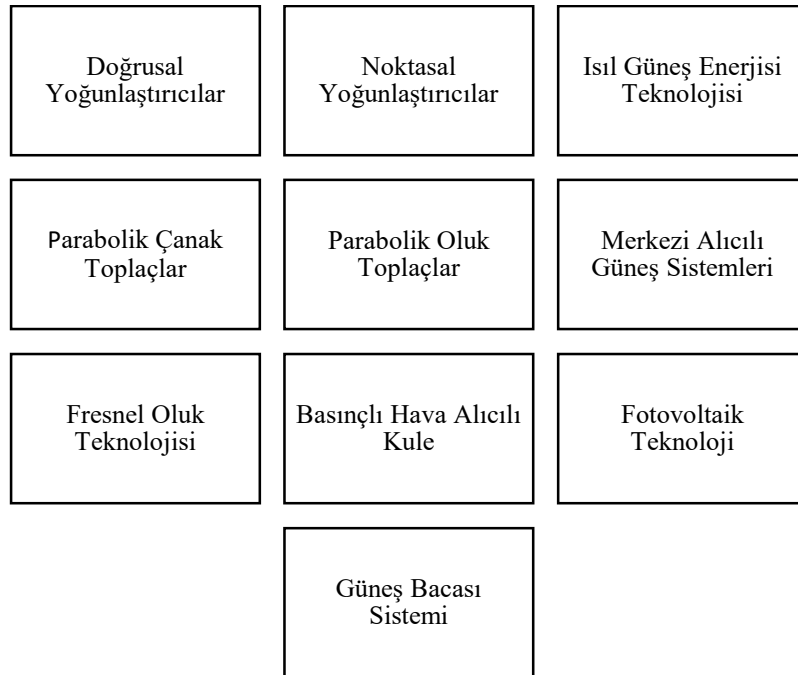
08 Ocak 2011 tarihli Resmi Gazete’de yayınlanan karara göre güneşten elektrik üretimi için lisans verilen bölgeler arasında en büyük kapasiteli bölge olarak Şekil 1.5’te gösterildiği üzere Konya’da bulunmaktadır. Konya engebesiz, düz ve tarıma elverişsiz saha alanları ile güneşten elektrik üretim sistemleri için yatırım yapılabilecek en uygun alanlardan birisi olacaktır.



■ Yatay Yüze Gelen Toplam Güneş Radyasyonu Değeri 1650 kWh/m².yıl’dan Büyük Olan Alanlar

Şekil 1.5. Enerji Bakanlığı tarafından yayınlanan yatırım bölgelerinin yer aldığı harita (Anonim, 2012)

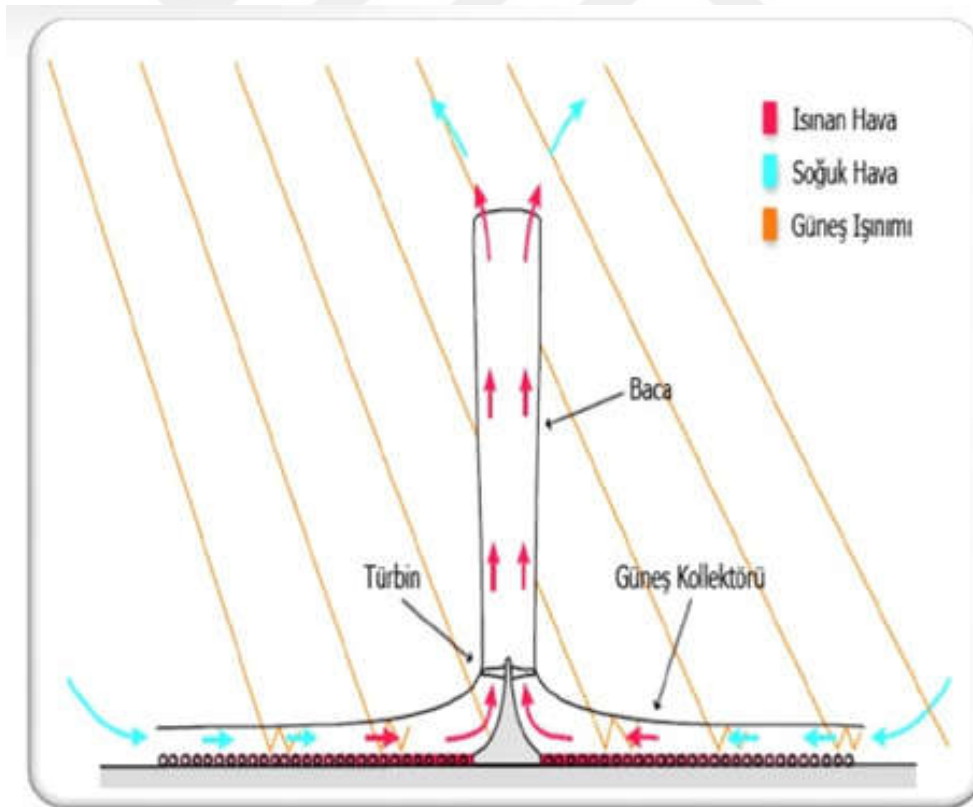
Güneş enerjisini doğrudan ve dolaylı yoldan kullanma yöntemleri vardır. Güneş enerjisi kullanılarak yapılan elektrik üretim yöntemleri Şekil 1.6’da gösterilmiştir.



Şekil 1.6. Güneş enerjisi kullanılan elektrik üretim yöntemleri

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Schlaich ve ark. (2005) yaptıkları çalışmada güneş bacası teorisini, ekonomisini ve pratik deneyimlerini ortaya koymuşlardır. İspanya'da bir prototip tasarımı, inşası ve bu işletmenin sonuçları ortaya konulmaktadır. Güneş bacası sisteminin Şekil 2.1'de gösterilen 3 temel elemanı mevcuttur. Kollektör, baca ve türbin. Türbin öncesi ve sonrasında yaklaşık olarak havanın hızı aynıdır. 1982 yılında ilk büyük güneş bacası sistemi olarak İspanya Manzanares'te 50 kW'lık bir sistem inşa edilmiştir. Türbin tek rotor ve 4 kanattan oluşmaktadır. Dikey rüzgar hızı ilk etapta 2,5 m/s'dir ve türbin çalışması esnasında maksimum 12 m/s'ye ulaşabilmektedir. Manzanares'teki ölçülen sıcaklık artışı 17°C'ye kadar çıkmıştır. Optimum maliyette kollektör alanı maliyeti düşük ve baca malzemesi maliyeti yüksek ise, kollektör büyük baca daha küçük olmalıdır. Kollektör maliyeti yüksek ise daha küçük bir kollektör ve yüksek bir baca inşa edilmesi gerektiğini ortaya koymuşlardır.



Şekil 2.1. Güneş bacası ana elemanları (Schiel ve Schlaich, 2000)

Koyun (2006) yaptığı doktora tez çalışmasında güneş bacası sistemi ile enerji eldesini incelemiştir. Ayrıca kollektör çapı 16 m, baca yüksekliği 15 m, baca çapı 1,2 m olan bir güneş bacası prototipi inşa edilerek Fluent simülasyon programı ile incelenmiştir. Deneysel çalışmada, sisteme giren güneş enerjisi miktarı, hava hızları ve sıcaklıkları ölçülmüştür. Yapılan deneysel çalışmada güç çıkışı prototipte maksimum olarak yaklaşık 12 W olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde güneş bacası sisteminden elde edilen elektrik gücünün bölgenin güneş verilerine ve baca yüksekliğine doğrudan bağlı olduğu belirlenmiştir.

Üçgül ve Koyun (2010)'un yaptığı çalışma, teorik olarak tasarlanan bir güneş bacası sistemi, geliştirilen bir bilgisayar programı ve bir prototip içermektedir. Performans verileri değerlendirilerek önemli çalışmalar ile karşılaştırma yapılarak sistem doğrulanmıştır. Baca çekiş hızını düşüren iç türbülanslara engel olabilmek için kollektör alanı 12 eşit parçaya bölünmüş, akışın türbine düzenli ulaşabilmesi için her bir dilimi ayıracak akış düzenleyiciler kullanılmıştır. 15 m baca yüksekliği için 400 W'lık bir türbin baca girişine yerleştirilmiştir. Verilerin alınabilmesi için 9 noktada ölçüm sensörleri yerleştirilmiştir. Sistemden alınan ve hesaplanan değerler Delphi 7.0'da geliştirilen programın parametresi olmuştur. Teorik ve deneysel modellemeye göre alınan program çıktıları, daha önce yapılmış Schlaich ve Dai modeli ile karşılaştırılmış, uygun olduğu görülmüştür. Geliştirilen modelin, uzun güneşlenme sürelerine sahip Güneydoğu, Ege, Akdeniz ve İç Anadolu bölgeleri için uygun olduğu görülmüştür.

Kara ve ark. (2002) yaptıkları çalışmada, bir güneş bacası sisteminin çalışma prensibi, ana elemanları (kollektör, baca, türbin) dikkate alınarak incelenmiştir. Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde yürütülen bir projede güneş ışıyım değeri ve dış ortam sıcaklık verileri kullanılarak, bir matematiksel model geliştirilmiş, birim enerji maliyeti hesaplanarak, güneş bacası sisteminin İzmir ili için uygunluğu incelenmiştir. Baca girişindeki hava hareketi dikey doğrudur. Türbinin fiziki müdahale kolaylığı için baca girişine yerleştirilmiştir. Kollektörün yerden yüksekliğinin, hesaplamalar sonucunda bir etkisinin olmayışı, bu verinin bir parametre olarak alınamayacağını ortaya koymuştur. Hesaplamalar Matlab V5.3 programında, kollektör, baca ve türbinin analizine göre yapılmıştır. Matematiksel model sayesinde, aylık ortalama elektriksel güç değerleri ve sistemin aylık ortalama verimi incelenmiştir. Sonuç olarak sistem verimi düşük değerlerdedir, ancak birim enerji maliyetine göre değerlendirilmelidir. Sistemin çevreye etkisi minimuma yakın olduğu için bu bir kazanımdır.

Guo ve ark. (2016) çalışmalarında, bir güneş bacası için optimum türbin basıncı düşme oranı; analitik yaklaşım ve üç boyutlu simülasyon kullanılarak incelenmiştir. Ortam sıcaklığı ve güneş ışınımının bu orana ciddi bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Bu oranın 0,90-0,94 arasında kaldığı saptanmıştır. Ayrıca ilk kez farklı şekillere sahip kollektör iskeletleri (dairesel ve kare, aynı alana sahip) arasında karşılaştırma yapılmıştır. Kare olan kollektör değerleri de dairesel kollektör tipine yakınlık göstermiştir. Güneşten gelen ışınım değeri arttıkça, güneş bacası sistemi güç çıkışının da arttığını saptamışlardır. Penghua Guo ve arkadaşlarına göre maksimum güç üretimini; türbin üzerindeki basınç düşüşünün, optimum türbin basınç düşüşüne oranı vermektedir.

Gannon ve von Backström (2003), güneş bacalarında kullanılan bir türbinin performansına yönelik deneysel bir araştırma yapmışlardır. Tek ve düşük yarı çaplı bir türbin rotoru düşünülmüştür. Türbin dikeyde montaj edilmiştir. Baca tabanında yatayda giriş kılavuz kanatlar mevcuttur. Bunlar türbin çıkış kinetik enerjisini azaltır. Deneysel programda optimum veriminin difüzörlerdeki kayıplar dahil olsa bile %77-80 arasında olduğunu göstermişlerdir.

Padki ve Sherif (1999) bir güneş bacası sisteminin performansını tahmin etmek için basit bir analitik model geliştirmişlerdir. Analitik modelin tahminleri, diferansiyel model ile olan tahminler arasında iyi bir uyum içinde olduğu ortaya konmuştur. Analitik model tahminlerinde yüzdelik hata % 4-6 düzeyindedir. Bu modelin optimizasyon çalışmalarında yararlı olacağını belirtmişlerdir.

Fluri ve Von Backström (2008) çalışmalarında güneş bacası türbinlerinin performanslarını analitik modeller ve optimizasyon teknikleri kullanılarak karşılaştırmışlar ve önemli tasarım parametrelerini tartışmışlardır. Göz önüne alınan türbin düzenleri tek rotorlu, karşı dönen rotorlu ve giriş kılavuz kanatlı ve kanatsızdırlar. Bu çalışmada kılavuz kanatları olmayan tek rotor düzeninin çok düşük performans gösterdiği sonucuna varılmış ve türbinin reaksiyon derecesinin bir sınırı, göbekte difüzyonu önlemek için getirilmiştir. Giriş kılavuz kanatçıkları olmayan tek rotor düzeni herhangi bir hızda toplam statik verimlilik derecesine ulaşamamaktadır, en yüksek değeri %91'dir ve bu da verimi artırmak için ön klavuz kanat (stator) veya ek bir rotorun kullanılması gerektiği sonucunu göstermiştir.

Hamdan (2011) yaptığı çalışmada, güneş bacasının performansını tahmin etmek için analitik bir model sunmuştur. Akışkan statığı ve ideal gaz denklemi ile birlikte basitleştirilmiş bir Bernoulli denklemi kullandığı bu analitik model ile güneş bacalarının performansını tahmin etmek için EES (Mühendislik Denklem Çözücüsü) çözücüsü

kullanmıştır. Geliştirilen analitik model, literatürde bulunan deneysel verileri ve sayısal çalışmaları eşleştirmiştir. Analitik model, geometrik parametrelerin güneş enerjisi üretimi üzerindeki etkisini değerlendirmek için kullanılmıştır. Model, bacanın yüksekliği ve çapı, kollektör çapı ve türbin yüksekliğinin bir güneş bacası oluşturmak için kritik parametreler olduğunu göstermektedir. Ayrıca geliştirilen bu model, baca ve türbin yüksekliğinin, ikinci kanun verimliliği ve toplam elde edilen güç üzerinde çok güçlü bir etkiye sahip olduğunu da göstermektedir. Baca ve kollektör çapının ikinci kanun verimliliği üzerinde çok küçük bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Nizetic ve Klarin (2010), çalışmalarında güneş bacası türbini basınç düşümü faktörünü değerlendirmek için basitleştirilmiş analitik yaklaşım sunmuşlardır. Bu karakteristik faktörün (bacadaki toplam basınç düşüşüne göre) çıkış gücü ile ilgili olduğu, türbinin basınç düşüşünde belirlenen oran değerlerinin diğer çalışmalarla tutarlı bir değer aralığı içerisinde olduğu bulunmuştur. Güneş enerjisi bacaları için kullanılan türbin basınç düşüşü faktörlerinin 0.8-0.9 aralığında olduğu sonucuna varılmış olup, bu basitleştirilmiş analitik yaklaşımın güneş bacası santrali potansiyelinin ön analizi ve hızlı değerlendirilmesinde yararlı olduğu belirtilmiştir.

İçel (2012) tez çalışmasında Adıyaman Üniversitesi yerleşke alanı içine kurulan 15 m yüksekliğinde, 0,8 m çapında baca ve üzeri 0.004 m kalınlığında saydam camı olan, maksimum 27 metre çapında kollektöre sahip güneş bacası sisteminden ölçümler almıştır. Günün belirli zamanlarında baca içindeki hava akış hızı ve sıcaklığı, dış ortam sıcaklığı, dış ortam ortamın rüzgâr hızı, kollektör zemin sıcaklığı, kollektör altındaki hava hızı ve sıcaklığı, değişik çaptaki türbinlerin devir sayısı ve Adıyaman güneş ışıınım değerleri ölçülerek veriler incelenmiştir. Türbin montajının sıcaklık ve hava hızının en yüksek olduğu noktada yapıldığını tespit etmiştir. 0,8 m çaplı üç kanatlı türbinin sistem için en verimli olduğu belirlenmiştir. Araştırmada kullanılmak üzere özel olarak imal edilmiş NACA4415 kanat profili kullanılmıştır. Sonuç olarak güneş bacası sisteminin enerji eldesi anlamında Adıyaman için bir alternatif olabileceği neticesine varılmıştır.

Büyükoğlu (2014) tez çalışmasında akış altında performansları belirlenmiş parametrelerle karşılaştırmak için türbin kanat tasarımı için Clark Y, Fx66196v, NACA4415 ve NACA23012 olarak dört farklı kanat profili seçmiştir. Tüm kanatlarda hücum açısı 50° ve rotor yarıçapı 400 mm. olarak tanımlanmıştır. Türbinin kurulacağı baca çapı 800 mm olduğundan, tüm kanatlar buna göre ölçeklendirilmiş ve rotor çapı da 780 mm alınmıştır. Bu tezde bir güneş bacası sistemi prototipinde kullanılan türbinin verimliliğini arttırabilmek için uygun kanat profilinin tespit edilmesi çalışılmıştır. Türbin

kanatlarının daha iyi bir performansı için, sürtünme katsayısının düşük olması, kaldırma katsayısının yüksek olması ve C_L / C_D oranının maksimum olması istenir. Bu çalışmaya göre sonuç olarak Fx66196v kanat profilinin, en yüksek C_L ve C_L / C_D değerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Rangela ve ark. (2016) tipik güneş bacası türbinindeki akış, aksenal akış tipindedir ve türbinin temel görevi de akışkan gücünü mil gücüne verimli bir şekilde dönüştürmektir. Güneş bacası türbinlerinin ikincil bir fonksiyonu, kanat açılarının ayarlanmasıyla akış ve çıkış gücü kontrolüdür. 12 kanatlı ve 18 adet giriş yönlendirici kanatçıklı türbinden 58 d/d ve 78 kW güç elde etmişlerdir. Bu çalışma, güneş bacası sistemi için dikey eksen ve yatay eksen olmak üzere iki farklı türbin uygulama teknolojisi arasında bir karşılaştırma gösterdi. HAD simülasyonunda sonuçlar; dikey eksenle yerleştirilen türbinin 58 d/d'da maksimum 78 kW'lık enerji ürettiğini, yatay eksenle ise 86 d/d'da maksimum 32,5 kW'lık enerji ürettiğini göstermiştir. Manzanares tesisinden elde edilen enerjiyle karşılaştırıldığında, bu çalışmada simüle edilen dikey eksendeki türbinin çok daha yüksek bir performans sağladığı belirtilmektedir.

Kasaeian ve ark. (2017) güneş bacasının türbini boyunca akışı tanımlamak için temel bir matematiksel model sunmuşlardır. Manzanares'in prototip güneş bacası enerji santralinin türbin kanatlarını dikkate alan 3D Hesaplama Akışkanlar Dinamiği simülasyonu gerçekleştirmişler. HAD simülasyonu, Manzanares güneş bacası enerji santralinin deney verileri ile karşılaştırılarak doğrulamışlar. Ardından, türbin dönme hızının, türbin kanatlarının miktarı, kollektör çapı ve baca yüksekliği etkilerini göstermek için, 12 HAD simülasyon yapmışlardır. Bu şartlar 3, 4 ve 5 kanat, 40, 80 ve 100 d/d dönme hızı, 100, 200 ve 300 m baca yükseklikleri ve 122, 244 ve 366 m kollektör çapları için olup, simülasyonun sonuçlarına göre çıkış havası hızı, hava kütle akış hızı, tork ve güç bildirmişlerdir. Sonuçta, sabit sayıda kanatla dönme hızının artırılması havanın kütle akış hızını düşüreceğini ve türbin tarafından üretilen torku ve gücü arttırdığını, sabit bir açısal hızda, kanat miktarının artırılması havanın kütle akış hızını düşürecek, torku ve gücü arttıracaklarını göstermişlerdir. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre türbin açısal hızını arttırarak bacadan hava kütle akış hızı düşmüştür. Beş kanatlı türbin, azami 91 kW'lık maksimum gücü göstermiştir. 80 d/d için, 100 m, 200 m ve 300 m baca yüksekliklerinde çıkış hızları; 9.5, 13.7 ve 17.5 m/s'dir. Sonuçta, kollektör bölümü için çap 122 m'den 366 m'ye arttırılarak; çıkış hızı, tork ve çıkış gücünde bir artışa neden olmuştur.

Balijepalli ve ark. (2017) çalışmalarında bir güneş bacası sistemi prototipinin performans araştırmasını gerçekleştirmişlerdir. Kollektörde kullanılan geçirgen kaplamanın enerji kayıpları ve geçirgenlik tahminleri, güneş kolektöründe toplanan teorik enerjiyi hesaplamak için gerçekleştirilmiştir. Bacanın içindeki basınç düşüşü tahmin edilmiş ve bundan dolayı türbinin gerçek güç çıkışı hesaplanmıştır. Gerekli ısı depolama malzemelerinin miktarı hem kütle hem de hacim bakımından değerlendirilmiştir. Teorik olarak havanın maksimum hızı bacanın tabanındadır ve 2 m/s'dir. Tesisin maksimum toplam verimliliği % 0.28 olarak hesaplanmaktadır. Sistemin maksimum teorik güç çıkışı 0.633 W'tır. Türbin kanatları, düşük yoğunluklu hava akışını minimum sürtünme kayıplarıyla seçilen bir açıyla döndürecek şekilde tasarlanmıştır. Türbin kanatlarına etki eden ana yük, türbininin kökünde maksimum eğilme gerilmesine neden olan yukarı doğru kuvvetten kaynaklanan eğilme kuvvetidir. Genellikle türbinlerde kanat profillerinin NACA 4, 5 ve 6 basamaklı üç seri tipi kullanılmaktadır. Bu çalışmada düşünülen milin maksimum açısal hızı 500 d/d, bacanın iç çapı 0,6 m türbin kanadı çapı da 0,57 m'dir. Çalışmada ayrıca türbin tasarımı ve maliyet araştırması da yapmışlar ve türbin kanat malzemelerinin mukavemet ve maliyet özellikleri ile de karşılaştırmışlardır.

Çalışkan (2014) tez çalışmasında çalışmada bir rüzgar tüneli için aksel akışlı 6 kanatlı bir fan tasarımı yapılmış ve sadece aerodinamik açıdan incelenmiş ve gerçekleştirilmiştir. Performans, farklı çıkış basınçlarına göre değişmektedir. Çalıştığı ortamın basıncı değişir ise fandan elde edilen debi de değişmektedir. 3 boyutlu akışkanlar dinamiği analizine göre; %100 tasarım hızında ve standart atmosfer koşullarındaki tasarım noktasına göre 3,8 kW güç gerektiren ve 18,9 kg/s hava debisi ve 15 m³/s hacimsel debiyi üretecek şekilde fan tasarlanmıştır, dış çapı 1 m'yi geçmemektedir. Tasarım endüstride kullanılan diğer fanlar ile kıyaslanmamıştır.

Ayadi ve ark. (2018) çalışmalarında türbin çapının güç çıkışına etkisini incelemişlerdir. Sfax Ulusal Mühendis Okulu'nda bir güneş bacası prototipi oluşturmuşlardır. Kollektör çapı 2750 mm, kolektör tavan yüksekliği 50 mm, baca yüksekliği 3000 mm ve türbin çapı 150 mm'dir. Tercih ettikleri 90 mm, 120 mm, 140 mm ve 150 mm türbin çaplarını, her biri için hız, hava sıcaklığı ve basıncın dağılımını inceleyerek karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak üretilen gücün türbin çapının artmasıyla arttığı kaydedilmiştir.

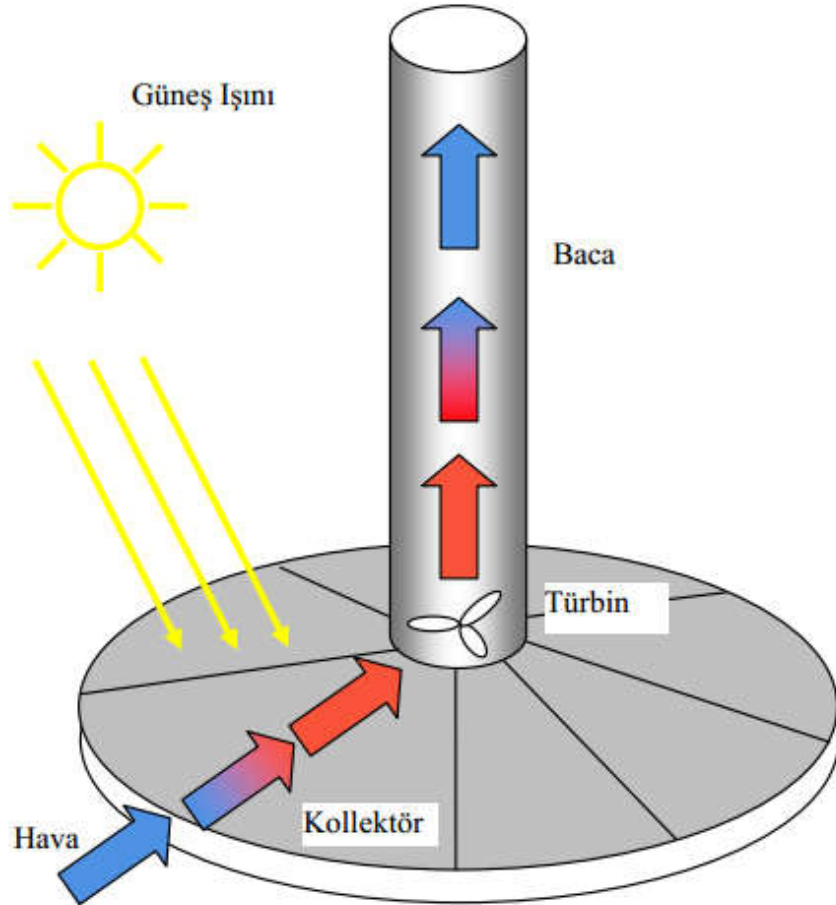
Yapılan literatür taramasından sonra, çalışmada tasarlanacak türbin için kanat sayısı 5 olarak belirlenmiş, elektrik eldesi için 100 W'lık bir jeneratör seçilmiş, aynı haneli NACA4415, NACA2415 ve NACA0015 tipindeki 3 profilin farklı hatve açılarında

karşılaştırmalı analizinin yapılmasına, farklı hızlardaki devir sayılarının karşılaştırılmasına ve güç çıkışının tespit edilmesine karar verilmiştir.

2.1. Güneş Bacası Sistemi ve Ana Elemanları

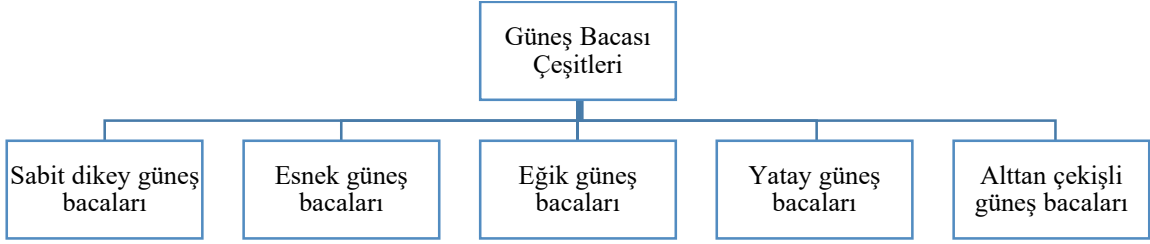
Ülkemizde elektrik üretimi açısından yenilenebilir enerji kaynakları arasında özellikle güneş ve rüzgâr enerjisinde olumlu gelişmeler gözlenmektedir. Ancak güneş enerjisinden elektrik üretimi son yıllarda artmaya başlasa da henüz istenilen seviyeden oldukça uzaktır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından en önemlisi olan güneş enerjisi ile elektrik enerjisi üretiminde kullanılan sistemlerden birisi de güneş bacalarıdır. Normal güneş ışınımı ile ısınan hava yükselirken baca içine yerleştirilen türbini döndürerek elektrik enerjisi üretilir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Güneş bacası çalışma prensibi (Gün ve Kurban, 2011)

Uygulama ve prototipleri yapılan güneş bacası çeşitleri Şekil 2.3’de verilmiştir.



Şekil 2.3. Güneş bacası çeşitleri (Schlaich ve ark., 2005)

Bu sistemde kullanılan türbin görünüş olarak rüzgar türbinine benzese de enerji dönüşüm şekli olarak su türbinlerine benzemektedir. Çünkü türbinin girişi ile çıkışı arasında akış hızı değişmezken basınç düşümü olmaktadır.

Schlaich ve ark. (2005) 1980 yılında İspanya'nın Manzanares bölgesinde bir güneş bacası sistemi kurmuşlardır (Şekil 2.4). Sistem yaklaşık 50 kW güç üretimi yapabilme özelliğine sahiptir. Bu çalışma güneş bacasının yapılabirliği ve gerçek hayatta kullanılabileceğinin ilk önemli adımıdır. Kollektör alanı ne kadar geniş, sistemdeki bacanın boyu ne kadar fazla ise enerji eldesi doğru orantılı olarak artacaktır.



Şekil 2.4. Manzanares güneş bacası sistemi (Schlaich ve ark., 2005)

Çizelge 2.1. Manzanares güneş bacası sistemi ölçüleri (Schiel ve Schlaich, 2000)

Baca yüksekliği	194,6 m.
Baca çapı (türbin çapı)	10,16 m.
Kollektör çapı	244 m.
Ortalama kollektör yüksekliği	1,85 m.
Türbin kanat sayısı	4 adet
Nominal türbin gücü	50 kW

Güneş Bacası Sistemi uygulamaları dünyanın farklı ülkelerinde yapılmıştır. Türkiye’de ilk sistem Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi’nde prototip olarak 2005 yılında tamamlanmıştır (Şekil 2.5.).

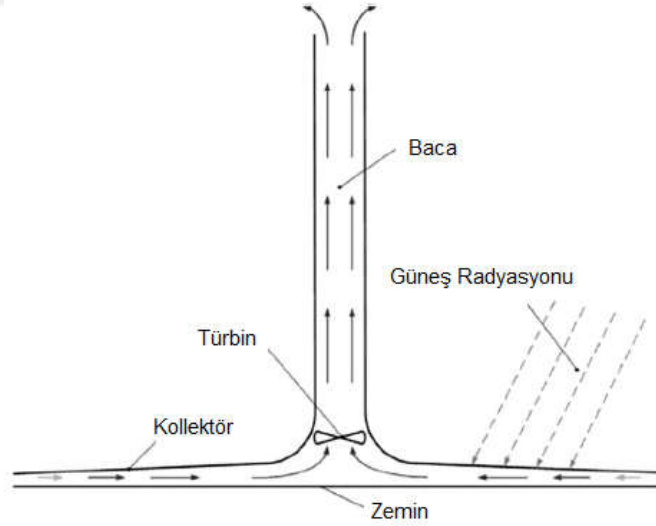


Şekil 2.5. Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi güneş bacası sistemi (Koyun, 2006)

Çizelge 2.2. Isparta SDÜ güneş bacası sistemi ölçüleri (Koyun, 2006)

Baca yüksekliği	15 m
Baca çapı (türbin çapı)	1,2 m
Kollektör çapı	16 m
Ortalama kollektör yüksekliği	1 m
Türbin kanat sayısı	8 adet

Güneş bacası sistemleri Şekil 2.6’da gösterildiği üzere üç ana elmandan oluşur. Kollektör, baca ve türbin. Kollektör üzerine gelen güneş ışınlarını emerek geçirgen yüzeyin altında birikerek ısınmasını sağlar. Bacanın oluşturduğu vakum etkisiyle beraber kollektörden giren ve burada ısınan hava, dış ortamdaki soğuk hava ile arasındaki yoğunluk farkından dolayı kollektör çıkışı doğrultusunda yükselmeye başlar. Türbin bacaya dikey doğrultuda yerleştirilir. Baca içerisine yerleştirilmiş olan türbin ise dönme hareketiyle kinetik enerjiyi buna bağlı bir jeneratör yardımı ile elektrik enerjisine dönüştürülür.



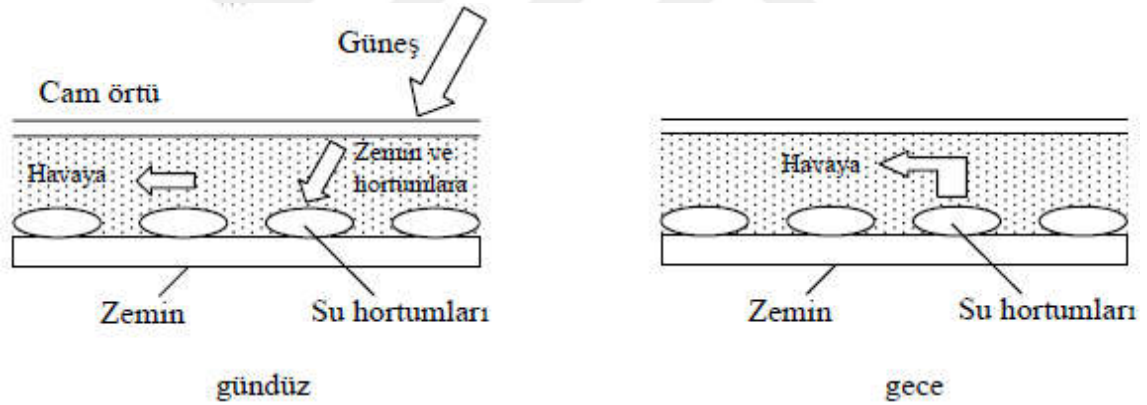
Şekil 2.6. Güneş bacası şematik gösterimi (Kasaeian ve ark., 2017)

Güneş bacası sistemi elemanlarını oluşturan malzemeler kolayca temin edilebilir olduğundan basit bir yapıya sahiptir. İlk yatırım maliyetini karşıladıktan sonra işletme maliyetleri yüksek değildir. Sistem elemanlarının işletilmesi ve bakımı için harici bir sisteme gereksinim duyulmaz. Yüksek güç elde edilebilmesi için sistemin kurulabilirliği

açısından geniş arazilere ihtiyaç vardır. Bu doğrultuda güneş ışınım değeri yüksek, tarım yapılamayan çorak arazi ve çöller tercih edilmelidir. Ayrıca fosil yakıtlardan elde edilen enerji çeşitleri, başta kömür ve petrol olmak üzere çevre kirliliğine yol açmaktadır. Güneş bacası sisteminde herhangi bir atık baca gazı söz konusu değildir.

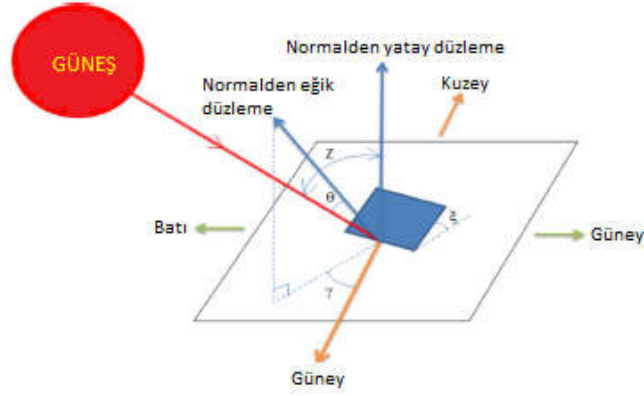
2.1.1. Kollektör

Kollektör; güneş bacası sisteminin güneş ışınlarını alan ve geçirgen yüzeyin altındaki havanın ısınmasını sağlayan bölümdür. Kollektör malzemesi belirlenirken önemli kriterler vardır. Malzemenin güneş ışınlarını geçirgenliği, dayanıklılığı, maliyeti dikkat edilmesi gereken en önemli özelliklerdir. Kollektör malzemesi olarak, cam, şeffaf mika ve naylon çoğunlukla tercih edilmektedir. Kollektör zemini güneş ışınlarını daha fazla absorbe edebilmesi için siyah renk tercih edilmelidir. Bazı güneş bacası sistemlerinde siyah zeminin altına su hortumları yerleştirilerek, gündüz içeride biriken ısı sayesinde geceleri de sistemin çalışması sağlanmaktadır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Su dolu siyah hortumlar kullanılan ortamda ısı depolama prensibi (İçel, 2012)

Kollektör gelen güneş ışınlarının tamamını kullanılabilir ısıya dönüştürülemez. Yüzeğe gelen ışınlar yansıma ve taşımayla ısı kayıpları oluşur (Şekil 2.8). Kollektör alanının büyük seçilmesi sistemden elde edilecek enerjinin artmasını sağlamaktadır. Kollektör yerden belirli bir yüksekliktedir. Havanın akış hızını artırabilmek için kollektörün dış kısımları yere daha yakın, diğer kısımlar ise bacaya doğru yükselerek ilerleyebilir.



Şekil 2.8.Kollektörün yüzeyine gelen güneş açıları (Balijepalli ve ark., 2017)

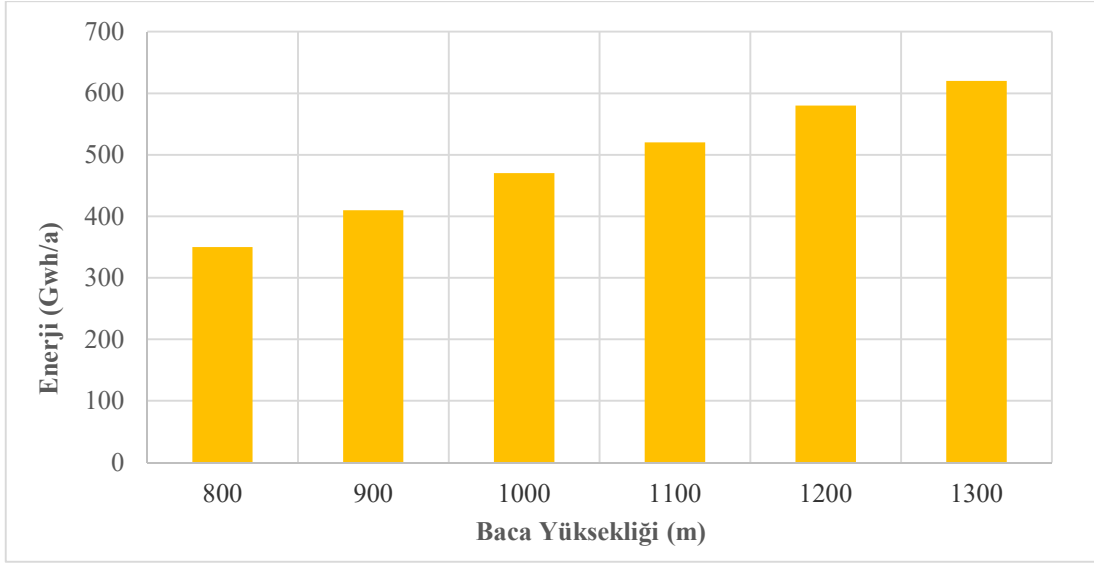
Kollektör altında sıcaklığı dış ortam havasından daha yüksek bir hava bulunmaktadır. Manzanares güneş bacası sisteminde kullanılan kollektör aynı zamanda tarım amaçlı bir sera olarak da kullanılmıştır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Manzanares prototipi kollektörünün sera olarak kullanılması (Schlaich ve ark., 2005)

2.1.2. Baca

Sistemin güç üretiminde doğrudan etkisi olan ana elamanlardan bir tanesi baca kısmıdır. Kollektörde ısınan hava bacanın vakum etkisi ile yukarıya doğru ilerler. Elektrik eldesi gerçekleşen büyük güneş bacası sistemlerinde baca içerisindeki hava hızı 15 m/s'ye kadar çıkabilmektedir. Baca yüksekliği ne kadar büyük olursa sistem verimine olumlu yönde katkısı olur. Üretilen elektrik enerjisi miktarına baca yüksekliğinin etkisi oldukça fazladır. Bu ilişki Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Baca yüksekliğinin elektrik enerjisi üretimine olan etkisi (Gün, 2013)

Kollektördeki ısı enerjisi bacada kinetik enerjiye dönüşür. Baca malzemesi olarak beton, alüminyum, sac ve çelik konstrüksiyonlar tercih edilmektedir. Sistemin kapasitesine göre yapılacak baca boyu yüksek ise çeşitli güvenlik önlemlerinin alınması gerekmektedir. Çelik gergi halatlarıyla zemine sabitleme yüksek bacalarda uygulanabilecek en iyi tedbirlerden bir tanesidir. Daha düşük yükseklikteki prototiplerin bacaları ise tek parça şeklinde yapılabilir. Bacanın giriş ve çıkışına fiziki olarak müdahale edebilmek için ulaşım yolları düşünülebilir. Havanın ısınması ve baca boyunca hareket etmesi sebebiyle bir basınç düşümü de meydana gelir. Basınç düşümü şu şekilde ifade edilebilir (Gün, 2013);

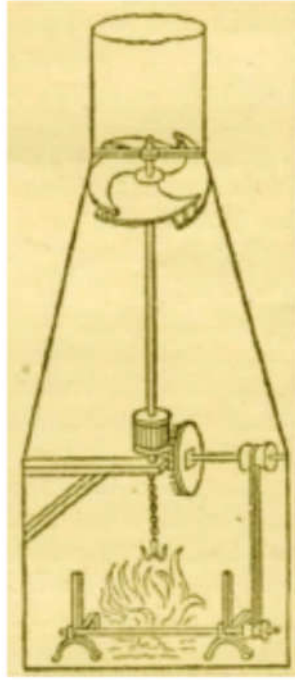
$$\Delta P_{top} = g \cdot H \cdot \frac{\Delta T}{T_0} \cdot \rho \quad (Pa) \quad (2.1)$$

Burada T_0 çevre sıcaklığı, ΔT kollektördeki sıcaklık farkını, H baca yüksekliğini ifade eder.

2.1.3. Türbin

Türbinler yüzyıllardır akarsularda ve rüzgarda bulunan mekanik enerjiyi bir mil vasıtasıyla dönme hareketi gerçekleştirerek faydalı mekanik enerjiye dönüştürmek için kullanılırlar. Akışkan su ise bu makineler hidrolik türbin, akışkan hava ve enerji rüzgardan alınıyorsa rüzgar türbini adını alır. Nükleer yakıtlı, kömür, doğalgaz gibi yakıtı olan güç santrallerindeki akışkan ise buhardır. Bunlara da buhar türbini denir. Bir sıkıştırılabilir gazı akışkan olarak kullanan türbinlere ise gaz türbinleri denir. (Çengel ve Cimbala, 2008)

Isınan havanın yükselerek bir baca etkisiyle çekiş meydana gelmesi prensibi Leonardo Da Vinci'ye kadar gitmektedir. Zemindeki ateşin ısıttığı hava yükselerek yukarıdaki pervaneyi döndürür ve buna bağlı olan mildeki kancaya takılmış yiyeceğin pişmesi Şekil 2.11'de gösterildiği gibi sağlanır (Koyun, 2006). Ayrıca Osmanlı dönemi bilim insanlarından Takiyüddin'in 1551'de ortaya koyduğu buharlaşan su ile çalışan bir türbinin güneş bacası sistemine benzer tasarımı mevcuttur (Köse, 2018).



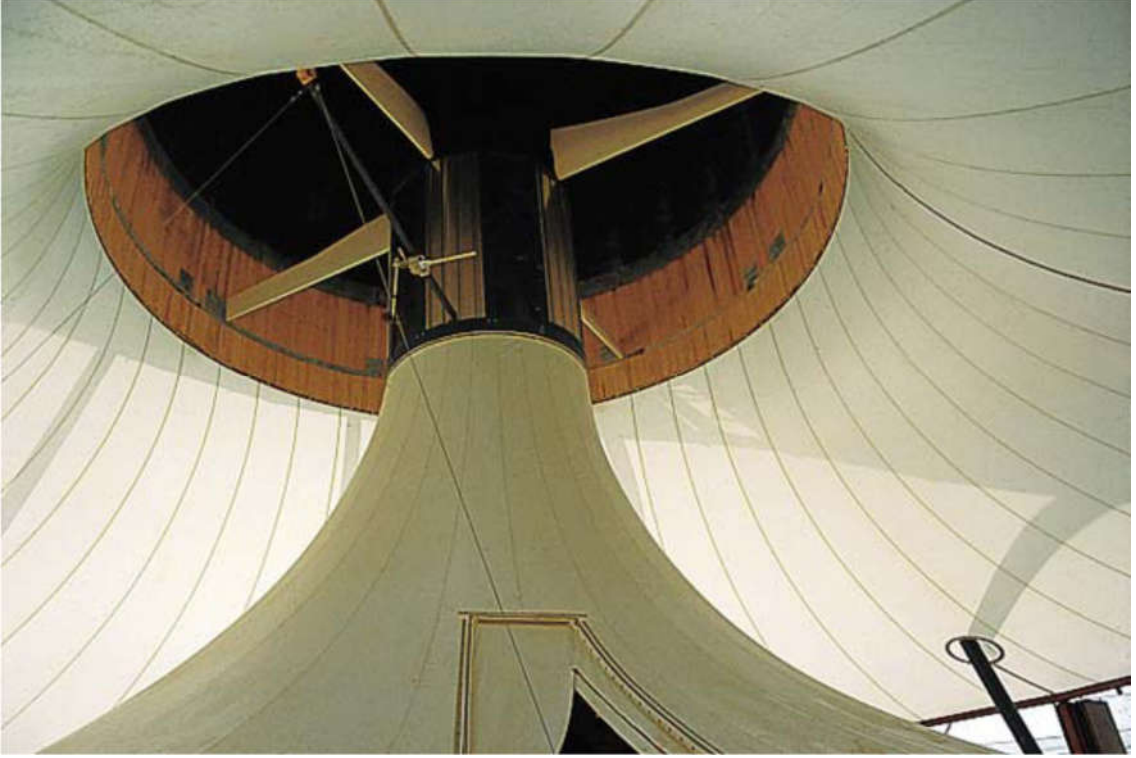
Şekil 2.11. Leonardo da Vinci'nin kızartma pervanesi (1452-1519) (Koyun, 2006)

Güneş bacası sistemlerinde kinetik enerjinin mekanik enerjiye dönüştürüldüğü kısım türbindir. Türbine entegre edilen bir jeneratör vasıtasıyla mekanik enerji elektrik enerjisine dönüştürülmüş olur. Türbin yerleşimi genelde bacanın alt kısmına, yani kollektör çıkışından hemen sonraki kısımda yapılır. Olası bakım ve arıza durumlarında veya yapılabilecek değişimlerin mümkün olması için rahatlıkla ulaşılabilir olması gerekmektedir. Baca kısmı yüksek bir güneş bacası sisteminde, eğer türbin yeri baca ortasında veya çıkışa yakın bir bölge seçildiğinde müdahale etmek mümkün olmayabilir. Manzanares Güneş Bacası sisteminde de türbin, bacanın alt tarafına konumlanmıştır (Şekil 2.12). Baca içerisinde montaj edilen türbinler dikey ekseninde dönme hareketini gerçekleştirirler.

Elektrik gücü (3.3) ve türbin verimi; $\eta_{türbin}$ (3.2) ifadeleri ile verilmiştir (Köse, 2018). η_{baca} ifadesi (3.10) numaralı denklemde belirtilmiştir.

$$P_{elk} = P_{mek} \cdot \eta_{türbin} \quad [W] \quad (2.2)$$

$$\eta_{türbin} = 1 - \frac{V_{bc}^2}{2 \cdot C_p \cdot \Delta T \cdot \eta_{baca}} \quad (2.3)$$



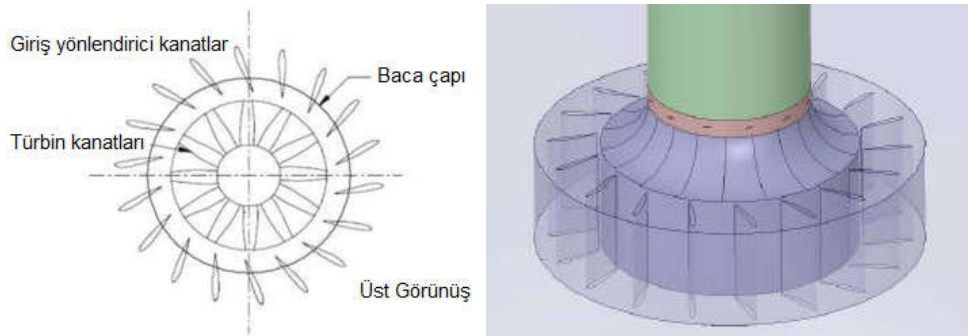
Şekil 2.12. Manzanares güneş bacası sistemi türbin yerleşimi (Schlaich ve ark., 2005)

Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi'nde yapılan prototipte baca yüksekliği 15 m olan sistem için 400 W'lık bir türbin kullanılmıştır (Şekil 2.13). Güneş bacası sisteminde kapasiteye göre birden fazla türbin montajı yapmakta mümkündür. Türbin öncesi ve sonrası hava hızı yaklaşık olarak birbiri ile aynıdır. Türbin kanatlarının ayarı değiştirilerek hava akış hızı düzenlenebilir ve basınç farkına etki edilebilir. Türbinin dönebilmesi için kanatların pozisyonu önemlidir. Türbin kanatlarının düz tarafları hava akışına dik olursa dönme gerçekleşmez. Eğer paralel duruyor ise hava diğer tarafa geçer ve elektrik üretimi meydana gelmez.



Şekil 2.13. Isparta SDÜ güneş bacası sistemi türbini (Üçgül ve Koyun, 2010)

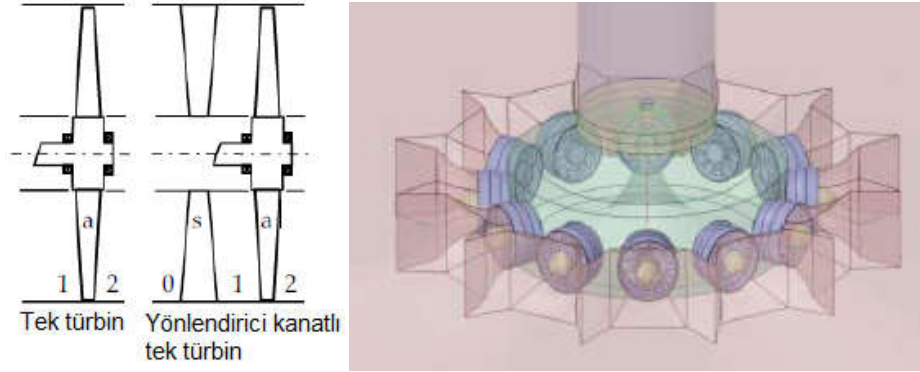
Gannon, yaptığı bir çalışmada Manzanares güneş bacası sistemi boyutlarını kullanarak şekil 2.14’de görülen baca girişine 12 kanatlı bir türbin yerleştirmiş, kollektörün tüm çevresini kaplayacak şekilde 18 adet de yönlendirici kanat eklemiştir. Sonuçta 58 d/d’da 78 kW’lık enerji gözlenmiştir (Gannon ve von Backström, 2003).



Şekil 2.14. Gannon’un sisteminin Manzanares ölçeğinde şematik ve 3D gösterimi (Gannon ve von Backström, 2003)

Güneş bacası türbinleri baca girişi ve çıkışına yerleştirilebildiği gibi kollektör etrafına da yerleştirilebilirler. Fluri Manzanares güneş bacası sistemi boyutlarını kullanarak kollektör etrafına Şekil 2.15’te görülen 12 adet türbin yerleştirmiştir. Yerleştirilen türbinlerde yaptığı 4 farklı incelemede Şekil 2.15’te görülen tek rotorlu yönlendirici kanatlı türbin kullanımının Manzanares modeline uyarlandığında en iyi

sonucu verdiğini ve $86 d/d$ 'da $32,5 \text{ kW}$ güç çıkışını tespit etmiştir (Fluri ve Von Backström, 2008).



Şekil 2.15. Fluri'nin sisteminin Manzanares ölçeğinde 3D gösterimi ve türbin tipi (Fluri ve Von Backström, 2008)

Manzanares modelinde elde edilen 35 kW 'lık enerjiyle karşılaştırıldığında 12 kanatlı ve kolektöründe 18 adet yönlendirici bulunan model 78 kW 'lık enerji eldesiyle gelecek vadetmektedir (Fluri ve Von Backström, 2008).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Matematiksel Denklemler ve Kavramlar

3.1.1. Sıkıştırılabilir ve Sıkıştırılamaz Akışlar

Akışın sınıflandırılması yoğunluğun akış boyunca değişim miktarına göre sıkıştırılabilir ya da sıkıştırılamaz olarak yapılabilir. Bir akış boyunca yoğunluk her kısımda yaklaşık sabit kalıyor ise, akışa sıkıştırılamaz denebilir. Yapılan kabulde akış sıkıştırılamaz ise akışkanın hacmi, hareketi süresince değişmez.

Yüksek hızlı gaz akışlarının bulunduğu sistemlerde akış hızı, boyutsuz olan “Mach Sayısı” ile ifade edilir (Çengel ve Cimbala, 2008).

$$Ma = \frac{V}{c} \quad (3.1)$$

$V \rightarrow$ Akış hızı

$c \rightarrow$ Deniz seviyesinde ve oda sıcaklığındaki havada 346 m/s değerini alan ses hızıdır.

$Ma < 1 \rightarrow$ ses altı hız

$Ma = 1 \rightarrow$ ses hızında

$Ma > 1 \rightarrow$ ses üstü hız

Sıvıların akışları yüksek bir doğrulukla sıkıştırılamaz kabul edilebilir. Ancak gaz akışlarındaki yoğunluk farkının değeri ve akışın sıkıştırılamaz olarak kabullenmesindeki yaklaşımın doğruluğu, Mach sayısına bağlıdır. Gaz akışları $Ma < 0,3$ olduğunda, yani yoğunluk farkı %5 in altında kaldığında sıkıştırılamaz kabul edilebilir. Sonuç olarak havanın sıkıştırılabilirlik etkileri, yaklaşık 100 m/s'nin altındaki hızlarda ihmal edilebilir (Çengel ve Cimbala, 2008).

3.1.2. İç ve Dış Akışlar

Bir akış, eğer akışkan sınırları belirli bir kanalın içinden akmaya zorlanıyorsa iç akış, bir yüzeyin üzerinden akmaya zorlanıyorsa dış akış olarak sınıflandırılabilir. Eğer akışkan bir boru, bir tel veya bir plaka gibi bir yüzey üzerinden herhangi bir sınır olmadan akması dış akışı ifade eder. Eğer akışkan bir kanal veya boru gibi katı yüzeyler ile tamamen sınırlandırılmış ise iç akış söz konusudur. Viskozeite, bütün akış boyunca iç akışı etkisi altında tutar (Çengel ve Cimbala, 2008).

3.1.3. Laminer ve Türbülanslı Akışlar

Akışlar düzenli ve düzensiz olarak isimlendirilebilir. Çalkantılı olmayan akışkan tabakalarına sahip olan çok düzenli olan akışkan hareketleri laminer akış şeklinde tanımlanır. Yaygın olarak yüksek akış hızlarında görülen çok düzensiz akışkan

hareketleri de türbülanslı akışı ifade eder. Bu iki akış arasında sürekli değişkenlik gösteren akışa geçiş akışı denir. Laminer akıştan türbülanslı akışa geçiş aşamasında geometri, akış hızı, akışkan türü, yüzey sıcaklığı ve pürüzlülüğü gibi bileşenler etki eder. Osborne Reynolds'un 1880'li yıllarda gerçekleştirdiği deneylerin sonucunda; akış rejiminin atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere bağlı olduğu belirlenmiştir. Bu orana Reynolds sayısı denir ve bir dairesel boruda gerçekleşen iç akış aşağıdaki şekilde gösterilir (Çengel ve Cimbala, 2008);

$$Re = \frac{\text{Atalet kuvvetleri}}{\text{Viskoz kuvvetler}} = \frac{V_{ort} \cdot D}{\nu} = \frac{\rho \cdot V_{ort} \cdot D}{\mu} \quad (3.2)$$

Burada;

V_{ort} : Ortalama akış hızı (m/s)

D : Geometrinin karakteristik uzunluğu, çap (m)

ν : Akışkanın kinematik viskozitesi (m^2/s)

Uygulamalardaki dairesel borulardaki akışlarda;

$Re \lesssim 2300$ laminer akış

$2300 \lesssim Re \lesssim 2300$ geçiş akışı

$Re \gtrsim 2300$ türbülanslı akış

25°C sıcaklıktaki hava için (Çengel, 2000) ve (Çengel ve Cimbala, 2008) ;

$D = 0,7 \text{ m}$

$V_{ort} = 3 \text{ m/s}$

$\nu = 0,00001562 \text{ m}^2/\text{s}$

$$Re = \frac{V_{ort} \cdot D}{\nu} = \frac{3 \cdot 0,7}{0,00001562} = 134.443 \text{ bulunur.}$$

25°C sıcaklıktaki hava için (Çengel, 2000) ve (Çengel ve Cimbala, 2008);

$D = 0,7 \text{ m}$

$V_{ort} = 4 \text{ m/s}$

$\nu = 0,00001562 \text{ m}^2/\text{s}$

$$Re = \frac{V_{ort} \cdot D}{\nu} = \frac{4 \cdot 0,7}{0,00001562} = 179.257 \text{ bulunur.}$$

25°C sıcaklıktaki hava için (Çengel, 2000) ve (Çengel ve Cimbala, 2008);

$$D = 0,7 \text{ m}$$

$$V_{ort} = 5 \text{ m/s}$$

$$\nu = 0,00001562 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Re = \frac{V_{ort} \cdot D}{\nu} = \frac{5 \cdot 0,7}{0,00001562} = 224.071 \text{ bulunur.}$$

3.1.4. Doğal ve Zorlanmış Akışlar

Akışkanın hareketini başlatan etkene göre akış, doğal veya zorlanmış akış olarak isimlendirilir. Fan, pompa gibi dış etkenler ile bir kanal içinden ya da bir yüzeyin üzerinden akmaya mecbur bırakılan akışkan söz konusu ise bu zorlanmış bir akıştır. Doğal akışta ise kendiliğinden oluşan kaldırma, yükselme ve alçalma etkisi gibi doğal etkenler vardır (Çengel ve Cimbala, 2008).

3.1.5. Daimi ve Daimi Olmayan Akışlar

Akış gerçekleşen herhangi bir noktada zaman içerisinde hiçbir değişim olmuyorsa daimi akış, karıştı bir durum var ise daimi olmayan akış söz konusudur. Eğer belirlenmiş bir bölgenin içerisinde konuma bağlı hiçbir değişim gerçekleşmiyorsa üniform akış ifadesi kullanılır (Çengel ve Cimbala, 2008).

3.1.6. Güneş Bacası Sisteminde Kullanılan Denklemler

Güneş bacası sistemlerinin güç üretiminin hesaplanmasında güneş ışıınımı, kollektör, baca ve türbin verimleri bilinmelidir. Sistemin gücü aşağıdaki gibi ifade edilir (Schlaich ve ark., 2005).

$$P = \dot{Q}_{güneş} \cdot \eta_{sistem} \quad (3.3)$$

$$P = \dot{Q}_{güneş} \cdot \eta_{koll} \cdot \eta_{baca} \cdot \eta_{türbin} \quad [W] \quad (3.4)$$

Burada;

P : Güneş bacası sisteminde üretilen güç

$\dot{Q}_{güneş}$: Kollektöre gelen güneş enerjisi

η_{sistem} : Güneş bacası sisteminin verimi

η_{koll} : Kollektör verimi

η_{baca} : Baca verimi

$\eta_{türbin}$: Türbin verimi

Güneş ışınlamı, güneş bacası sistemine kollektörden giriş yaptığı için kollektör alanı dikkate alınmalıdır (İçel, 2012).

$$\dot{Q}_{güneş} = G \cdot A_{koll} \quad [W] \quad (3.5)$$

Burada;

G : Kollektör yüzeyine gelen anlık toplam güneş ışınlamı

A_{koll} : Kollektör alanı

Kollektörde ısınan hava bacada oluşan vakum etkisi ve havadaki yoğunluk farkından dolayı kazandığı kaldırma kuvveti ile yükselir. Basınç farkı Δp_{top} aşağıdaki gibi hesaplanır (İçel, 2012).

$$\Delta P_{top} = g \cdot \int_0^H (\rho_a - \rho_{baca}) \cdot dH \quad [W] \quad (3.6)$$

ΔP_{top} baca yüksekliği ile doğru orantılı olarak artar.

Burada,

g : Yerçekimi ivmesi

H : Baca yüksekliği

ρ_a : Çevre hava yoğunluğu

ρ_{baca} : Baca içi hava yoğunluğu

Statik ve dinamik basınç farkı toplamı sürtünmeden kaynaklı kayıplar ihmal edildiğinde basınç farkını (ΔP_{top}) ifade eder. Türbin bölgesinde statik basınç farkı düşer. Burada havanın kinetik enerjisi dinamik basıncı tanımlar. $\Delta p_s = 0$ olduğunda (İçel, 2012);

$$P_{top} = \Delta P_{top} \cdot V_{baca,max} \cdot A_{koll} \quad [W] \quad (3.7)$$

Burada,

$V_{baca,maks}$: Baca içindeki maksimum akış hızı

$$P_{top} = \frac{1}{2} m V_{baca,maks}^2 \quad [Pa] \quad (3.8)$$

Boussinesq denklemi kullanılarak (İçel, 2012);

$$V_{baca,maks} = \sqrt{2 \cdot g \cdot H \cdot \frac{\Delta T_C}{T_0}} \quad \left[\frac{m}{s} \right] \quad (3.9)$$

Burada;

T_0 : Çevre sıcaklığı

ΔT_c : Çevre sıcaklığından baca girişi sıcaklığına kadar olan artış

Yukarıdaki denklemler kullanıldığında baca verimi (Köse, 2018) ;

$$\eta_{baca} = \frac{g \cdot H}{C_p \cdot T_0} \quad (3.10)$$

Burada;

C_p : Havanın özgül ısı değeri

Kollektör verimi (Köse, 2018) ;

$$\eta_{koll} = \frac{Q}{A_{koll} \cdot G} \quad (3.11)$$

Burada;

Q : Kollektör çıkışındaki güç

G : Kollektör yüzeyine gelen anlık toplam güneş ışınımı

$$Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad [W] \quad (3.12)$$

$$\dot{m} = \rho_{koll} \cdot V_{koll} \cdot A_{koll} \quad \left[\frac{kg}{s}\right] \quad (3.13)$$

(3.15) ve (3.16) numaralı denklemler kollektör verimi ifadesinde yerine yazıldığında (İçel, 2012);

$$\eta_{koll} = \frac{\rho_{baca} \cdot V_{baca} \cdot A_{baca} \cdot C_p \cdot \Delta T}{A_{koll} \cdot G} \quad (3.14)$$

Hacimsel debi yazıldığında (İçel, 2012);

$$\dot{V} = V_t \cdot A_t \quad \left[\frac{m^3}{s}\right] \quad (3.15)$$

$$P_{türbin} = \dot{V} \cdot \Delta p_{türbin} \quad [W] \quad (3.16)$$

$P_{türbin}$ maksimum değerini aldığı anda hava hızı aşağıdaki gibi olur (İçel, 2012);

$$V_{t,maksimum} = \sqrt{\frac{2}{3} \cdot \frac{\Delta p_{türbin}}{\rho_t}} \quad \left[\frac{m}{s}\right] \quad (3.17)$$

Türbin bölgesindeki düşüş, tüm basınç farkının 2/3'ü oranında ise maksimum güç elde edilir. Türbinin mekanik gücü (İçel, 2012);

$$P_{mek} = \frac{2}{3} \eta_{baca} \cdot \eta_{koll} \cdot A_{koll} \cdot G \quad [W] \quad (3.18)$$

Betz katsayısı, güç faktörüdür ve değeri maksimum %59,26'dır. Bu değere Lanchester-Betz limiti denir. Bir rüzgâr türbinin en fazla %59.26 verime sahip olabileceğini gösterir (İçel, 2012).

$$P_{maksimum} = C_{pBetz} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V_r^3 \quad [W] \quad (3.19)$$

3.2. Türbin Tasarımı

Tasarlanacak ve denemeleri yapılacak olan güneş bacası türbini için Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi binasının güney cephesine kurulmuş, ölçüleri Çizelge 3.1'de verilen bir güneş bacası sistemi, deney düzeneği olarak kullanılmıştır (Şekil 3.1). Sistemin boyutları göz önüne alındığında çapı 70 cm olan özel tasarım bir türbin kullanılmasının uygun olacağına karar verilmiştir.



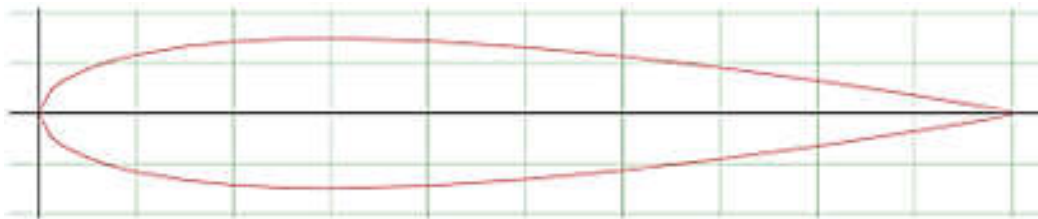
Şekil 3.1. Konya Teknik Üniversitesi güneş bacası sistemi

Çizelge 3.1. Konya Teknik Üniversitesi güneş bacası sistemi ölçüleri

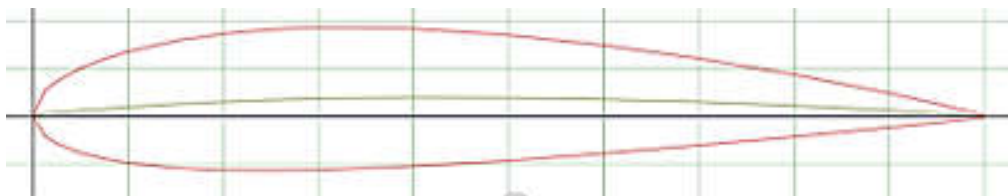
Baca yüksekliği	8 m
Kollektör çapı	6,4 m
Baca çapı	0,71 m
Kollektör giriş ağız açıklığı	0,5 m
Kollektör yüksekliği	0,5 m

3.2.1. Türbin Kanat Profillerinin Belirlenmesi

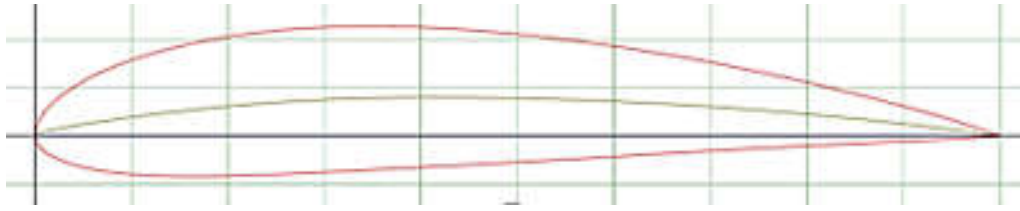
Türbin kanatlarında kullanılacak profil tipinin belirlenmesinde bu alanda yapılan çalışmalar neticesinde çoğunlukla tercih edilen NACA4415 öne çıkmıştır. Profillerin belirlenmesinde Ulusal Havacılık Danışma Kurulu (NACA)'nın kuralları esas alınmıştır. Kamburluk-kiriş oranları değiştiğinde nasıl davranış sergileyeceğinin karşılaştırmalı analizinin yapılabilmesi için NACA grubunun aynı hane sayısına ve aynı kalınlık oranına (%15) sahip üç farklı kanat profili belirlenmiştir. Bu doğrultuda Şekil 3.2, 3.3 ve 3.4'te gösterilen NACA4415, NACA2415 ve NACA0015 profil tipleri seçilmiştir. Profil fiziki görünüşünün farklılığının anlaşılabilmesi için Şekil 3.5'te üç profil tipi de bir arada verilmiştir.



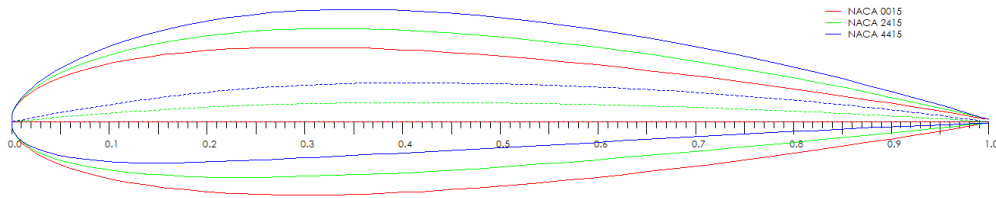
Şekil 3.2. NACA0015 (Anonim, 2019a)



Şekil 3.3. NACA2415 (Anonim, 2019a)

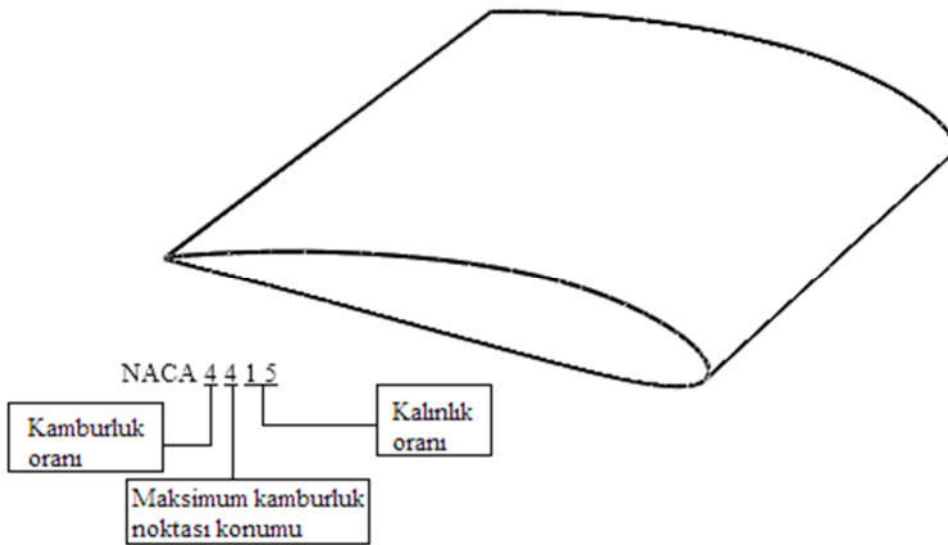


Şekil 3.4. NACA4415 (Anonim, 2019a)



Şekil 3.5. NACA0015 – NACA2415 – NACA4415 (Anonim, 2019a)

Kodlamalarda ilk rakam kamburluk oranını, ikinci rakam maksimum kamburluk noktası konumunu, son iki rakam ise kalınlık oranını ifade etmektedir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. NACA Profilinde hanelerdeki kodlamanın anlamı

Seçilen profil tiplerinin kanat tasarımında kullanılabilmesi için her profil tipi için Şekil 3.7’de gösterilen profil koordinatları <http://airfoiltools.com/> web sitesinden temin edilerek 3D çizim programına aktarılmıştır.

Data Dosyası

NACA 4415	
1.00000	0.00000
0.99893	0.00039
0.99572	0.00156
0.99039	0.00349
0.98296	0.00610
0.97347	0.00932

Şekil 3.7. NACA Profil oluşturma koordinatları ekranı (Anonim, 2019a)

3.2.2. Türbin Rotor ve Kanat Boyunun Hesabı

Kurulu güneş bacası sisteminde; baca çapı 71 cm olduğu için türbin tam çapı 70 cm olarak belirlenmiştir. Türbin kanatları bacanın tüm kesit alanını kaplamalıdır. Kanat boyunun belirlenebilmesi için rotor kısmının çap hesabı yapılması gerekmektedir. Mevcut çalışmalardan belirlenen bir ortalama devir hızı ve baca girişinde ortalama bir hava hızı belirlenerek rotor çapı hesabı yapılmıştır (Gökelim, 1983).

$$n_{ort} = 240 \text{ dev/dk}$$

$$V_{baca,ort} = 2,2 \text{ m/s}$$

$$\Delta P = 0,3 \text{ mmSS}$$

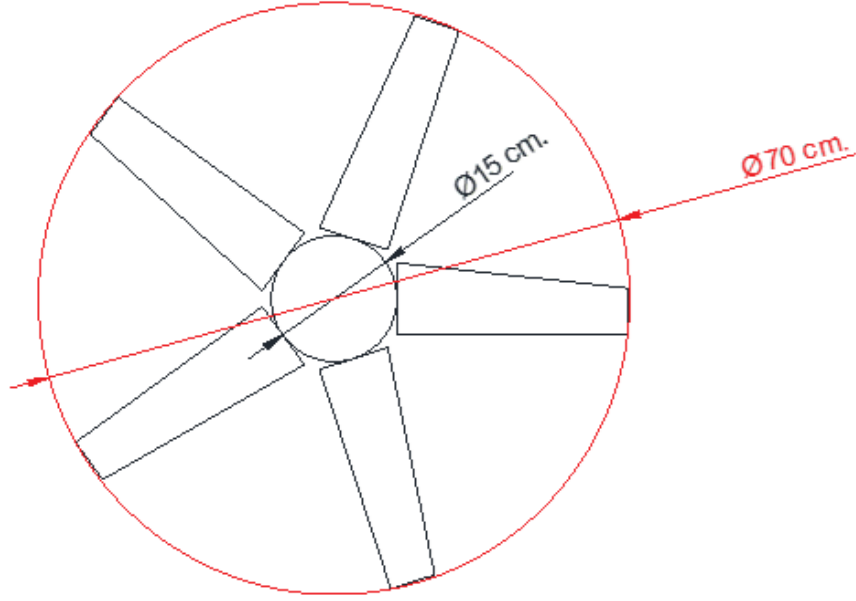
$$u = \frac{\pi \cdot d_2 \cdot n}{60} = \frac{\pi \cdot 0,7 \cdot 320}{60} = 8,79 \frac{m}{s} \quad (\text{çevresel hız}) \quad (3.20)$$

$$\Psi = \frac{2 \cdot g \cdot \Delta P}{\rho \cdot u^2} = \frac{2 \cdot 9,81 \cdot 0,3}{1,2 \cdot 11,72^2} = 0,063 \quad (\text{basınç sayısı}) \quad (3.21)$$

$$\lambda_b = \sqrt{(0,8 \cdot \Psi)} = \sqrt{(0,8 \cdot 0,063)} = 0,225 \quad (\text{başlık oranı}) \quad (3.22)$$

$$d_1 = \lambda_b \cdot d_2 = 0,225 \cdot 0,7 \text{ ise } d_1 = 0,157 \text{ m}$$

$d_1 = 15 \text{ cm}$ seçilir. (türbin rotor çapı şekil 3.8'de gösterilmiştir.)

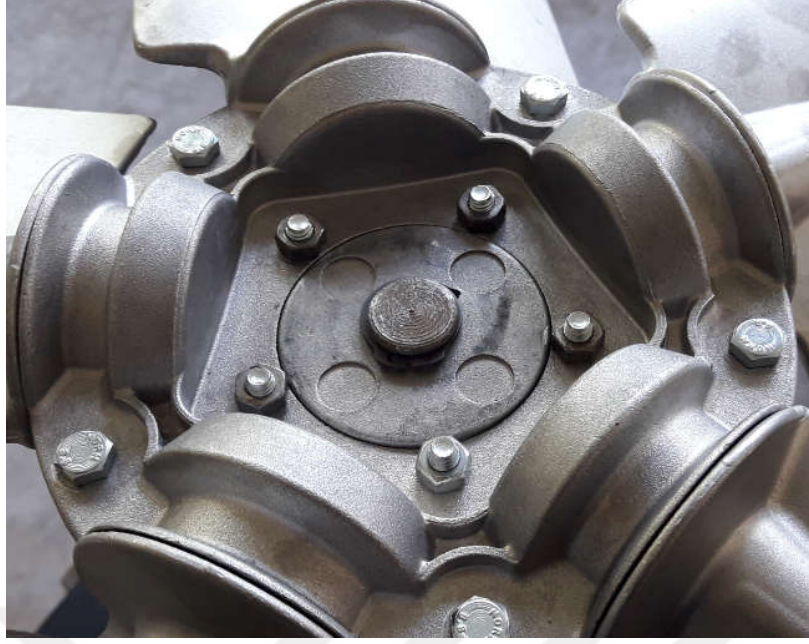


Şekil 3.8. Rotor ve türbin çapı ölçüleri şematik gösterimi

Yapılan hesaba göre şekil 3.9’da gösterilen rotor türbinde kullanılmak üzere temin edilmiştir. Kanatlar rotor içerisindeki yuvalara yerleştirildikten sonra alt ve üst kapak Şekil 3.10’da gösterildiği gibi somun ve vida vasıtasıyla birleştirilir.



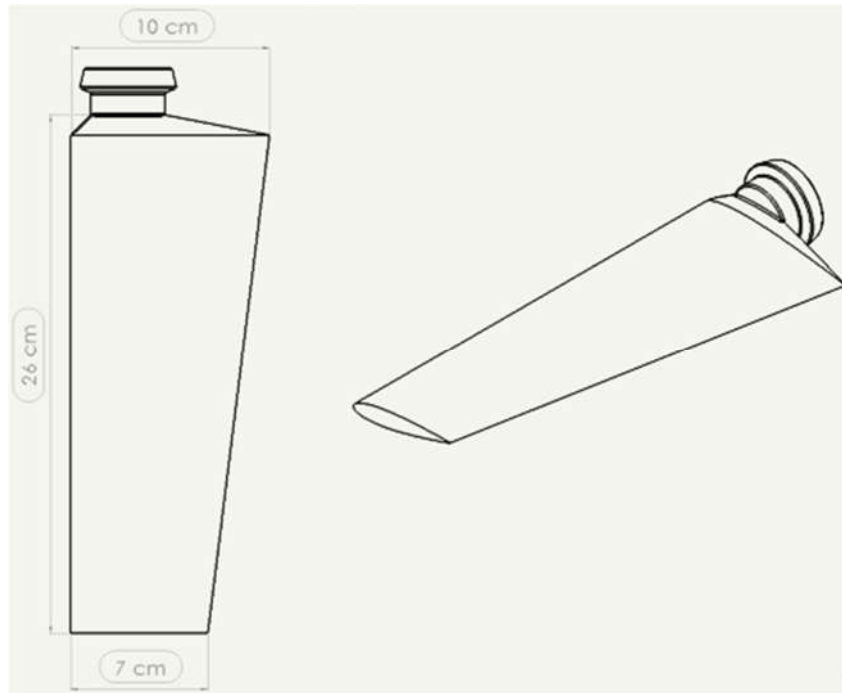
Şekil 3.9. Türbin rotoru alt ve üst kapak görüntüsü



Şekil 3.10. Türbin rotoru montaj görüntüsü

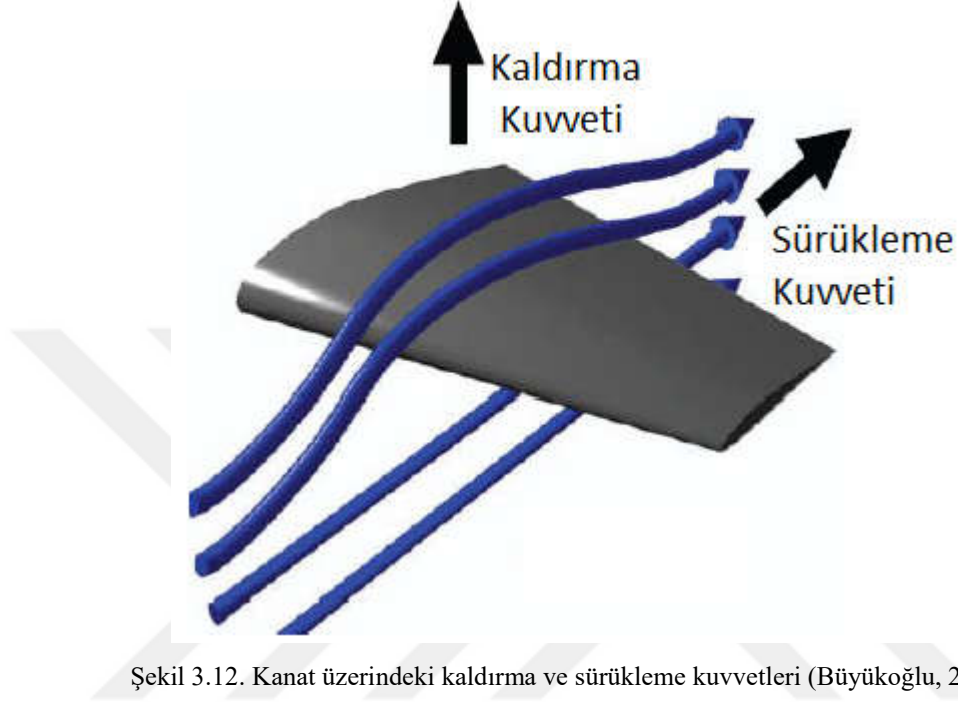
3.2.3. Türbin Kanatlarının Çizimi ve İmalatı

İstenilen profil tiplerinde hesabı yapılan 26 cm boyunda, alt kiriş uzunluğu 10 cm, üst kiriş uzunluğu 7 cm olan kanat çizimleri için profil koordinatları 3D katı modelleme programına aktarılır. Her bir profil tipi için 10° kanat açısında çizimler gerçekleştirilmiştir (şekil 3.11.).



Şekil 3.11. Kanat uzunluğu ve alt-üst kiriş ölçüleri

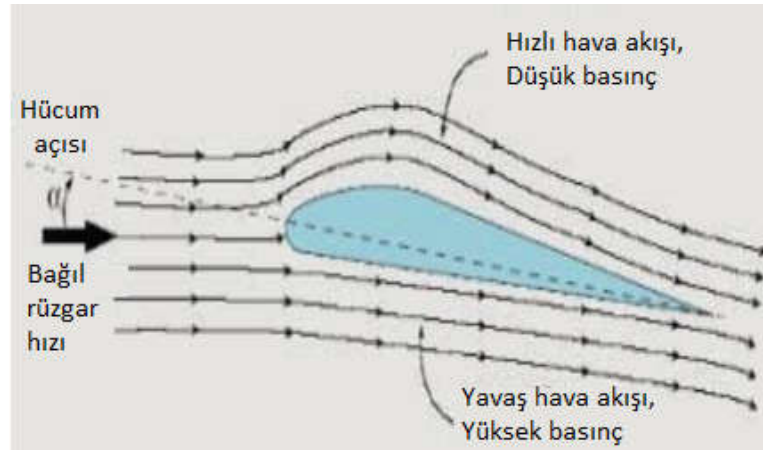
Türbinde dönme hareketi başladığında kanata etki eden 2 adet ana kuvvet vardır. Bu kuvvetler (kaldırma ve sürüklenme) Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Kanatın düz tarafında daha yüksek bir basınç, kavisli tarafında ise daha düşük bir basınç vardır (Büyükoğlu, 2014).



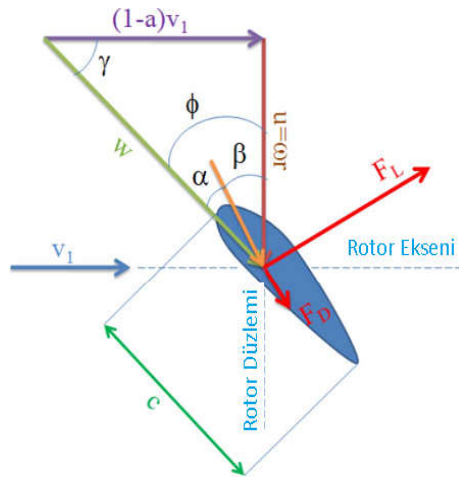
Şekil 3.12. Kanat üzerindeki kaldırma ve sürüklenme kuvvetleri (Büyükoğlu, 2014)

Şekil 3.13’de türbinde kinetik enerjinin mekanik enerjiye dönüşümü esnasında basınç azalması meydana gelir. Bu basınç azalması Bernoulli denkleminde (Büyükoğlu, 2014);

$$\Delta PS = \Delta P_{toplam} - \frac{1}{2} \rho_{baca} V_{2baca}^2 \quad [Pa] \quad (3.23)$$



Şekil 3.13. Bernoulli etkisi (Büyükoğlu, 2014)



Şekil 3.14. Kanat profilinde oluşan hız üçgeni, kuvvetler ve açılar (Balijepalli ve ark., 2017)

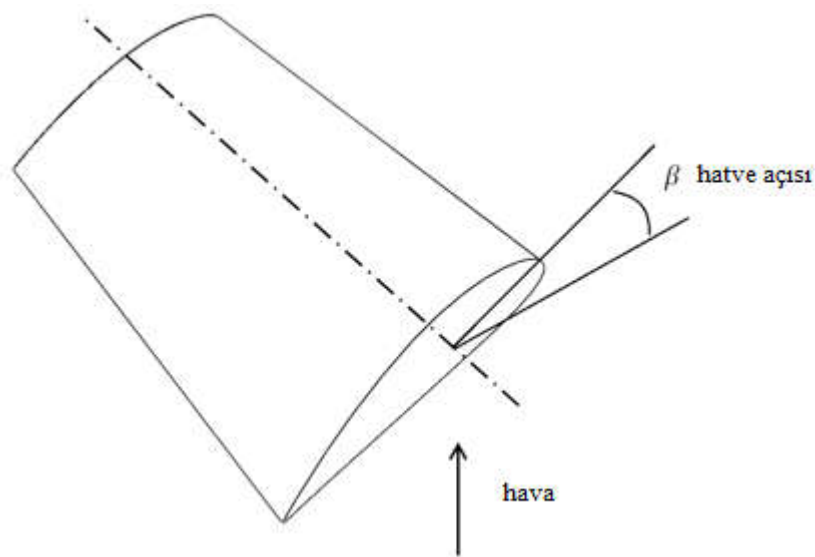
Rotor için uç hız oranı (Balijepalli ve ark., 2017);

$$\lambda = \frac{\omega \cdot d_2}{V_1} \quad (3.24)$$

Türbinin dönme hızı (Balijepalli ve ark., 2017);

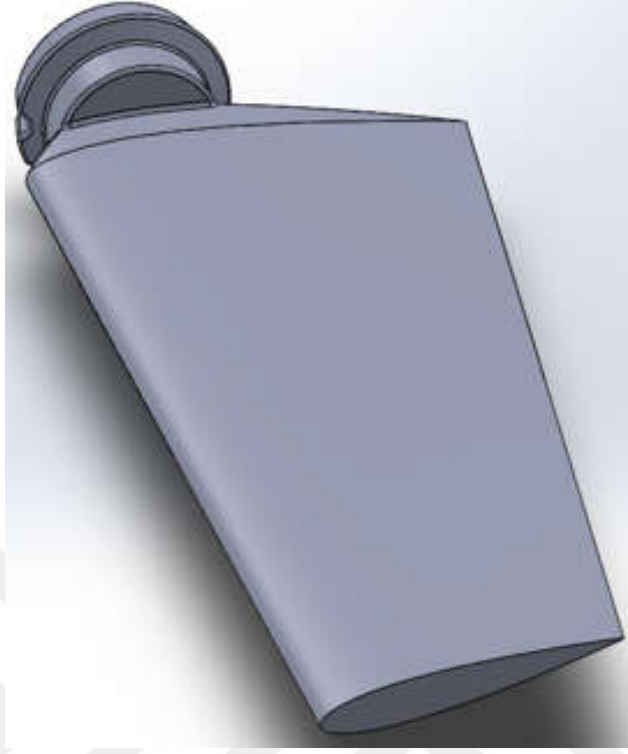
$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_t}{60} \quad \left(\frac{rad}{s}\right) \quad (3.25)$$

Güneş bacası türbini için hatve açısı Şekil 3.15'te gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Güneş bacası türbini için hatve açısı

3D katı modelleme programında çizimi yapılan farklı profil tipine sahip kanatlar Şekil 3.16 – Şekil 3.17 – Şekil 3.18’de verilmiştir.



Şekil 3.16. NACA0015 türbin kanadı 3D katı modelleme

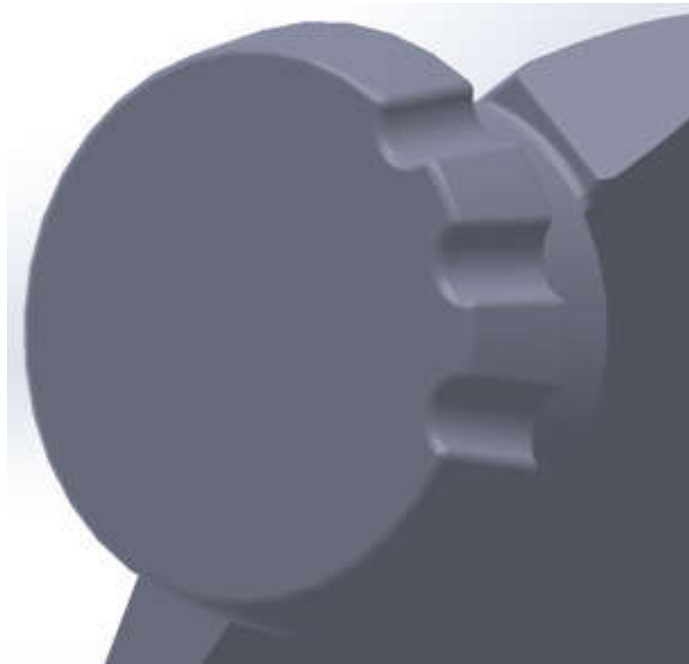


Şekil 3.17. NACA2415 türbin kanadı 3D katı modelleme



Şekil 3.18. NACA4415 türbin kanadı 3D katı modelleme

Türbin kanatlarının rotora bağlantı noktası tasarlanırken kanatların davranış biçimini incelemek amacıyla her kanat için üçer adet hatve açısı belirlenmiştir. (40° , 45° ve 50°). Kanatlar bağlantı noktasından rotor içerisine yerleştirilirken silindir şeklindeki pimler vasıtasıyla istenilen açıda sabitlenirler (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Türbin kanatının farklı hatve açıları için rotor bağlantı bölümü

Türbin kanatlarının dayanıklı, kalıp kullanarak döküm kolaylığı ve yüzey pürüzlülüğünün istenilen şekilde sağlanabilmesi sebebiyle alüminyum malzeme tercih edilmiştir. Alüminyum döküm işleminin gerçekleştirilebilmesi için kalıp olarak kullanılmak üzere 3D katı modelleme programında çizimi yapılan tasarım, üç boyutlu yazıcı yardımıyla model haline getirilmiştir (Şekil 3.20.).



Şekil 3.20. Üç boyutlu yazıcı ile yapılan türbin kanat modelleri

3D katı modelleme programında çizimi yapılan tasarım ve Alüminyum döküm yoluyla elde edilen ürün hali Şekil 3.21’de verilmiştir.



Şekil 3.21. Türbin kanatlarının 3D katı modelleme programında çizilmiş ve ürün hali

3 farklı profil tipinden (NACA0015, NACA2415, NACA4415) oluşan kanatların her birinden beşer tane olmak üzere toplamda 15 adet türbin kanatı imal edilmiştir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. NACA0015, NACA2415, NACA4415 türbin kanatları

Üretimi biten türbin kanatları sırayla rotora montaj edilerek, deney setinde kullanılmak üzere jeneratöre bağlantısı gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. Türbin kanatlarının rotora montajlanmış hali

3.2.4. Türbin Elemanlarının Montajı

Mevcut güneş bacası sistemi bir prototip olduğundan, yüksek bir enerji elde edilemeyeceği için, daha önce yapılan çalışmalar da dikkate alınarak 100 W'lık DC bir jeneratör seçimi yapılmıştır.

Çizelge 3.2. Türbin jeneratörü özellikleri

Marka	Ekowind
Çıkış Gerilimi	12 Volt DC
Üretim	100 W

Jeneratör milinin ucuna rotor montajının yapılabilmesi için kamalı bir bağlantı gerçekleştirilmiştir. Böylece jeneratör mili ve rotor göbeği Şekil 3.24'te gösterildiği gibi tek bir parça haline gelmiştir.



Şekil 3.24. Türbin jeneratörü

Hazırlanan türbin kanatlarının rotora montajları vida ve somun yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Kollektör çıkışı ile baca girişi arasındaki mesafeden dolayı içi boş paslanmaz çelik malzemedен resim 3.25’de gösterilen uzatma parça türbin montaj tepsisi üzerine sabitlenmiştir.



Şekil 3.25. Türbin uzatma parçası

Uzatma parçası üzerine jeneratör montajı yapılarak, jeneratörden çıkan kablolar türbin montaj tepeşinin ortasında bırakılan boşluktan çıkartılır. Türbin uzatma parçası, jeneratör, rotor ve türbin kanatlarının montajı deney setine yerleştirilme aşamasında Şekil 3.26’da gösterilmiştir.



Şekil 3.26. Güneş Bacası Sistemi için imal edilen rüzgar türbini

Daha önceki aşamada 1 adet rotor ve 5 adet kanatı birleştirilen türbinin montajı jeneratör üzerine yapılır. Artık tüm parçalar montajlanmış ve türbin, güneş bacası sistemine dahil olmaya hazır hale getirilmiştir.

3 farklı kanat profili olduğundan ve her bir profilden oluşacak kanatlar 3 değişik hatve açısında denenecek olduğu için sürekli sökme ve takma işlemlerinin yapılması gerekmektedir. Bu sebeple rotora montajlanan kanatların değişiminin rahatlıkla yapılabilmesi için türbinin aşağı ve yukarı hareketini sağlayacak resim 3.27’de görülen basit bir sistem imal edilmiştir.



Şekil 3.27. Türbin güneş bacası girişine kaldırma-indirme mekanizması ile yerleştirilir.

3.2.5. Ölçüm Aletleri ve Ölçüm İşlemleri

Deney düzeneği üzerine güvenli ve detaylı bir veri akışı sağlayabilmek için otomasyon sistemi ile takip edilebilen, sıcaklık, basınç farkı, hava hızı, rüzgar hızı, nem, akım, gerilim ve devir ölçümü yapabilen, özellikleri aşağıda verilen sensörler yerleştirilmiştir.

1- Baca içerisindeki farklı noktalarda havanın akış hızını ölçebilmek için 0-20 m/s aralığında, 210 mm. uzunluğunda probu olan 3 adet HK marka hava akış hızı sensörü (Şekil 3.28.)

2- Dış ortam sıcaklık ve nem değerlerini alabilmek için sıcaklık ölçüm aralığı $-40/125^{\circ}\text{C}$, nem ölçüm aralığı %Rh 0/100 olan iztekno marka sıcaklık-nem sensörü (Şekil 3.29)

3- Türbin devir sayısını ölçebilmek için foto-lazerli, ölçüm mesafe aralığı 30 – 350 mm. olan dijital takometre (Şekil 3.30.)

4- Türbin öncesi ve sonrası basınç farkını ölçebilmek için $-250 - 10000$ Pa aralığında, $\% \pm 0.5$ doğruluğa sahip fark basınç ölçüm cihazı (Şekil 3.31.)

5- Dış ortam rüzgar hızı değerini belirlemek için 0 – 50 m/s arasında ölçüm yapabilen, $\% \pm 2$ hassasiyetli WS-E1 model rüzgar hızı sensörü (Şekil 3.32.)

6- Kollektör, baca içindeki ve ortam hava hızını ölçmek için 1 adet ± 0.01 m/s hassasiyetinde, pervane çapı 50 mm olan 4 kanatlı anemometre (Şekil 3.33)

7- Jeneratörde üretilen elektriğin gerilim ve akım değerlerinin ölçülebilmesi için otomasyon panosu içerisine montajlanmış 1 adet dijital avometre. Akım için doğruluk oranı $\% \pm 0.2$, gerilim için $\% \pm 0.1$ (Şekil 3.34.)

8- Kollektör ve baca içerisindeki sıcaklık değerlerini ölçmek için $-45^{\circ}\text{C}/+125^{\circ}\text{C}$ arasında ölçüm yapabilen sensörler.

9- Güneş ışınımı değerleri için kullanılan ışınım ölçer Şekil 3.36'da verilmiştir. 4000 W/m²'ye kadar ölçüm yapabilmektedir.

Şekil 3.37'de güneş bacası ve türbin sisteminin otomasyon sistemini içinde bulunduran pano gösterilmiştir.



Şekil 3.28. Hava akış hızı ölçüm cihazı



Şekil 3.29. Nem ölçüm cihazı



Şekil 3.30. Takometre



Şekil 3.31. Fark basınç ölçüm cihazı



Şekil 3.32. Rüzgar hızı ölçüm sensörü



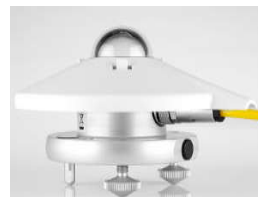
Şekil 3.33. Anemometre



Şekil 3.34. Dijital avometre



Şekil 3.35. Sıcaklık ölçer

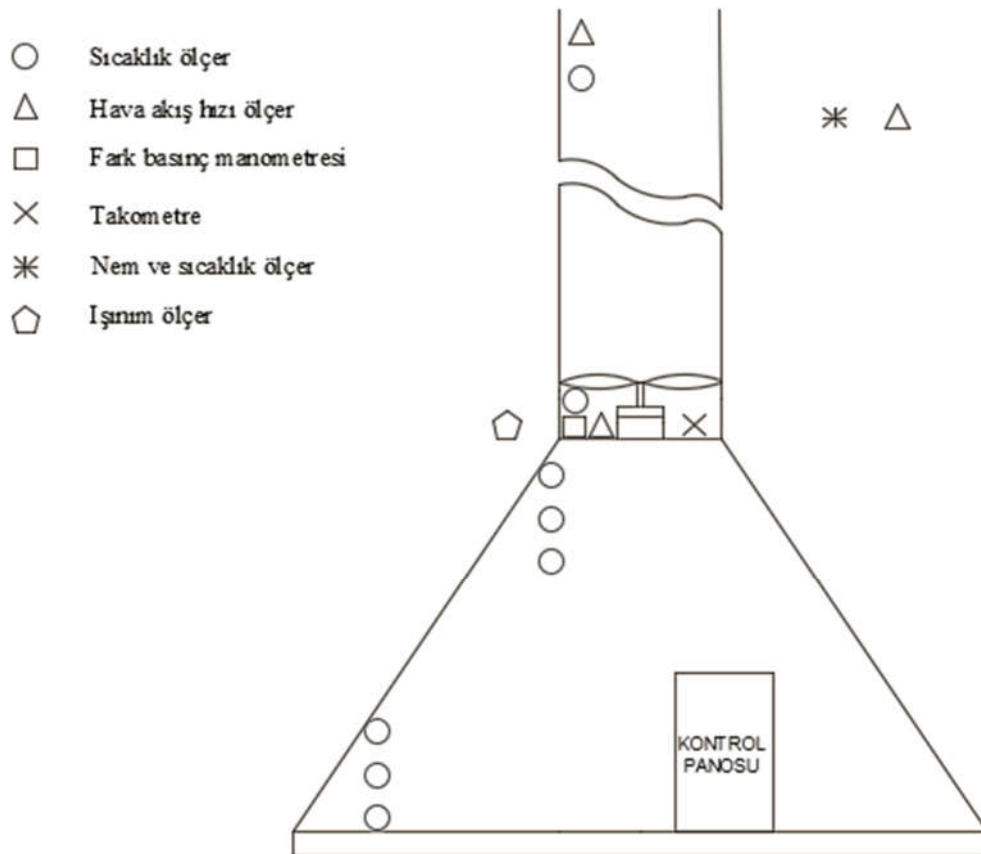


Şekil 3.36. Işınım ölçer



Şekil 3.37. Otomasyon panosu

Konya Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Atölyesi bina duvarına kurulan güneş bacası sistemi üzerinde şekil 3.38’de gösterildiği gibi ölçüm noktaları belirlenmiş ve sağlıklı bir analiz için ölçüm aletleri ile veri alımı gerçekleştirilmiştir. Veriler istenilen zaman aralıklarında bir USB çıkışı ile alınabilir ve bu zaman aralıkları kontrol panelinden ayarlanabilir vaziyettedir.



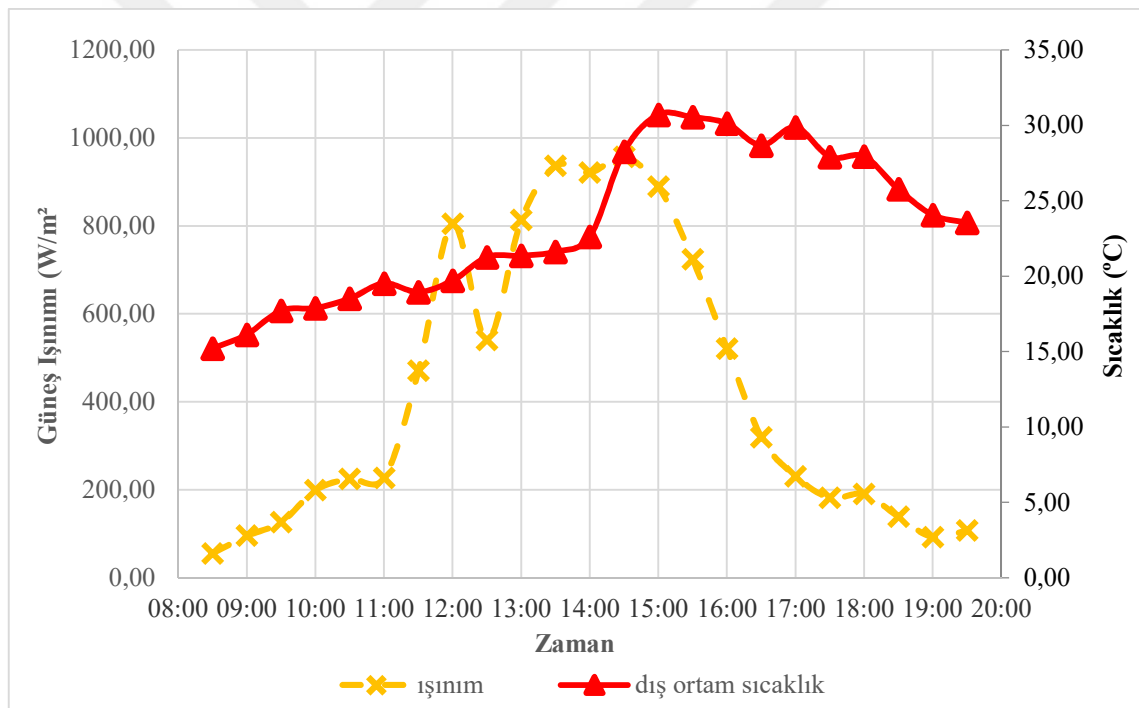
Şekil 3.38. Güneş bacası ve türbin sistemine ait ölçüm aletleri yerlerinin şematik gösterimi

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

4.1. Deneysel Sonuçlar

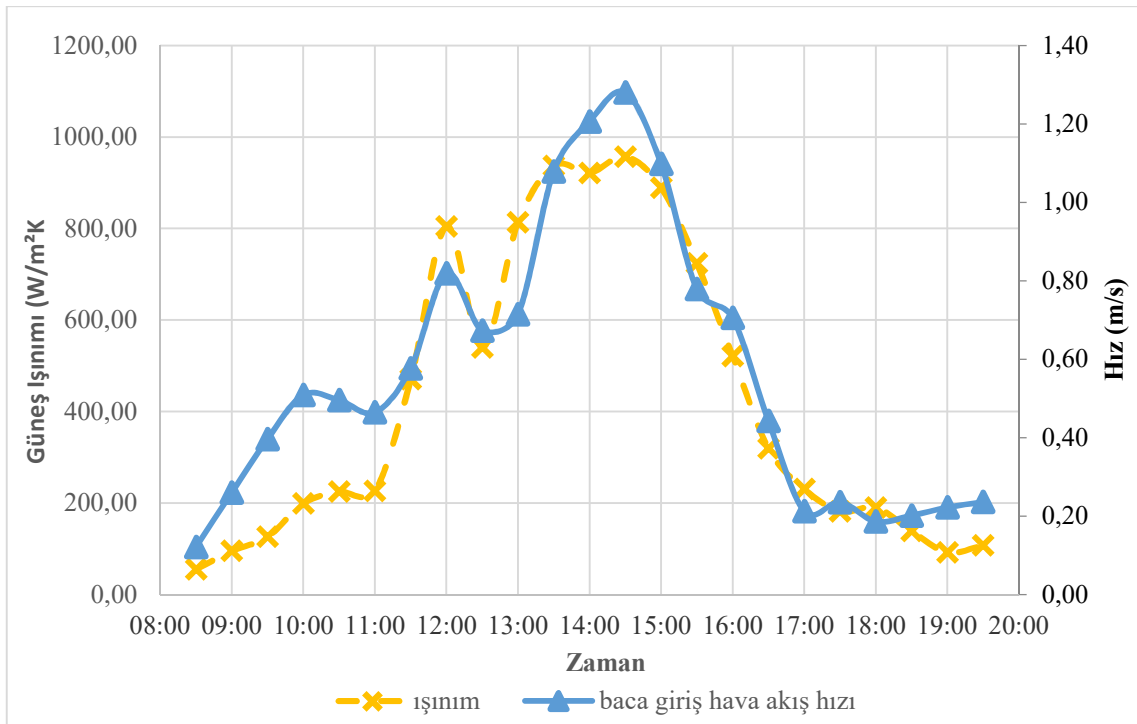
Konya Teknik Üniversitesi'nde bulunan eğimli güneş bacası sistemi içerisine yerleştirilen türbin 01.04.2019 tarihinden itibaren izlenmiştir. 05.05.2019 tarihinde en yüksek ışınım ve sıcaklık değerleri tespit edilmiştir. 08:00 ve 20:00 saatleri arasında veri kaydedici tarafından 10 saniyede bir kayıt edilen verilerin saatlik ortalama değerleri alınarak grafikler oluşturulmuştur.

Çevre sıcaklığı ve ışınım değerlerinin değişimini gösteren grafik Şekil 4.1'de verilmiştir. Çevre sıcaklığı ve ışınım değerlerinde doğru orantılı olarak artış ve azalış gözlemlenmiştir. Güneş ışınımı maksimum değeri $957,35 \text{ W/m}^2$, çevre sıcaklığı maksimum değeri $30,7^\circ\text{C}$ 'dir. Bazı zaman aralıklarında havanın bulutlu olmasından dolayı ışınım değerlerinde ani düşmeler gözlemlenmiştir.



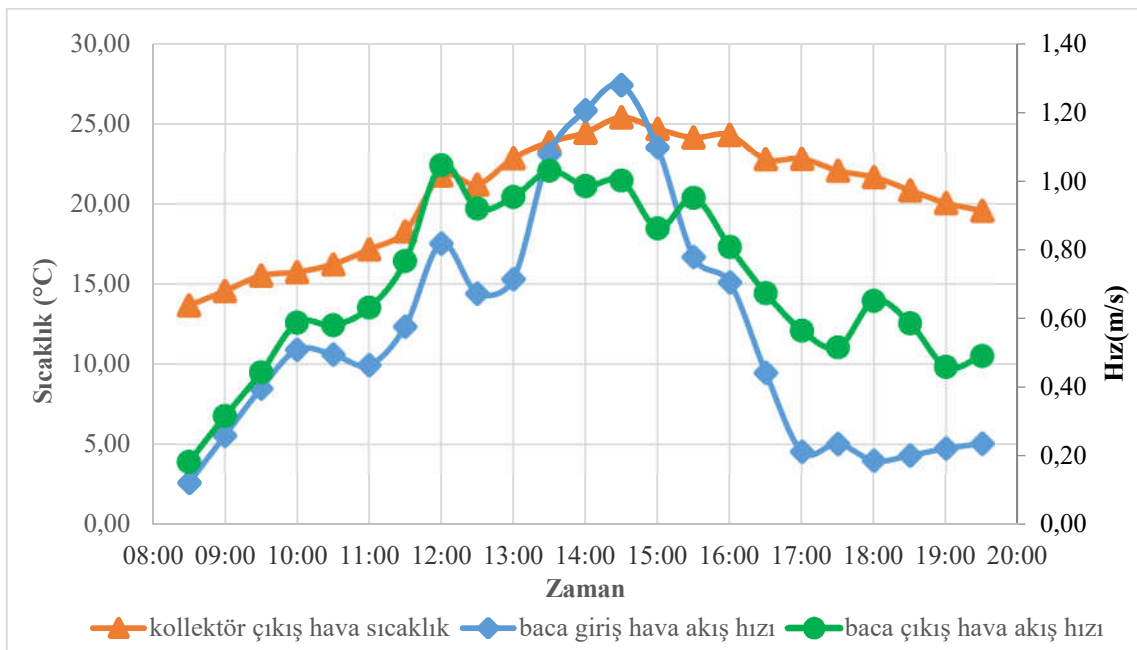
Şekil 4.1. Işınım ve çevre sıcaklığı değişimi

Şekil 4.2'de güneş ışınımı ve türbin öncesi baca giriş hava akış hızı değerlerinin değişimi verilmiştir. Baca girişi hava akış hızı değeri $1,28 \text{ m/s}$ 'dir. Veriler incelendiğinde güneş ışınımının baca giriş hava akış hızına doğrudan etki ettiği gözlemlenmiştir.



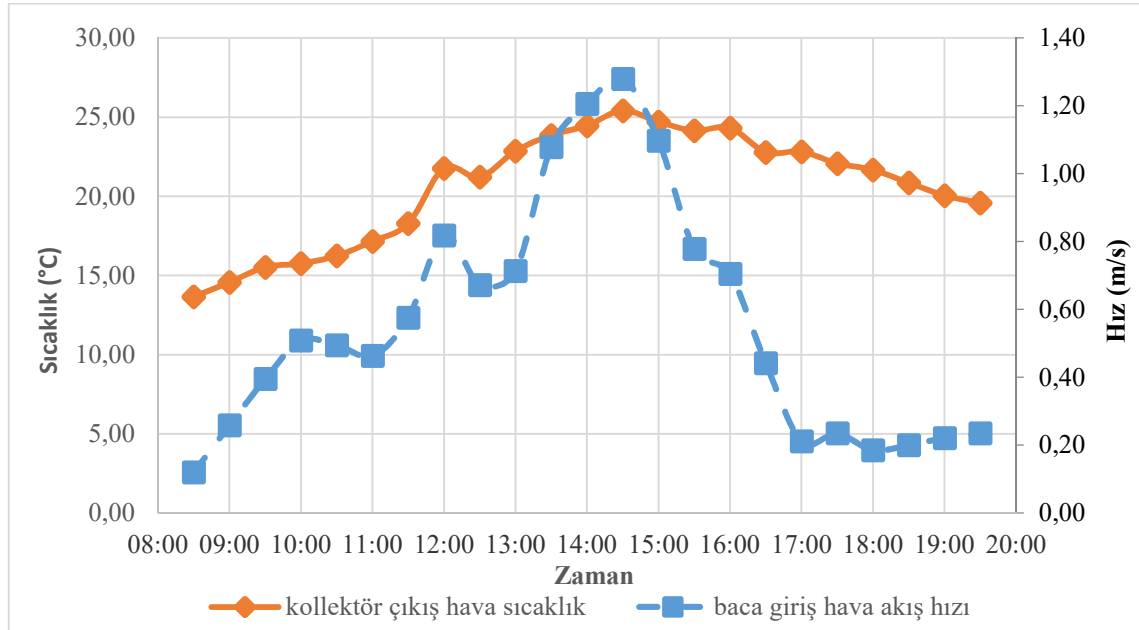
Şekil 4.2. Işınım ve baca girişi hava akış hızı değişimi

Şekil 4.3’de kollektör çıkışındaki hava sıcaklığına bağlı olarak değişim gösteren türbin öncesi ve türbin sonrası bacadaki hava akış hızları karşılaştırılmıştır. Baca çıkışı hava hızı maksimum 1,05 m/s, maksimum kollektör çıkış sıcaklık değeri 25,42°C’dir.



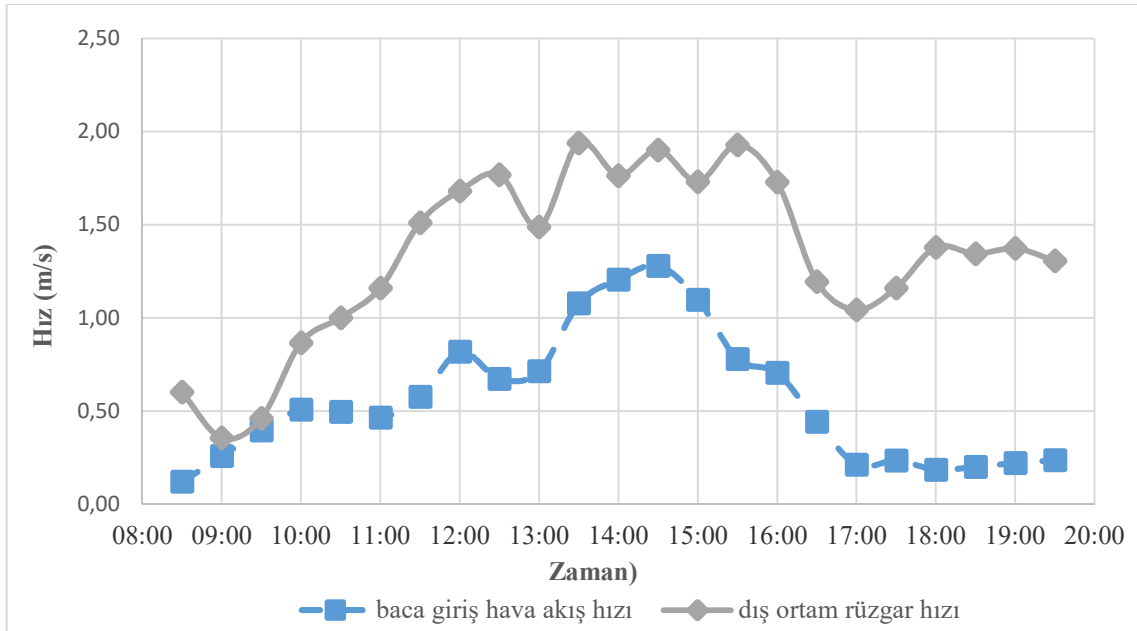
Şekil 4.3. Kollektör çıkışı hava sıcaklığı ve baca giriş-çıkış hava akış hızı değişimi

Kollektör çıkışı hava sıcaklığı ve baca girişi hava akış hızı değişimi Şekil 4.4’de gösterilmiştir. Baca girişindeki hava hızı türbinin dönmesinde önemli etkenlerden birisidir. Sıcaklığın 25,42°C’de en yüksek seviyede olduğu 14:00 -15:00 saatleri arasında doğru orantılı olarak hava akış hızı da 1,28 m/s değerinde gözlemlenmiştir. Bacaya doğru yükselerek ilerleyen ısınmış hava, baca girişindeki hava akış hızını pozitif yönde etkilemektedir.



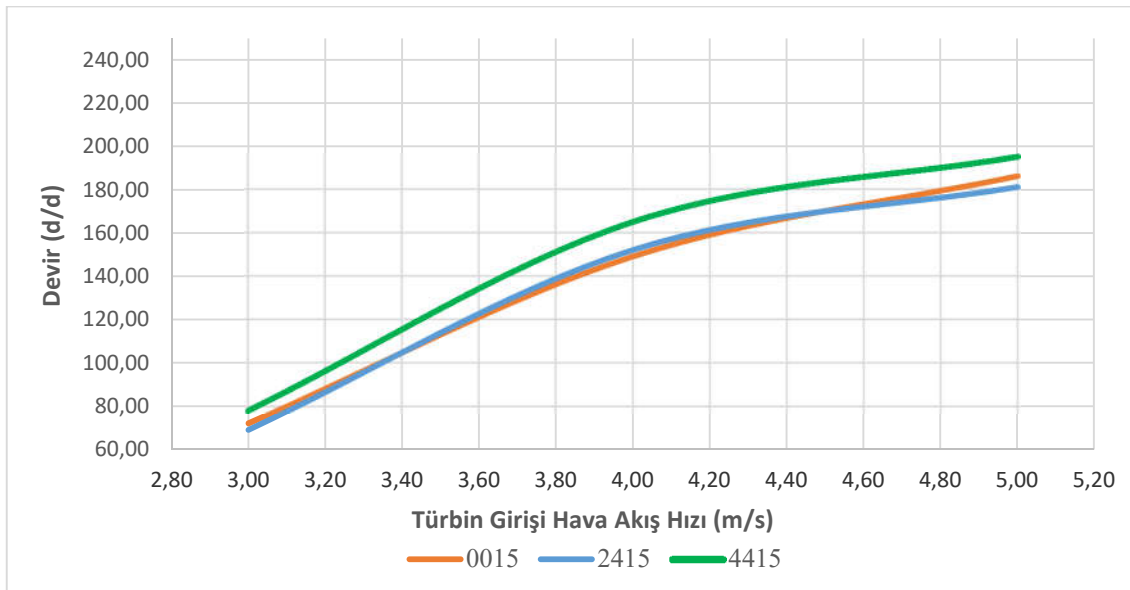
Şekil 4.4. Kollektör çıkışı hava sıcaklığı ve baca girişi hava akış hızı değişimi

Şekil 4.5’de 05.05.2019’a ait dış ortam rüzgar hızı ve baca girişi hava akış hızı değerleri verilmiştir. Saat 08:00’den 13:00’e kadar rüzgar hızında 2 m/s’ye kadar bir artış olup, saat 13:30’dan sonra 1,5-2 m/s arasında bir denge gözlemlenmiştir. Buna rağmen baca hava giriş akış hızında 08:00-11:00 ve 13:30-14:00 saatleri arasında dış ortam rüzgar hızı ile ters orantılı bir durum söz konusudur. Saat 14:00’den sonra baca girişi hava akış hızı 0,20-1,3 m/s aralığında değişim göstermiştir. Verilerden anlaşılacağı üzere baca girişi akış hızına dış ortam rüzgar hızının doğrudan bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir.



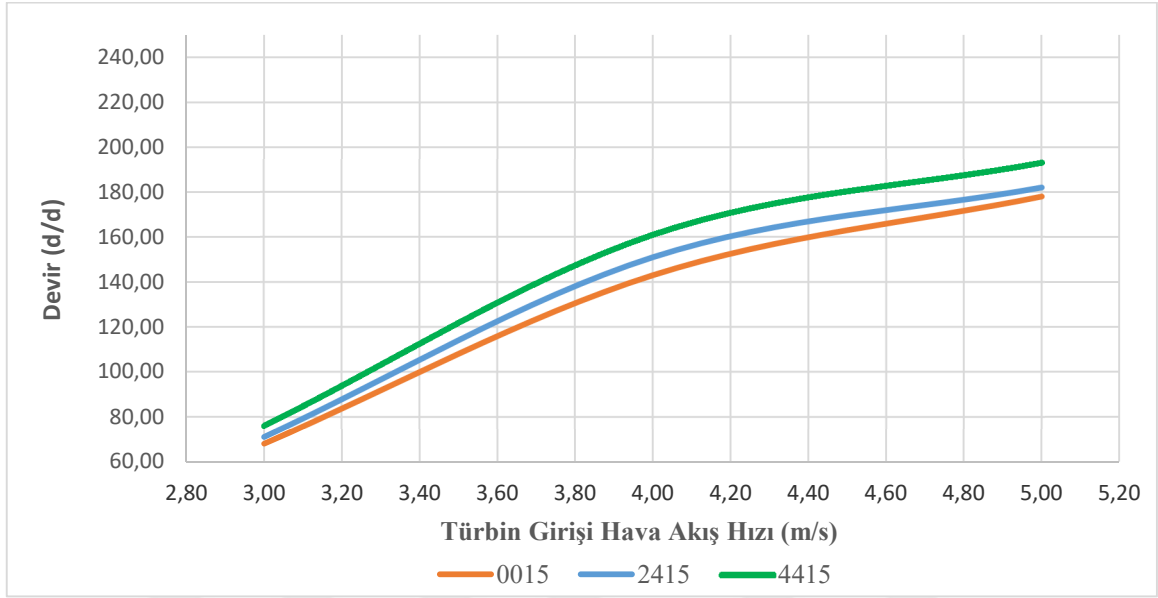
Şekil 4.5. Dış ortam rüzgar hızı ve baca giriş hava akış hızı değişimi

Şekil 4.6 incelendiğinde 40° hatve açısında 3, 4 ve 5 m/s türbin girişi hava akış hızlarında 3 farklı tipteki profilin davranışları görülmektedir. İmalatı gerçekleştirilen güneş bacası türbininde 3 m/s hızın altında hareket gerçekleşmemiştir. NACA profil tipinde 4 haneli seride kalınlık sabitken kamburluk değeri yükseldikçe devir sayısında artış gözlemlenmiştir. Türbin girişindeki hava akış hızı 3 m/s'den 4 m/s'ye geçerken türbin devir sayısında yaklaşık iki kat artış gözlemlenmiştir.



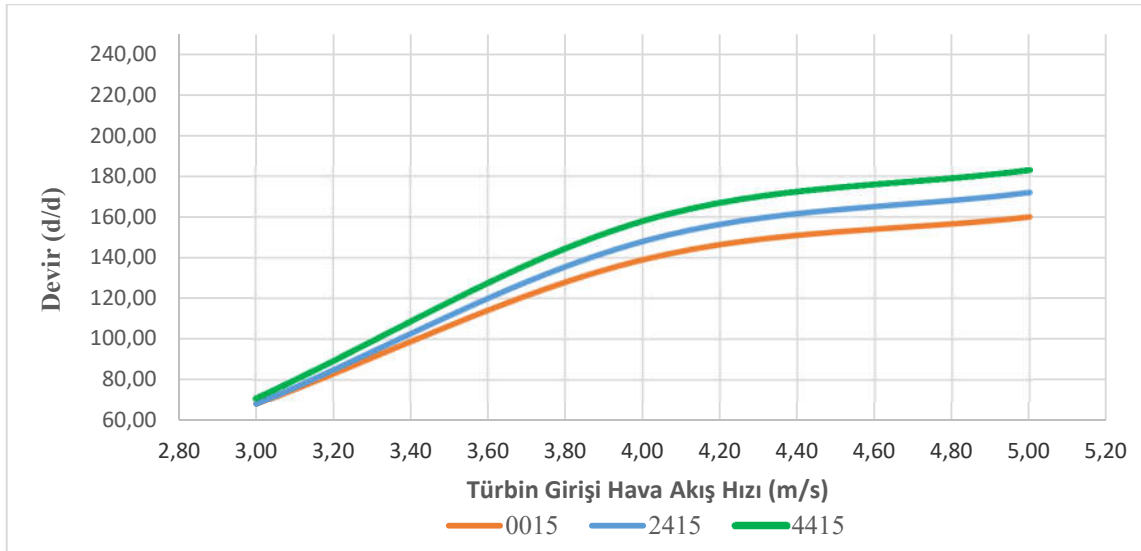
Şekil 4.6. 40° Hatve açısı için farklı tipteki profillerin (NACA0015-2415-4415) hava akış hızı ve devir sayıları arasındaki ilişki

Şekil 4.7 incelendiğinde 45° hatve açısında 3, 4 ve 5 m/s türbin girişi hava akış hızlarında 3 farklı tipteki profilin davranışları görülmektedir. NACA0015 profil tipinde olduğu gibi kamburluk değeri yükseldikçe devir sayısında artış gözlemlenmiştir. Türbin girişindeki hava akış hızı 3 m/s'den 4 m/s'ye geçerken türbin devir sayısında yaklaşık iki kat artış NACA2415 profili için de gözlemlenmiştir.



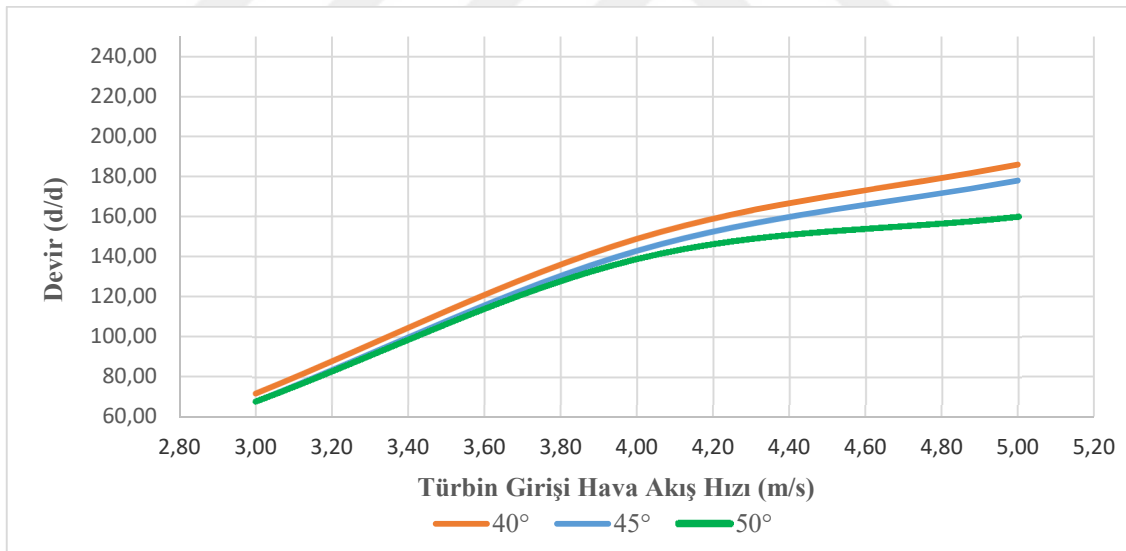
Şekil 4.7. 45° Hatve açısı için farklı tipteki profillerin (NACA0015-2415-4415) hava akış hızı ve devir sayıları arasındaki ilişki

Şekil 4.8 incelendiğinde 50° hatve açısında 3, 4 ve 5 m/s türbin girişi hava akış hızlarında 3 farklı tipteki profilin davranışları görülmektedir. NACA0015 ve NACA2415 profil tiplerinde olduğu gibi kamburluk değeri yükseldikçe devir sayısında artış gözlemlenmiştir. Türbin girişindeki hava akış hızı 3 m/s'den 4 m/s'ye geçerken türbin devir sayısında yaklaşık iki kat artış NACA4415 profili için de gözlemlenmiştir.



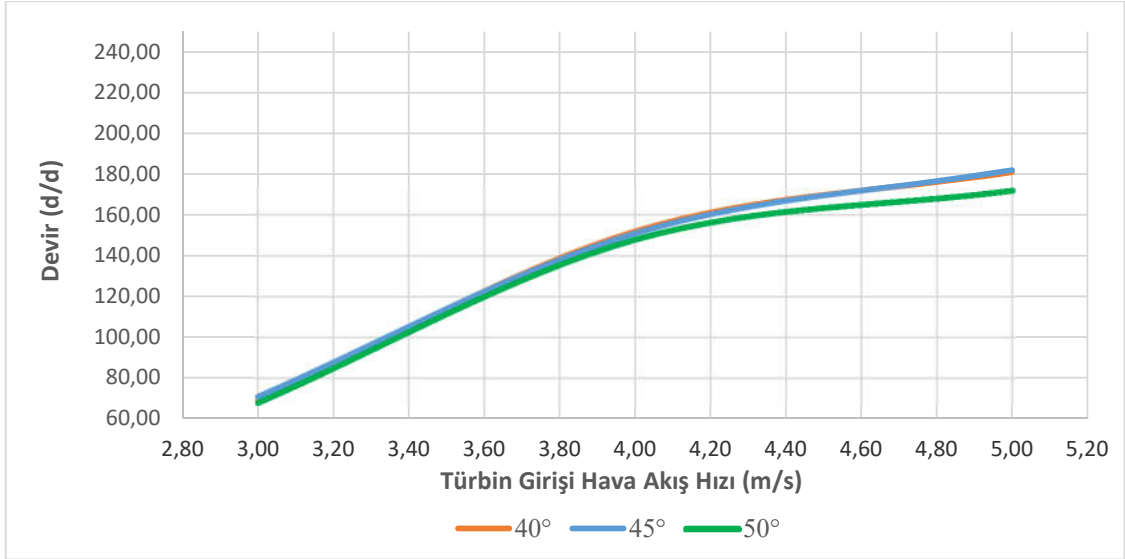
Şekil 4.8. 50° Hatve açısı için farklı tipteki profillerin (NACA0015-2415-4415) hava akış hızı ve devir sayıları arasındaki ilişki

Şekil 4.9 incelendiğinde NACA0015 profil tipi için 3, 4 ve 5 m/s türbin girişi hava akış hızlarında 3 farklı hatve açısındaki davranışları görülmektedir. Hatve açısı azaldıkça devir sayısında artış gözlemlenmiştir.



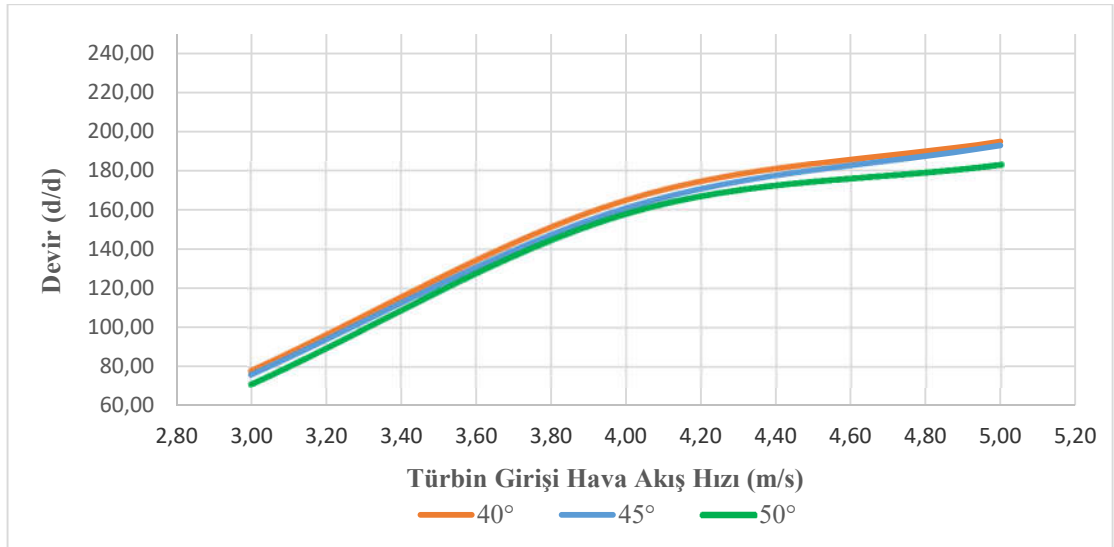
Şekil 4.9. NACA0015 Profil tipi için farklı baca girişi hava akış hızlarında (3 m/s, 4 m/s, 5 m/s), farklı hatve açıları (40°, 45°, 50°) ile devir sayıları arasındaki ilişki

Şekil 4.10 incelendiğinde NACA2415 profil tipi için 3, 4 ve 5 m/s türbin girişi hava akış hızlarında 3 farklı hatve açısındaki davranışları görülmektedir. NACA0015 profil tipinde olduğu gibi hatve açısı azaldıkça devir sayısında artış gözlemlenmiştir.



Şekil 4.10. NACA2415 Profil tipi için farklı baca girişi hava akış hızlarında (3 m/s, 4 m/s, 5 m/s), farklı hatve açıları (40°, 45°, 50°) ile devir sayıları arasındaki ilişki

Şekil 4.11 incelendiğinde NACA4415 profil tipi için 3, 4 ve 5 m/s türbin girişi hava akış hızlarında 3 farklı hatve açısındaki davranışları görülmektedir. NACA0015 ve NACA2415 profil tiplerinde olduğu gibi hatve açısı azaldıkça devir sayısında artış gözlemlenmiştir.



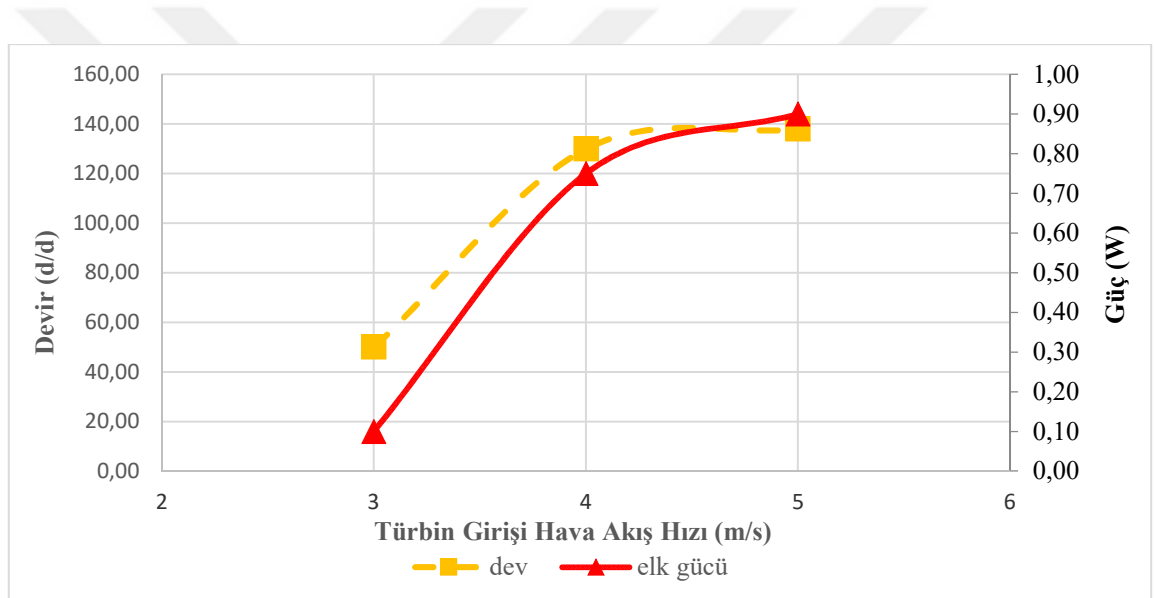
Şekil 4.11. NACA4415 Profil tipi için farklı baca girişi hava akış hızlarında (3 m/s, 4 m/s, 5 m/s), farklı hatve açıları (40°, 45°, 50°) ile devir sayıları arasındaki ilişki

Karşılaştırılan veriler sonucunda NACA4415 profilinin 40° hatve açısında en yüksek devirlere ulaştığı gözlemlenmiştir. Jeneratör çıkışına 1 ohm'luk bir direnç bağlanarak farklı baca girişi hava akış hızlarında (3 m/s, 4 m/s, 5 m/s) alınan ölçüm sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. NACA4415 kanat profili için farklı hava akış hızlarındaki devir sayıları ve elektrik gücü

Baca Girişi Hava Akış Hızı (m/s)	Devir sayısı (d/d)	Elektrik Gücü (W)
3	50	0,1
4	130	0,75
5	138	0,9

Şekil 4.12 incelendiğinde 3, 4 ve 5 m/s baca girişi akış hızlarında devir sayısı ve elektrik gücü arasında bir doğru orantı vardır. 5 m/s hız değerinde NACA4415 profili 40° hatve açısında montaj edildiğinde 0,9 W'lık bir elektrik gücü üretilmektedir.



Şekil 4.12. NACA4415 Profil tipi için farklı baca girişi hava akış hızlarında (3 m/s, 4 m/s, 5 m/s) elde edilen devir sayıları ve elektrik gücü arasındaki ilişki

4.2. Belirsizlik Analizi

Yapılan deneysel çalışmanın sonucunda verilerin doğruluk tespitinin yapılabilmesi açısından belirsizlik analizi yapılmıştır (Kaya, 2019). Elektrik güç çıkışı değerlerinin bulunabilmesi için kullanılan avometrenin akım doğruluk değeri % 0,2, gerilim doğruluk değeri ise % 0,1 olarak alınmıştır.

$$P_{elk} = V \cdot A \quad [W] \quad (4.1)$$

$$\frac{\sigma_f}{|f|} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_y}{y}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_z}{z}\right)^2} \dots \quad (4.2)$$

$$\% \text{ hata} = \frac{\sigma_f}{|f|} \cdot 100 \quad (4.3)$$

$$\frac{\sigma_{(P_{elk})}}{|P_{elk}|} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{(V)}}{V}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{(A)}}{A}\right)^2} \quad (4.4)$$

$$\% \text{ hata} = \frac{\sigma_{(P_{elk})}}{|P_{elk}|} \cdot 100 \quad (4.5)$$

$$\frac{\sigma_{(P_{elk})}}{|P_{elk}|} = \sqrt{\left(\frac{0,001}{20}\right)^2 + \left(\frac{0,002}{0,045}\right)^2} = 0,0444 \quad (4.6)$$

$$\% \text{ hata} = 0,0444 \cdot 100 = \% 4,44 \quad (4.7)$$

Elektrik güç çıkışı değerinin belirsizlik oranı denklem 4.2 - 4.3 kullanılarak 20 V gerilim ve 0,045 A değerinde % 4,44 olarak hesaplanmıştır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Dünya’da güneş bacaları ve türbinleri ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. Güneş bacası türbinleri incelendiğinde farklı kanat profil tipleri arasındaki karşılaştırmalar, farklı hızlarda değişik kanat sayıları için analizlerin yapıldığı anlaşılmıştır. Bu deneysel çalışmada aynı serideki farklı profil tiplerinde kamburluk oranının performansa etkisi ve farklı hatve açılarındaki davranışı incelenmiştir. Verilere göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Veriler sistemde güneşin etkili olduğu 08:00-20:00 saatleri arasında sürekli ölçülüp kaydedilmekte olup grafiklerin çiziminde bulutsuz bir gün olarak 05.05.2019 tarihine ait veriler kullanılmıştır.

* Güneş bacası türbin kanatlarında kullanılan 4 haneli NACA0015, NACA2415 ve NACA4415 profillerinden en yüksek devirlerin NACA4415’e ait olduğu belirlenmiştir. Güneş bacası türbini için kullanılan NACA 4 haneli serisinde kalınlık oranı sabit tutulduğunda aynı hatve açısı konumunda kamburluk oranı arttıkça performansın arttığı gözlemlenmiştir.

* NACA4415 profil tipi kullanılarak imal edilen türbin kanadında 40°, 45° ve 50° hatve açıları test edildiğinde 40°lik hatve açısında en iyi performansın sağlandığı tespit edilmiştir. Türbin üzerinde NACA4415 tip profildeki kanat 40° hatve açısı olacak şekilde 5 m/s hava hızında 195 d/d dönmüştür. Hatve açısı azaldıkça performansın arttığı gözlemlenmiştir.

* Çevre rüzgar hızının türbin kanatları üzerine gelen baca giriş hava akış hızı üzerinde doğrudan bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Rüzgar hızının saat 18:00’deki ortalama hızına 1,38 m/s’yi gösterdiğinde baca giriş hava akış hızı 0,19 m/s olarak tespit edilmiştir.

* Güneş ışınımı etkisi türbin kanatları üzerine gelen baca giriş hava akış hızı seviyesi ile doğrudan etkisinin olduğu gözlemlenmiştir. Saat 14:30’daki pik değerlere bakıldığında 957,35 W/m² ışınım değeri için 1,28 m/s türbin öncesi hava akış hızı tespit edilmiştir.

* Kollektör çıkışı hava sıcaklığı değerinin türbin kanatları üzerine gelen baca giriş hava akış hızı seviyesi ile doğrudan etkisinin olduğu gözlemlenmiştir. Saat 14:30’daki ortalama verilere bakıldığında pik sıcaklık olan 25,42°C için pik hız 1,28 m/s tespit edilmiştir.

* Baca giriş ve çıkışı hava akış hızlarının birbirine yakın değerlerde olduğu belirlenmiştir. Saat 08:00 – 12:00 arasındaki veriler incelendiğinde giriş ve çıkış arasındaki hız farkının 0,06 – 0,19 m/s arasında olduğu tespit edilmiştir.

Bu tez çalışmasındaki sonuçlar literatür ile karşılaştırıldığında benzerlik göstermektedir. İçel (2012)'in tez çalışmasında kollektör çapı 27 m. ve baca yüksekliği 15 m. olan güneş bacası sisteminde 80 cm. çapındaki 5 kanatlı türbinde 240 d/d için elde edilen türbin çıkış gücü 1,8516 W ölçülmüştür. Bu tez çalışmasında kollektör çapı 6,4 m. ve baca yüksekliği 8 m. olan güneş bacası sisteminde 70 cm. çap, NACA4415 profil tipi ve 40° hatve açısındaki 5 kanatlı türbinde 138 d/d için çıkış gücü 0,9 W olarak ölçülmüştür.

5.2. Öneriler

* Türbin kanatları üzerine gelecek olan hava akış hızını artırmak için kollektör girişindeki kanalların içerisine hava akışını yönlendirerek bir girdap oluşturacak kanatçıklar yerleştirilebilir.

* Farklı profillerde imal edilen ve farklı hatve açılarında ayarlanabilen türbinde, farklı kanat sayıları için de karşılaştırma yapılabilir.

* Baca girişi hava akış hızını artırabilmek ve gece de çalışabilmesini sağlayabilmek için güneş bacası kollektörü zeminine sıcak su boruları veya torbaları yerleştirilebilir.

* Bölgelerin aylara göre güneşlenme süreleri düşünüldüğünde en fazla ışınımı alan ay ve gün veriler doğrultusunda seçilip en iyi türbin performansı belirlenebilir.

* İmalatı yapılan güneş bacası türbin kanatları birden çok farklı malzemedden üretilip karşılaştırması yapılabilir.

* Aynı malzemedden üretilen türbin kanatları farklı tip kanat profilleri kullanılarak kanat sayısına göre performansı ölçülebilir.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2006, www.yegm.gov.tr.
- Anonim, 2012, KOP Bölgesinde Arazi ve Enerji Üretim Planlaması, www.kop.gov.tr.
- Anonim, 2017, Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü, Sayı 15.
- Anonim, 2018a, Oda Raporu, *TMMOB Makina Mühendisleri Odası*, MMO/691.
- Anonim, 2018b, Küresel Durum Raporu, *Yenilenebilir Enerjiler*.
- Anonim, 2019a, <https://www.teias.gov.tr>.
- Anonim, 2019b, Kurulu Güç Raporu, *Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı*.
- Ayadi, A., Driss, Z., Bouabidi, A. ve Abid, M. S., 2018, Effect of the turbine diameter on the generated power of a solar chimney power plant, *Energy & Environment*, 29 (5), 822-836.
- Balijepalli, R., Chandramohan, V. ve Kirankumar, K., 2017, Performance parameter evaluation, materials selection, solar radiation with energy losses, energy storage and turbine design procedure for a pilot scale solar updraft tower, *Energy Conversion and Management*, 150, 451-462.
- Büyükoğlu, Ö. F., 2014, Investigation of optimum turbine blade profile by using CFD method to increase the efficiency of a solar chimney prototype.
- Çalışkan, M., 2014, Eksenel Akışlı Fan Tasarımı, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Çengel, Y. A., 2000, Mühendislik yaklaşımıyla termodinamik, Literatür, p.
- Çengel, Y. A. ve Cimbala, J. M., 2008, Akışkanlar mekaniği: temelleri ve uygulamaları, Güven Kitabevi, p.
- Fluri, T. ve Von Backström, T., 2008, Comparison of modelling approaches and layouts for solar chimney turbines, *Solar Energy*, 82 (3), 239-246.
- Gannon, A. J. ve von Backström, T. W., 2003, Solar chimney turbine performance, *Journal of Solar Energy Engineering*, 125 (1), 101-106.
- Gökelim, A. T., 1983, Endüstriyel fan ve kompresör tesisleri: Vantilatör ve kompresörler, Birsan Yayınları, p.
- Guo, P., Li, J., Wang, Y. ve Wang, Y., 2016, Evaluation of the optimal turbine pressure drop ratio for a solar chimney power plant, *Energy Conversion and Management*, 108, 14-22.
- Gün, A. ve Kurban, M., 2011, Güneş Bacası Sistemlerinin Analizi ve Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 16-18.
- Gün, A. R., 2013, Yatay Güneş Bacası Sistemlerinin Analizi ve Uygulanabilirliğinin Değerlendirilmesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Şeyh Edebalı Üniversitesi*.
- Hamdan, M. O., 2011, Analysis of a solar chimney power plant in the Arabian Gulf region, *Renewable Energy*, 36 (10), 2593-2598.
- İçel, Y., 2012, Farklı çaplarda kanat modelleri ile güneş bacası enerji sisteminden elektrik üretim verimliliğinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya*.
- Kara, Ö., Özdamar, A. ve Özbalta, N., Yükselen Hava Akımlı Rüzgar Türbinleri.

- Kasaeian, A., Mahmoudi, A. R., Astaracai, F. R. ve Hejab, A., 2017, 3D simulation of solar chimney power plant considering turbine blades, *Energy Conversion and Management*, 147, 55-65.
- Kaya, M. N., Kose, F., Ingham, D., Ma, L. ve Pourkashanian, M., 2018, Aerodynamic performance of a horizontal axis wind turbine with forward and backward swept blades, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 176, 166-173.
- Kaya, M. N., 2019, Eğimli Bir Yatay Eksenli Rüzgar Türbini Kanadının Aerodinamik Tasarımı Ve Optimizasyonu *Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya Teknik Üniversitesi.*
- Koyun, A., 2006, Güneş bacası ile enerji üretiminin incelenmesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi.*
- Köse, F., 2018, Güneş Bacası Güç Sistemlerinin PV ve Rüzgar Güç Sistemleri ile Karşılaştırılması, *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 6 (3), 121-129.
- Nizetic, S. ve Klarin, B., 2010, A simplified analytical approach for evaluation of the optimal ratio of pressure drop across the turbine in solar chimney power plants, *Applied Energy*, 87 (2), 587-591.
- Padki, M. ve Sherif, S., 1999, On a simple analytical model for solar chimneys, *International Journal of Energy Research*, 23 (4), 345-349.
- Rangela, L. P., Contessib, B. A., Copes, T. A., Albertod, P. ve Ropelatoe, K., 2016, Advances In Solar Chimney Turbine Modelling, *Mecánica Computacional*, 34, 897-915.
- Schiel, S. W. ve Schlaich, J., 2000, Solar Chimneys, *Encyclopedia of physical Science and Technology.*
- Schlaich, J., Bergermann, R., Schiel, W. ve Weinrebe, G., 2005, Design of commercial solar updraft tower systems—utilization of solar induced convective flows for power generation, *Journal of Solar Energy Engineering*, 127 (1), 117-124.
- Üçgül, İ. ve Koyun, A., 2010, Güneş Bacası Tasarım Parametreleri ve Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16 (3), 255-264.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Recep Emre ÜNAL
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Konya - 1986
Telefon : (0554) 2096077
E-Posta : reunal@ktun.edu.tr , emreunal70@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Konya Gazi	Meram	KONYA	2004
Üniversite	: Selçuk	Selçuklu	KONYA	2010
Yüksek Lisans	: Konya Teknik	Selçuklu	KONYA	Devam ediyor
Doktora	: -			

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2010 - 2017	Enerya Konya Doğalgaz Dağıtım A.Ş.	Operasyon. Yön.
2017 -	Konya Teknik Üniversitesi TBMYO	Öğretim Görevlisi

UZMANLIK ALANI

Doğalgaz, Yenilenebilir Enerji

YAYINLAR

Ünal R. E., Köse F., Güzel M. H. 2018. Eğimli Güneş Bacası Güç Sistemlerinde Kullanılan Rüzgar Türbin Kanat Profillerinin Karşılaştırmalı Analizi. VI. KOP Bölgesel Kalkınma Sempozyumu – KOPBKS, 26-28 Ekim 2018, Konya.

Güzel M. H., Köse F., Ünal R. E. 2018. Konya ili Eğimli Güneş Bacası Güç Santral Performansının Deneysel İncelemesi. VI. KOP Bölgesel Kalkınma Sempozyumu – KOPBKS, 26-28 Ekim 2018, Konya.