



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**EĞİMLİ KOLLEKTÖRLÜ BİR MİKRO
GÜNEŞ BACASI GÜÇ SİSTEMİNİN
TASARIMI, KURULUMU VE
DENEYLERİNİN YAPILMASI**

Muhammed Hüseyin GÜZEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Muhammed Hüseyin GÜZEL tarafından hazırlanan “Eğimli Kollektörlü Bir Mikro Güneş Bacası Güç Sisteminin Tasarımı, Kurulumu 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, Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 18101010 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 atıf yaptığımı 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.



Muhammed Hüseyin GÜZEL

Tarih: 14/06/2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

EĞİMLİ KOLLEKTÖRLÜ BİR MİKRO GÜNEŞ BACASI GÜÇ SİSTEMİNİN TASARIMI, KURULUMU VE DENEYLERİNİN YAPILMASI

Muhammed Hüseyin GÜZEL

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Faruk KÖSE

2019, 57 Sayfa

Jüri

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

Artan nüfus ve gelişen teknoloji nedeniyle dünyanın enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Enerji ihtiyacının karşılanmasında çevre dostu yenilenebilir kaynakların kullanımı çok önemlidir. Bu bağlamda, dünyada olduğu gibi Türkiye’de de çalışmalar ve yatırımlar hızla devam etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş, potansiyeli ve sınırsızlığı göz önüne alındığında stratejik öneme sahiptir. Güneş bacaları, güneş enerjisini kullanarak elektrik üreten yöntemlerden birisidir. Bu yöntemde ısınan havanın yükselmesi prensibi elektrik enerjisi üretiminde kullanılır.

Bu çalışmada bir eğimli güneş bacası tasarlanmıştır. Tasarlanan eğimli güneş bacası Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi’nde imal edilmiştir. Yarım daire şeklinde tasarlanan kolektörün çapı 6,4 m ve bacanın yüksekliği ise 8 m’dir. İmal edilen eğimli güneş bacasının kolektör ve baca kısımlarında sıcaklık ile hava hızı ölçümleri yapılmıştır. Deney düzeneğinin bulunduğu bölgenin güneş ışınım değerleri ölçülerek değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, eğimli güneş bacası güç santralinin ülkemiz enerji ihtiyacını karşılamada alternatif bir yöntem olabileceği düşünülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Eğimli Güneş Bacası, Güneş Enerjisi, Kolektör, Yenilenebilir Enerji.

ABSTRACT

MS THESIS

DESIGN AND INSTALLATION OF A MICRO SOLAR CHIMNEY POWER PLANT WITH SLOPED COLLECTOR AND PERFORMING EXPERIMENTS

Muhammed Hüseyin GÜZEL

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

Advisor: Asst. Prof. Dr. Faruk KÖSE

2019, 57 Pages

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

Due to increasing population and developing technology, the world's energy demand is increasing day by day. The use of environmentally friendly renewable resources is very important in meeting the increasing energy needs. In this manner, efforts and investments in Turkey as well as in the world continues rapidly. Among the renewable energy sources, the sun has a strategic importance because of its huge potential and unlimitedness. Solar chimneys are one of the methods that generate electricity using solar energy. In this method, the rise of hot air principle, is using in the production of electrical energy.

In this study, sloped solar chimney was designed. The sloped solar chimney was manufactured at Konya Technical University Faculty of Engineering and Natural Science. The semicircular collector had a diameter of 6,4 m and the height of the chimney was 8 m. Temperature and air velocity measurements were made at different sections of the collector and chimney. The solar irradiation of the region where the test setup is located were measured and evaluated. As a result, it is believed that the sloped solar chimney power plant can be an alternative method to meet the energy need of our country.

Keywords: Sloped Solar Chimney, Solar Energy, Collector, Renewable Energy.

ÖNSÖZ

Dünya’da ve Türkiye’de enerji ihtiyacı hızla artmaktadır. Bu enerji artışını karşılamak için; daha fazla enerjinin üretimi, yeni enerji kaynaklarının bulunması veya var olan enerjinin daha verimli kullanımının sağlanması gibi çalışmalar devam etmektedir. Bu bağlamda, tüm dünyanın üzerinde çalıştığı yenilenebilir enerjinin önemi çok büyüktür. Güneş ve rüzgar ise yenilenebilir enerji kaynaklarından en çok öne çıkan enerji türleridir. Bu çalışmada, güneş enerjisini kullanarak elektrik üreten sistemlerden olan eğimli güneş bacası tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Gerekli ölçümler yapılarak değerlendirilmiştir. Büyük ölçekli enerji santrallerinin, enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılabileceği düşünülmüştür.

Tez çalışmamın tamamlanmasında bana yol gösteren ve desteklerini esirgemeyen değerli danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Faruk KÖSE’ye teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmam kapsamında büyük bir özveriyle bana destek olan mesai arkadaşım Sayın Öğr. Gör. Recep Emre ÜNAL’a teşekkür ederim. Deneysel çalışmalarımda yardımcı olan Arş. Gör. Muhammed Arif ŞEN ve Arş. Gör. Dr. Mehmet Numan KAYA’ya da teşekkür ederim. Her zaman her konuda yanı başımda olan, anne ve babama, eşime ve çocuklarıma teşekkür ederim.

Muhammed Hüseyin GÜZEL
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

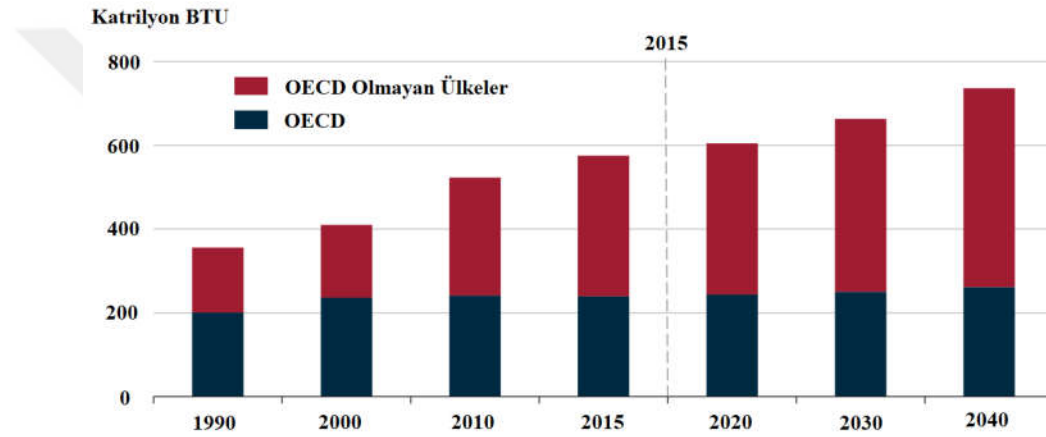
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER.....	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
2.1. Güneş Bacası Çeşitleri	9
2.1.1. Geleneksel Güneş Bacaları	10
2.1.2. Eğimli Güneş Bacaları	14
2.1.3. Yüzen Güneş Bacaları	18
2.1.4. Yatay Güneş Bacaları	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	21
3.1. Güneş Bacalarının Ana Elemanları.....	21
3.1.1. Kollektör	23
3.1.2. Baca	26
3.1.3. Türbin.....	27
3.2. Temel Denklemler	28
3.3. Deneysel Çalışma	30
3.3.1. Eğimli Güneş Bacasının Tasarlanması	30
3.3.2. Tasarlanan Eğimli Güneş Bacasının Kurulumu.....	33
3.3.3. Ölçüm Sistemi ve Gerçekleştirilen Ölçümler	38
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	41
4.1. Deneysel Sonuçlar	41
4.2. Belirsizlik Analizi	50
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	52
5.1. Sonuçlar	52
5.2. Öneriler	53
KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ	57

SİMGELER

A	: Alan (m^2)
C_p	: Özgül ısı ($J/kg.K$)
ΔT	: Sıcaklık değişimi ($^{\circ}C$)
Δp	: Basınç değişimi (Pa)
E	: Enerji (J)
\dot{E}	: Toplam enerji (J)
g	: Yer çekimi ivmesi (m/s^2)
h	: Entalpi (J)
H	: Yükseklik (m)
I	: Işınım (W/m^2)
\dot{m}	: Kütleli debi (kg/s)
η	: Verim
ρ	: Yoğunluk (kg/m^3)
p	: Basınç (Pa)
P	: Güç (W)
Q	: Isı enerjisi (J)
\dot{Q}	: Isı geçişi (W)
t	: Zaman (s)
T	: Sıcaklık ($^{\circ}C$)
V	: Hız (m/s)
\dot{V}	: Hacimsel debi (m^3/s)
\dot{W}	: İş geçişi (W)

1. GİRİŞ

2000 yılında 6,1 milyar, 2018 yılında ise 7,6 milyar olan dünya nüfusunun 2050 yılına gelindiğinde 9-10 milyar seviyelerine ulaşacağı tahmin edilmektedir. Artan dünya nüfusu aynı zamanda daha yüksek standartlarda yaşama eğilimi göstermektedir. Dünya nüfusunun ve yaşam standartlarının hızla artması ile birlikte dünya enerji tüketiminin 2015-2040 yılları arasında %28 artacağı öngörülmektedir. Şekil 1.1'de Uluslararası Enerji Ajansı'nın 2017 raporuna göre, dünyada enerji tüketimi ve 2040 tahmini verilmiştir. Artan enerji ihtiyacının karşılanması için yeni enerji kaynaklarının bulunması ve enerjinin daha verimli kullanılması ile ilgili çalışmalar devam etmektedir.

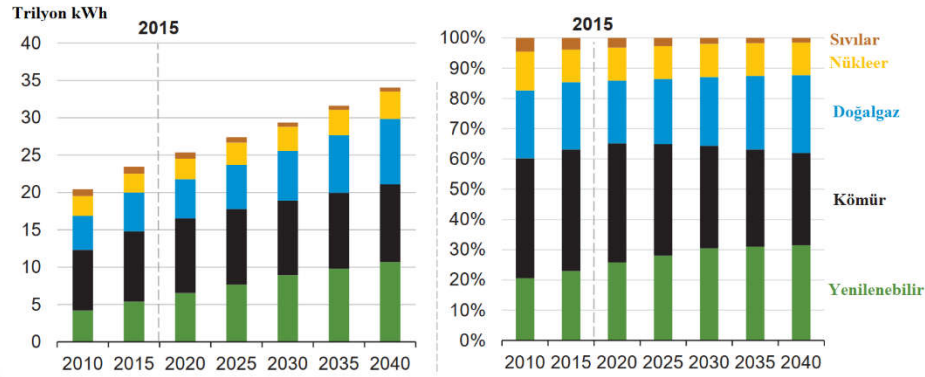


Şekil 1.1. Dünyada Enerji Tüketimi ve 2040 Tahmini (Anonymous, 2017)

Milyonlarca yıl önce yaşamış hayvan ve bitkilerden; kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtlar oluşmuştur. Bu fosil yakıtların oluşumu çok uzun zaman aldığı için yenilenmeyen yakıtlar olarak da isimlendirilmektedir (Karadağ ve ark., 2009). Fosil yakıtlar kullanarak enerji üretmek çevre kirliliğinin temelini oluşturmaktadır. Kömür ve petrol gibi yakıtların yanmasıyla ortaya çıkan ve atmosfere verilen kirlenici emisyonlar, küresel ısınma ve iklim değişikliklerine neden olarak çevreyi olumsuz yönde etkilemektedir. Fosil yakıtların sonlu olması da büyük bir sorundur. Dünyada bilinen petrol rezervlerinin 2050 yılında, kömür rezervlerinin ise 2150 yılında tükeneceği tahmin edilmektedir (Koyun, 2006).

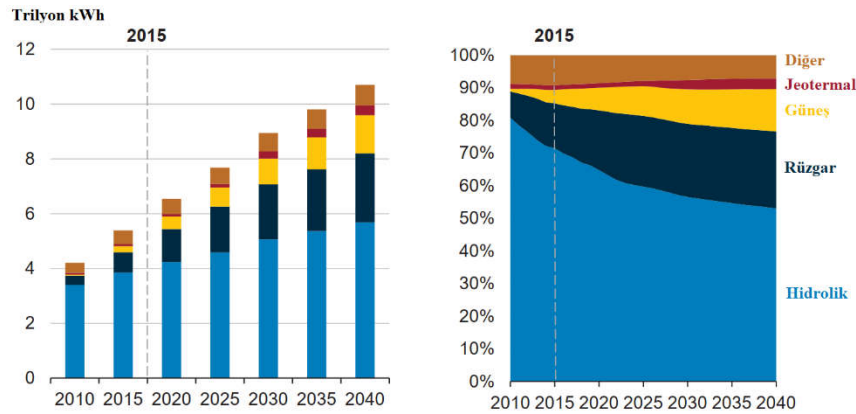
2015 yılı itibariyle; dünya geneli elektrik enerjisinin %78'i fosil kaynaklar kullanılarak üretilmektedir. Fosil kaynakların doğada sınırlı bulunması, yenilenemez olması ve çevreyi kirlenici etkilerinin olması nedeniyle kullanımı giderek azalmaktadır. Doğaya zararı son derece az, çevre dostu ve temiz olan yenilenebilir enerji kaynaklarının

önemi ise her geçen gün artmaktadır. Şekil 1.2’de kaynaklara göre dünyada elektrik enerjisi üretimi ve 2040 tahmini verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, 2015 yılında dünyada elektrik enerjisi üretimindeki payı %20 olan yenilenebilir enerji kaynaklarının 2040’taki payının %30’u aşacağı tahmin edilmektedir (Anonymous, 2017).



Şekil 1.2. Kaynaklara Göre Dünyada Elektrik Enerjisi Üretimi ve 2040 Tahmini (Anonymous, 2017)

Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş, rüzgar, jeotermal, hidrolik ve dalga enerjisi gibi, yaşamın doğal döngüsü içerisinde sürekli yenilenen ve tükenmeyen kaynaklardır. Şekil 1.3’te yenilenebilir enerji kaynaklarına göre dünyada elektrik enerjisi üretimi ve 2040 tahmini gösterilmiştir. Güneş ve rüzgar enerjisi, sürdürülebilirlik açısından en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarıdır ve elektrik enerjisi üretimindeki payları her geçen yıl artmaktadır (Kaya ve ark., 2018). Dünyanın bir yıllık toplam enerji ihtiyacı sadece 90 dakikada güneşten dünyaya gelen enerjiye eşittir (Özcan, 2013). Bu potansiyel göz önüne alındığında yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisinin önemi daha iyi anlaşılmaktadır.



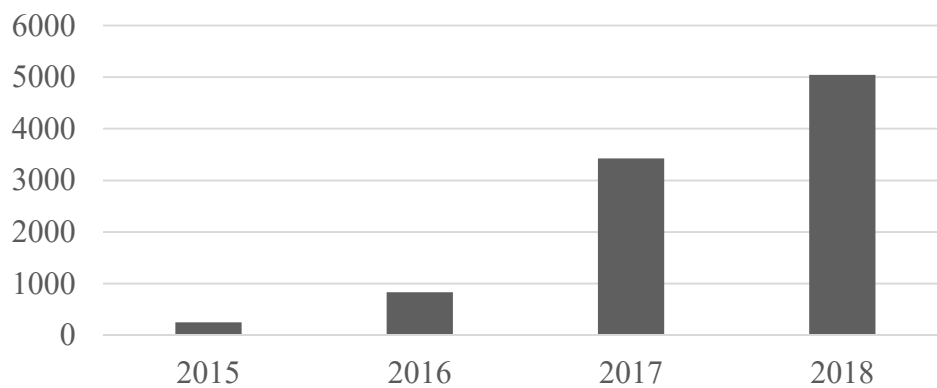
Şekil 1.3. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Göre Dünyada Elektrik Enerjisi Üretimi ve 2040 Tahmini (Anonymous, 2017)

Dünyada olduğu gibi Türkiye’de de enerji yatırımları hızla devam etmektedir. Türkiye’de elektrik enerjisi kurulu güç kaynaklarının yıllara göre değişimi Tablo 1.1’de verilmiştir. Türkiye’de, 2015 yılında 73,1 GW seviyelerinde olan elektrik enerjisi kurulu gücü 2018 yılı sonuna gelindiğinde 88,5 GW değerine ulaşmıştır. Yenilenebilir enerjide de durum benzerdir ve güneş, rüzgar ve jeotermal kaynaklara yatırımlar yapılmaktadır. 2015’de 5,4 GW seviyelerinde olan yenilenebilir enerji kurulu gücü 2018 yılı sonunda 13,3 GW değerine ulaşmıştır.

Tablo 1.1. Türkiye’de Elektrik Enerjisi Kurulu Güç Kaynaklarının Yıllara Göre Değişimi (Anonim, 2019)

Kaynak Türü	2015	2016	2017	2018
Doğalgaz	29,1	28,2	27,1	25,3
Kömür	21,2	22,0	21,9	21,7
Hidrolik	35,4	34,0	32	31,9
Yenilenebilir	7,4	9,4	12,8	15
Çok Yakıtlılar	5,9	5,1	4,8	4,7
Diğer	1,0	1,3	1,4	1,4
Toplam Kurulu Güç (GW)	73,1	78,4	85,2	88,5

Türkiye’de güneş enerjisi kurulu gücün yıllara göre değişimi Şekil 1.4’te verilmiştir. Bu şekilde en dikkat çeken, Türkiye’nin güneş enerjisine yaptığı yatırımları 2015 yılından başlayarak önemli ölçüde artırmış olmasıdır. 2018 yılı sonunda Türkiye’nin güneş enerjisi kurulu gücü 5 GW değerine ulaşmıştır. Güneş enerjisinin kullanımı; yenilenebilir, temiz ve çevreci oluşu gibi faydalarının yanında, yerli olmayan enerji kaynaklarının kullanım oranını azalttığından ülkemiz adına stratejik öneme de sahiptir. Güneş enerjisi yatırımlarının ilerleyen yıllarda da devam edeceği düşünülmektedir.



Şekil 1.4. Türkiye’de Güneş Enerjisi Kurulu Gücün Yıllara Göre Değişimi (MW) (Anonim, 2019)

Güneş enerjisinden elektrik üretimi doğrudan veya dolaylı olarak yapılabilir. Doğrudan yöntemde; güneş enerjisi fotovoltaik sistemler kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülür. Dolaylı yöntemler ise termal veya ısıl yöntemler olarak adlandırılır. Termal yöntemlerde güneş enerjisi, su buharı veya sıcak gaz üretmek için kullanılır. Üretilen buhar veya gaz, türbin ve jeneratör aracılığıyla elektrik üretiminde kullanılır. Termal yöntemler; parabolik oluklu sistemler, parabolik çanak sistemler, güç kuleleri ve güneş bacalarıdır.

Fotovoltaik sistemler, yüzeylerine gelen güneş ışınlarını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürürler. Güneş pilleri olarak da adlandırılan bu sistemler, silisyum gibi yarı iletken malzemeler kullanılarak üretilir (Kahraman, 2010). Güneş pillerinin üzerine ışık geldiğinde uçlarında elektrik gerilimi meydana gelir. Güneş pillerinin verdiği bu elektrik enerjisinin kaynağı güneş enerjisidir. Enerji çıkışını arttırmak için çok sayıda güneş pili paralel veya seri olarak bağlanabilir. Dağ etekleri, ovalar ve bina çatıları gibi yerlerde kolayca uygulanabildiği için çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

Parabolik oluklu sistemlerin parabolik yansıtıcı ve alıcı boru olmak üzere iki ana elemanı vardır. Güneş ışınımı, parabolik oluk şeklinde bükülmüş yansıtıcılar ile oluğun odak çizgisine yerleştirilmiş alıcı boruya iletilir. Alıcı boru, yüksek ısıyı taşıyabilen ısı transferi akışkanı ile doludur. Alıcı boru içerisindeki akışkan, yansıtıcıdan yönlendirilen güneş ışınları etkisiyle ısınır. Isı enerjisini alan akışkan, buhar üretmekte kullanılır.

Parabolik çanak sistemler, temel olarak bir adet parabolik çanak ve bir adet güç dönüştürücü üniteden oluşmaktadır. Parabolik çanak, üzerine gelen güneş ışınlarını, güç dönüştürücü ünite üzerine yönlendiren yansıtıcı aynalardan oluşur. Çanak üzerine gelen güneş ışınları, odak noktasına yerleştirilmiş güç dönüştürücü üniteye dik bir açıyla yansıtılır. Güç dönüştürücü ünite, termal bir alıcıdan ve jeneratörden oluşur. Termal alıcıda, güneş enerjisi ısı enerjisine dönüştürülür. Isı enerjisiyle de jeneratör vasıtasıyla elektrik üretimi sağlanmış olur.

Güç kulelerinde, kulenin tepesinde bulunan alıcıya dik açılı güneş ışınlarını yansıtan, güneşi takip eden, heliostat adı verilen çok sayıda ayna kullanılır. Parabolik oluklu ve çanak sistemlerde olduğu gibi güç kulelerinde de güneş ışınları, yansıtıcılar sayesinde alıcı üzerine yoğunlaştırılır. Güç kulelerinde, alıcı içerisinde genellikle erimiş nitrat tuzu kullanılır. Erimiş nitrat tuzu, alıcıda yoğunlaşan ısı enerjisini üzerine alır. Bu ısı enerjisi, jeneratör türbinini döndürecek buharın üretilmesinde kullanılır.

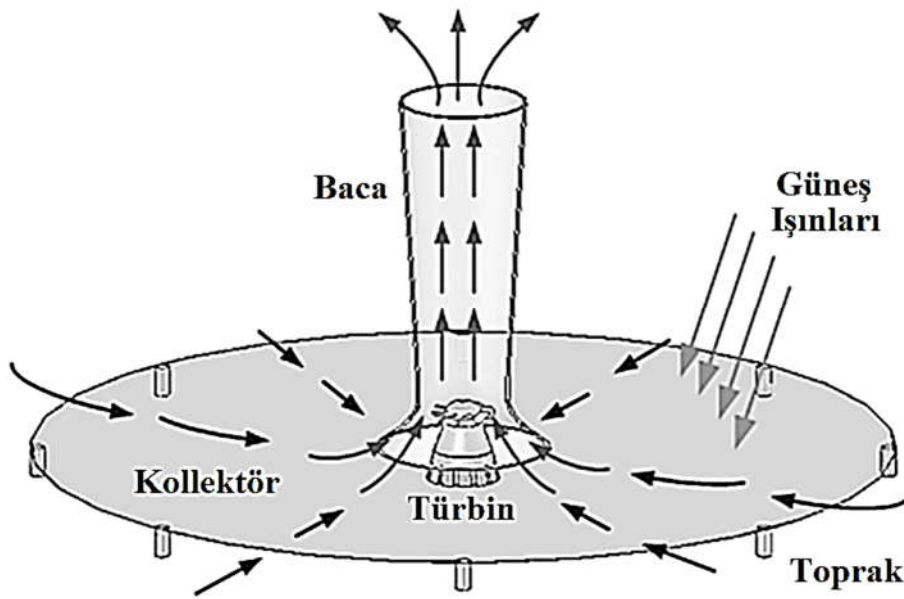
Güneş bacaları, güneş enerjisini kullanarak elektrik üreten termal yöntemlerden birisidir. Diğer termal yöntemlerden farklı olarak düşük sıcaklıklarda çalışan bir sistemdir. Güneş bacası; kollektör, türbin ve baca olmak üzere üç ana elemandan oluşur. Kollektör içerisinde bulunan hava güneş ışınımı sayesinde ısınır ve yükselerek baca içinde bir akış hareketi meydana getirir. Bu sayede güneş enerjisi önce ısı enerjisine daha sonra da hareket enerjisine dönüşmüş olur. Baca girişine konulan türbin ve jeneratör vasıtasıyla hareket enerjisinden elektrik enerjisi üretilir (Köse, 2018).

Güneş bacası denince ilk akla gelen geleneksel güneş bacalarıdır. Geleneksel güneş bacaları, baca ve kollektör kısımlarının birbirine dik olduğu sistemlerdir. Geleneksel güneş bacalarına göre bazı avantajlara sahip olmaları nedeniyle, yüzen güneş bacaları ve eğimli güneş bacaları gibi farklı tasarımlar da mevcuttur.

Bu tez çalışmasında eğimli bir güneş bacası tasarlanmıştır. Tasarlanan eğimli güneş bacası Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi'nde imal edilmiştir. Birinci bölüm olan Giriş bölümünde dünyada ve Türkiye'de yenilenebilir enerjinin durumu hakkında genel bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde kaynak araştırması yapılmıştır. Üçüncü bölümde güneş bacaları ile ilgili teorik bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölüm olan araştırma sonuçları bölümünde elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde sunulmuştur. Son bölümde ise sonuçlar ve öneriler verilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Güneş bacaları, güneş enerjisini kullanarak elektrik üreten yöntemlerdendir. Güneş bacası; Şekil 2.1’de görüldüğü gibi kollektör, türbin ve baca olmak üzere üç ana elemandan oluşur. Kollektör, güneş ışınlarının toplanmasını sağlayan ve ısınan havayı tutup yönlendiren kısımdır. Türbin, havaya kazandırılan ısı enerjisini mekanik enerjiye dönüştürmek için kullanılır. Türbin girişinde ve çıkışındaki hava hızı neredeyse eşittir. Elde edilen güç, türbinden geçen hava miktarına ve basınç düşüş miktarına bağlıdır. Baca, kollektörde ısınan havanın basınç farkı etkisiyle yükselmesini sağlar (Köse, 2018).



Şekil 2.1. Güneş Bacasının Şematik Gösterimi (Koonsrisuk, 2013)

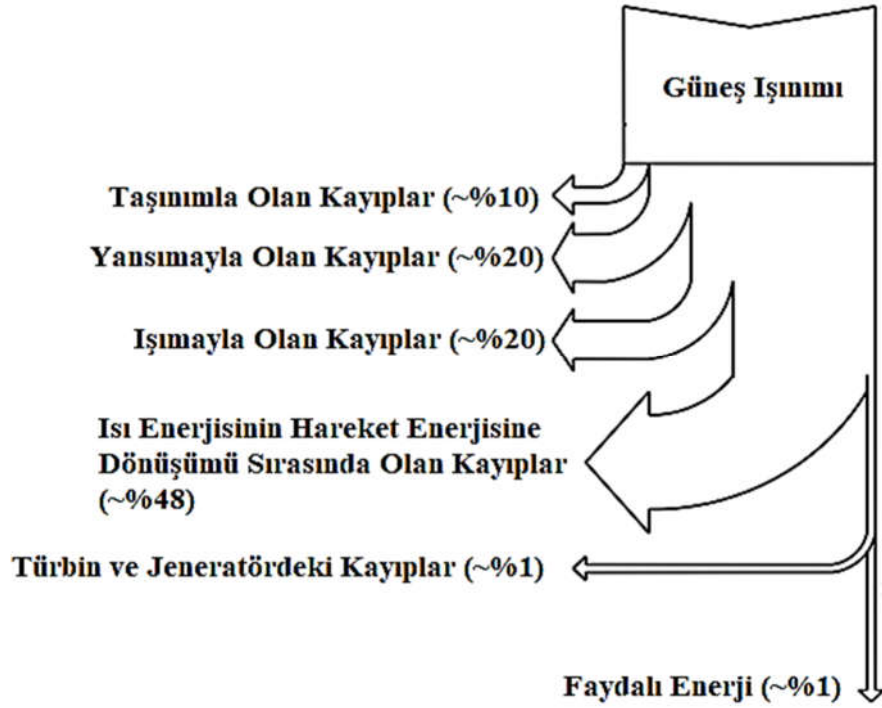
Güneş bacaları, güneş enerjisinden elektrik üretilen diğer termal sistemlere göre farklı bir çalışma prensibine sahiptir. Diğer termal sistemlerde güneş ışınları, belirli bir bölgeye yönlendirilerek kullanılır. Bu nedenle yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri olarak da anılırlar. Güneş bacalarında ise güneş ışınlarının yoğunlaştırılması yerine sera etkisi ve bacanın çekim etkisi prensipleri vardır. Şekil 2.2’de güneş bacalarında enerjinin nasıl dönüşüm gerçekleştirdiği gösterilmiştir. Bu enerji dönüşümleri, güneş ışınımı arttıkça daha hızlı bir şekilde gerçekleşir. Kollektör altında ısınan hava, baca içerisinde yükselirken vakum etkisi oluşturur. Oluşan bu vakum etkisi, kenar kısımları açık olan kollektörün içerisine ortam havasının çekilmesi sağlar. Böylece, çalışma sürekliliği sağlanmış olur (Koyun, 2006).



Şekil 2.2. Güneş Bacalarında Enerji Dönüşüm Basamakları (Koyun, 2006)

Yapılan çalışmalar; baca yüksekliğinin, türbindeki basınç düşüşü faktörünün, kollektör çapının ve optik özelliklerinin güneş bacalarının tasarımı için en önemli parametreler olduğunu göstermektedir (dos Santos Bernardes ve ark., 2009). Bu nedenle; güneş bacası tasarımında, bacanın maksimum yükseklikte kollektör çapının da maksimum genişlikte olması hedeflenir.

Şekil 2.3'te güneş bacalarındaki enerji akışı gösterilmiştir. Sisteme gelen güneş ışınımının büyük bir kısmı cam yüzeyden geçerek kollektör altındaki havaya ulaşır. Güneş ışınımının bir kısmı camdan yansır. Havaya ulaşan ışınlar havanın da içinden geçer ve zemine ulaşır. Böylece hem havanın hem de zeminin ısınması sağlanır. Ancak, bu enerji akışı esnasında hem taşınım ile hem de ışımla kayıplar meydana gelir. Isı enerjisinin hareket enerjisine dönüşümü esnasında da %48'lere varan büyük kayıplar olur. Tüm bu kayıplara, türbin ve jeneratördeki kayıplar da eklenince güneş bacasından alabileceğimiz faydalı enerji %1 mertebesine düşmüş olur. İlk bakışta çok düşük olan bu faydalı enerji miktarının, büyük ölçekli güneş bacası güç santralleri düşünüldüğünde, yüksek miktarlarda elektrik üretimi sağlayabilme potansiyeline sahip olduğu söylenebilir.



Şekil 2.3. Güneş Bacalarında Enerji Akışı (Bernardes, 2004)

Güneş bacasının, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren sistemlere kıyasla önemli avantajları vardır (dos Santos Bernardes, 2010):

- Hem doğrudan hem de dağınık gelen güneş ışınımı kollektörde kullanılır.
- Zemin doğal bir ısı depolama sağlar.
- Dönen parça sayısının düşük olması güvenilirliğini sağlar.
- Çalışması için soğutma suyu gerekli değildir.
- Yapımında basit malzemeler ve bilinen teknolojiler kullanılır.
- Pahalı teknolojik çabalar olmadan bu sistem uygulanabilir.

Bu avantajların yanında güneş bacalarının bazı dezavantajları da vardır (Gün, 2013):

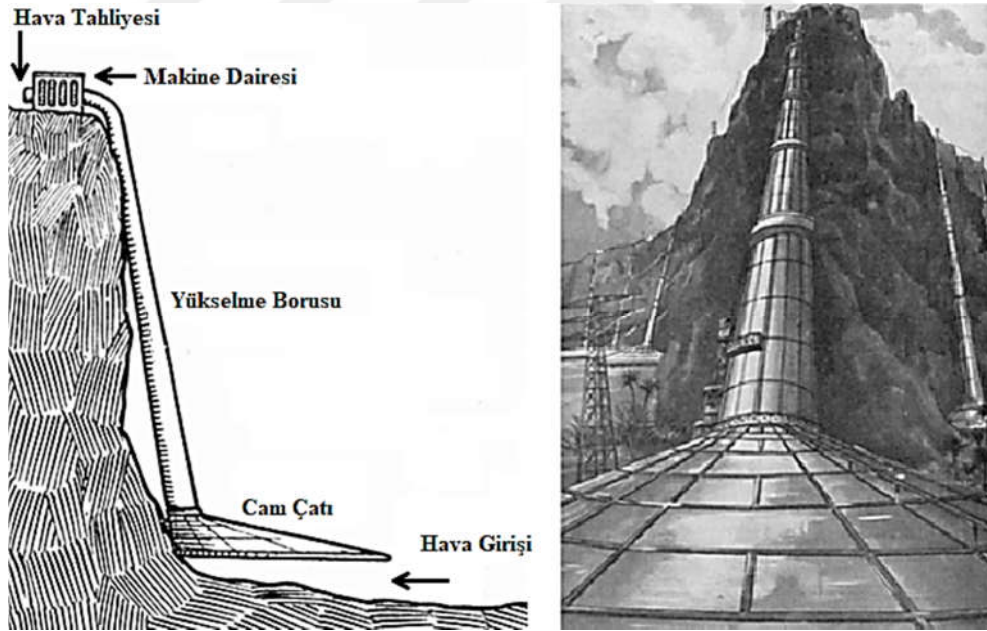
- Daha fazla enerji üretmek için çok büyük kollektör imal etmek gerekir.
- Daha fazla enerji üretmek ve verimliliği artırmak için çok yüksek bacalar gerekir. Çok yüksek bacaların inşası ve güvenli bir şekilde işletilmesinin çeşitli zorlukları vardır.
- Yüksek bacalar hava taşıtları için tehlike oluşturabilir.
- Mevsimlerin etkisiyle üretilen enerjide değişimler olabilir.
- Kollektör yüzeyinin tozdan korunması gereklidir.

2.1. Güneş Bacası Çeşitleri

Yükselen havanın gücünü kullanarak hareket elde etme fikri, ilk olarak 15.yy'da Leonardo da Vinci'nin kızartma pervanesi ürününde kullanılmıştır. Leonardo da Vinci'nin kızartma pervanesi tasarımında, ısınan hava yükselirken üst kısımda bulunan pervaneyi döndürmektedir (Koyun, 2006).

Güneş bacası ile ilgili ilk çalışma Cabanyes'e aittir. Cabanyes, 1903'te güneş motoru projesi ismini verdiği çalışmasında, eve bağlı hava ısıtıcısı ile bir bacadan oluşan bir tasarım ortaya koymuştur. Evin içerisine ise elektrik üretimi amacıyla bir rüzgar pervanesi yerleştirmiştir (dos Santos Bernardes, 2010).

1926 yılında, Profesör Bernard Dubos, Kuzey Afrika'da yüksek bir dağın yamacına inşa edilebilecek bir güneş enerjisi elektrik santrali önermiştir. Dubos, rüzgar türbinleri tarafından yüksek miktarda enerjinin alınabildiği bu elektrik santralinin baca kısmında 50 m/s'lik bir yükselen hava hızına ulaşılabileceğini iddia etmiştir (dos Santos Bernardes, 2010). Şekil 2.4'te tasarlanan bu güneş bacasının temsili görülmektedir.

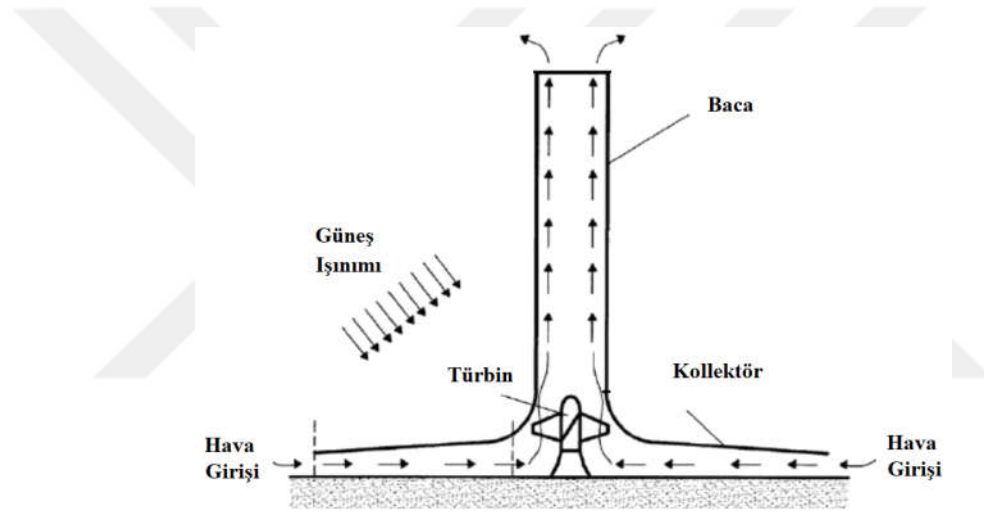


Şekil 2.4. Fütürist Güneş Bacası Tasarımı (dos Santos Bernardes, 2010)

Kollektörünün ve bacasının yapısına göre güneş bacaları sınıflandırılabilir. Bunlar; geleneksel güneş bacaları, eğimli güneş bacaları, yüzen güneş bacaları ve yatay güneş bacalarıdır.

2.1.1. Geleneksel Güneş Bacaları

İlk olarak Leonardo da Vinci'nin ortaya attığı ve günümüze kadar gelişim göstererek ulaştan sistemlerdir. Kollektör altındaki havanın ısınması ve ısınan havanın yükselmesi prensibiyle çalışır. Geleneksel güneş bacaları, bazı kaynaklarda dik güneş bacaları olarak da isimlendirilmektedir. Geleneksel güneş bacaları şematik olarak Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Baca ve kollektörün birbirine dik olduğu sistemlerdir. Baca, dairesel bir kollektörün merkezine yerleştirilir. Yüksek miktarda elektrik üretimi yapabilmek için büyük çaplarda kollektör ve yüksek baca inşa etmek gerekir. Kollektörün düzgün bir şekilde yapılabilmesi için zemin düz olmalıdır. Geleneksel güneş bacaları için en uygun yerler çöller ve ovalar olarak düşünülebilir.

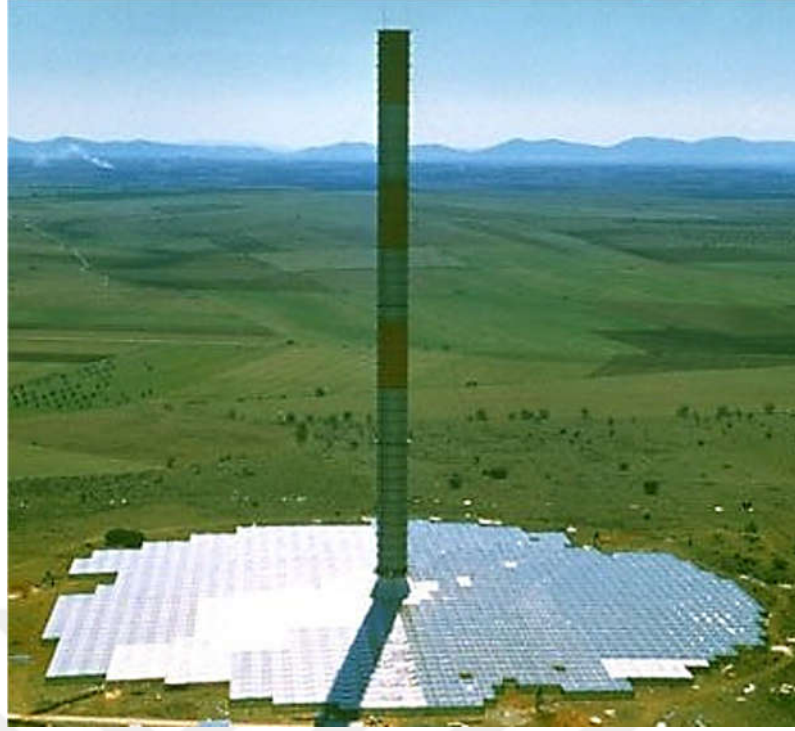


Şekil 2.5. Geleneksel Güneş Bacasının Şematik Gösterimi (Stojkovski ve ark., 2016)

Modern anlamda ilk geleneksel güneş bacası 1982 yılında inşa edilen Manzanares prototipidir. Manzanares prototipinin boyutları Tablo 2.1'de verilmiştir. Boyutlarından bağımsız olarak bu prototip, küçük ölçekli deneysel bir model olarak kabul edilmiştir. Model, enerji üretimi için tasarlanmadığından, en yüksek güç çıkışı yaklaşık 50 kW olmuştur. Manzanares prototipi; güneş bacası çalışmalarının büyük ölçüde referans alındığı ilk çalışma olması ve güneş bacalarının yapılabilirliği hakkında örnek teşkil etmesi sebebiyle büyük önem arz etmektedir (Köse, 2018).

Tablo 2.1. Manzanares Prototipinin Boyutları (Schlaich ve ark., 2005)

Baca Yüksekliği (m)	Baca Çapı (m)	Kollektör Çapı (m)	Kollektör Yüksekliği (m)
194,6	10	240	1,85



Şekil 2.6. Manzanares Prototipinin Genel Görünümü (Schlaich ve ark., 2005)

İspanya’da, Madrid’in 150 km güneyindeki Manzanares bölgesinde inşa edilen prototipinin genel görünümü Şekil 2.6’da verilmiştir. Kollektör yüzeyi için farklı cam malzemeleri test edilmiştir. Ayrıca, kollektörün alt kısmı gerçek bir sera olarak kullanılmıştır. Şekil 2.7’de Manzanares prototipinin kollektörünün alt kısmı görülmektedir. İnşa edilen bu güneş bacası üzerinde 1986 ve 1989 yılları arasında ölçümler yapılmıştır.



Şekil 2.7. Manzanares Prototipinin Kollektörünün Alt Kısmı (Schlaich ve ark., 2005)

Haaf ve ark. (1983) çalışmalarında büyük güçlerdeki güneş bacası santralleri için hesaplamalar yapmıştır. Büyük ölçekli güneş bacaları için boyut belirlenmesi üzerinde çalışmışlardır. 5 MW güç üretecek bir güneş bacasının; kollektör çapının 1110 m, baca yüksekliğinin 445 m ve baca çapının 54 m olması gerektiği sonucuna varmışlardır.

Pasumarthi ve Sherif (1998) yaptıkları çalışmada bir güneş bacası prototipi inşa etmişlerdir. Florida Üniversitesi'nde üretilen bu prototipte, türbin, örneklerinden farklı olarak baca çıkışına yerleştirilmiştir. Baca, daralan bir yapıdadır ve türbinin olduğu kısımda hız artışı sağlanmıştır. Küçük boyutlarda sistemler için türbinin baca çıkışına yerleştirilmesi uygun bir durum olabilir. Ancak, baca yüksekliği arttıkça bu durum beraberinde başka zorluklar getirecektir. Ayrıca, bu çalışmada üç farklı kollektör tipi incelenmiştir. Kollektör alanının artırılmasının ve toprak yüzeyinde enerji depolayan malzeme kullanımının verimi ve güç çıkışını arttırdığı tespit edilmiştir.

Michaud (1999) yaptığı çalışmada, güneş bacaları için, kasırga benzeri bir girdap üretilmesi ve kontrol edilmesi için bir yöntem önermiştir. Önerdiği yöntemde, mekanik enerjinin yoğunlaştırılması ile daha fazla enerji çıkışı elde edilmek istenmektedir. Geliştirilen girdap akımlı güneş bacası ile geleneksel güneş bacası karşılaştırılmıştır. Geleneksel baca, halka biçiminde olacak şekilde değiştirilmiştir ve atmosfer sınır tabakası güneş kollektörü gibi davranmaktadır. Tasarlanan güç santrali ile 100 MW elektrik üretilebileceği düşünülmektedir. Meteoroloji ve mühendislik bilim dallarının birlikte çalışması ile daha iyi sonuçlar alınabileceği vurgulanmıştır.

Gannon ve von Backström (2000) baca yüksekliği, sürtünme kaybı gibi parametrelere bağlı olarak termodinamik hesapların yapılabilmesi için tek boyutlu sıkıştırılabilir akış için bazı yaklaşımlar geliştirmiştir. 1500 m baca yüksekliğine, 160 m baca çapına ve 4000 m kollektör çapına sahip bir sistem üzerinde hesaplamalar yapılmıştır. Düşünülen güneş bacasında; basınç değişiminin, akışkan sürtünme kayıplarının ve yüzey alanı değişiminin, mach sayısına olan etkisi incelenmiştir.

Bernardes ve ark. (2003) güneş bacası için kapsamlı sayısal bir model geliştirmişlerdir. Geliştirilen model ile çeşitli çevre koşullarının etkisinin incelenmesi, çıkış gücünün hesaplanması ve güneş bacalarının boyutlarının belirlenmesi sağlanmıştır. Deneysel sonuçlar ile hesaplanan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Baca yüksekliği, baca çapı, türbin basınç faktörü ve kollektör yüzeyinin özellikleri incelenmiştir. Geliştirilen matematiksel modelin, büyük ölçekli güneş bacası santrallerinin hesaplamalarında da kullanılabileceği belirtilmiştir.

Koyun (2006) yaptığı doktora çalışmasında; Isparta iklim koşullarına uygun bir güneş bacası tasarlamıştır. Deneysel çalışma yapmak amacıyla, 2004 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi'nde, baca yüksekliği 15 m, baca çapı 1,2 m ve kollektör çapı 16 m olan bir güneş bacası prototipi inşa etmişlerdir. Bu çalışmada, güneş bacasının farklı yerlerine ölçüm cihazları yerleştirilerek hava hızı ve sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Sonuçlar yorumlandığında; güneş bacası çıkış gücünün doğrudan güneş ışınımı, baca yüksekliği ve kollektör alanına bağlı olduğu gösterilmiştir.

Yabuz (2009) yaptığı yüksek lisans çalışmasında, Süleyman Demirel Üniversitesi'nde bulunan güneş bacası üzerinde konstrüktif düzenlemeler yaparak sistem performansının artışı incelemiştir. Sistem performansının artması için; kollektör zemini siyaha boyanmıştır ve üzerine sıcak su tesisatı döşenmiştir. Kollektör girişine kapak uygulaması yapılmış ve kollektör alanı artırılmıştır. Ayrıca güneş bacası ile güneş güç kulesi sistemleri birleştirilerek hibrit bir uygulama da yapılmıştır. Bu düzenlemeler sonucunda sistem performansında yaklaşık %20'lik bir artış gözlenmiştir.

Ferreira ve ark. (2008) geleneksel kurutuculara bir alternatif olması amacıyla güneş bacalarının kullanımını incelemiştir. Gıda kurutma işleminde güneş bacası kullanımı ile kurutma kayıplarının azaltılması ve işletme maliyetlerinin düşürülmesi hedeflenmiştir. Kurutma işleminin gelen güneş ışınımına göre teknik fizibilitesini değerlendirebilmek için bir güneş bacası prototipi inşa etmişlerdir. Teorik ve deneysel çalışmalara dayanan gıda kurutma testleri sonucunda, tarım ürünlerini kurutma tekniği olarak güneş bacalarının kullanılabilir olduğu sonucuna varmışlardır. İnşa edilen güneş bacası ortam hava sıcaklığına kıyasla yıllık ortalama 13° sıcaklık artışı sağlamıştır. Yıllık ortalama 1.40 kg/s kütle akışının olduğu prototip ile kurutma kapasitesinin 440 kg'a ulaşılacağı belirtilmiştir.

Ketlogetswe ve ark. (2008) yaptıkları çalışma Afrika'nın güney kısmında bulunan Botswana'da, baca yüksekliği 22 m ve kollektör çapı 15 m olan bir güneş bacası prototipi inşa etmişlerdir. Güneş ışınımı, hava hızı ve sıcaklık ölçümleri yapmışlardır. Ekim ve kasım ayları içerisinde havanın açık olduğu günler seçilerek ortalama güneşlenme, sıcaklık farkı ve hız arasındaki ilişkiyi değerlendirmişlerdir. Güneş ışınımının yüksek olduğu saatlerde zemin tarafından absorbe edilen enerji, güneş ışınımı azaldıktan sonraki saatlerde kollektörün, dış ortama göre daha yüksek sıcaklıkta olmasını sağlamıştır.

2.1.2. Eğimli Güneş Bacaları

Geleneksel güneş bacalarının bazı dezavantajları vardır. En temel sınırlama %1'den düşük olan verimliliğidir. Güneş bacası verimine etki eden önemli faktörlerden biri baca yüksekliğidir ve baca yüksekliği mümkün olduğu kadar fazla olmalıdır. Yüksek baca inşa etmek maliyetleri önemli ölçüde yükseltmektedir. Ayrıca, baca yüksekliğinin artması beraberinde güvenlik sorunlarını getirmektedir. Öte yandan baca yüksekliği, teknoloji ve inşaat malzemeleri üzerindeki kısıtlamalar nedeniyle de sınırlandırılmıştır. Süper yüksek güneş bacaları için, olası depremler gibi dış sınırlamalar da söz konusudur. Birçok araştırmacı geleneksel güneş bacalarının maliyetini düşürmek ve verimliliği artırmak için yeni tasarımlar geliştirmiştir (Zhou ve ark., 2010).

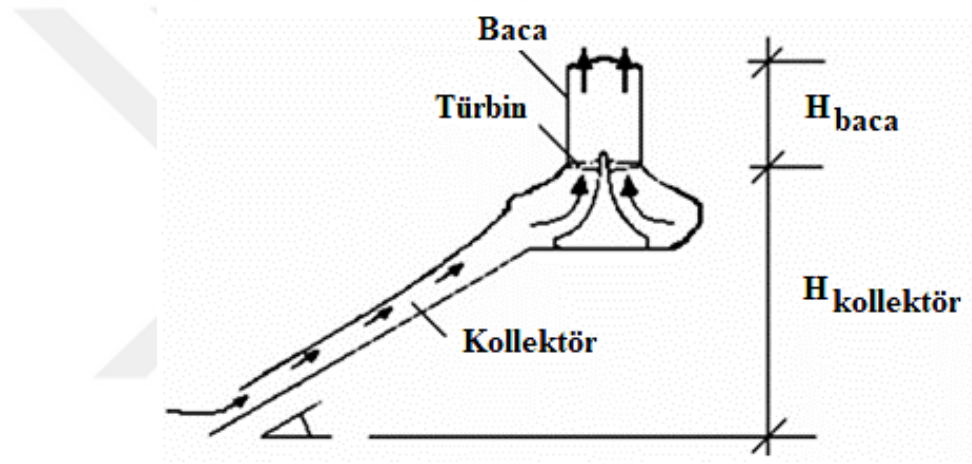
Zhou ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada, bir tarafı dağa yaslanmış yüzen bir bacaya sahip yeni bir güneş bacası önermiştir. Yeni güneş bacasını Çin'deki yüksek sıradağlarla çevrili geniş bir çöl kuşağı için incelemişlerdir. Basit bir matematiksel model kullanarak güç performansını da değerlendirmişlerdir. Önerilen güneş bacası ile üretilen elektriğin, kömür santrallerine göre daha düşük maliyetli olabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca, Taklamakan Çölü'nde veya Badain Jaran Çölü'nde önerilen elektrik santrallerinden elde edilebilecek gücün, Çin'deki elektrik tüketimini karşılamaya yardımcı olabileceğini göstermişlerdir.

Güneş bacaları için başka bir yeni tasarım Zhou ve Yang (2009) tarafından ortaya konmuştur. Bu yeni tasarımda, bir güneş kollektörü bir dağ boşluğuna entegre edilmiştir. Dağda kazılan oyuk alan, dikey baca görevi görmektedir. Kollektör içindeki hava ısınıp dağın içindeki boşluğa doğru hareket edecektir. Böylelikle, dağın yüksekliğinde bir baca elde edilmiş olacaktır. Dağın içine kazılan oyuk sayesinde, beton baca inşasından kaynaklanan yüksek maliyetin azaltılması hedeflenmiştir. Ayrıca, sağlam bir baca inşası için gerekli olan büyük miktarda inşaat malzemesinden de tasarruf sağlanacağını belirtmişlerdir.

Yukarıda belirtilen alternatif tasarımlar teknik olarak çok sınırlıdır ve üst düzey teknik bilgiye ihtiyaç duymaktadır (Kalash ve ark., 2014a). Bununla birlikte, eğimli güneş bacaları dünyadaki birçok bölgede uygulanabilirliği nedeniyle tercih edilebilir pozisyonundadır. Ayrıca, birçok tepe ve dağ, eğimli güneş bacası enerji santrali için uygundur.

Bu nedenle, bacanın dağ gibi bir yükseltiye yaslanması düşünülmüştür. Böylece; rüzgar ve deprem gibi etkilere karşı daha güvenli, dik bacaya göre daha düşük maliyetli ve daha kolay inşa edilebilir güneş bacaları mümkün olabilecektir (Gün, 2013).

Bilgen ve Rheault (2005) kollektör kısmının dağ gibi bir yükseltiye yaslanması üzerine çalışmıştır. Yaptıkları çalışmada, dağın eğimli yüzeyine güneş bacasının kollektör kısmının inşa edilmesi düşünülmüştür. Böylece dağın eğimi ile şekillenmiş yeni bir kollektör elde edilmiştir. Eğimli güneş bacaları şematik olarak Şekil 2.8’de gösterilmiştir. Bilgen ve Rheault, eğimli kollektörlerin geleneksel kollektörden daha verimli olacağı sonucuna varmışlardır. Bu çalışma, eğimli güneş bacaları ile ilgili çalışmalar arasında öne çıkmaktadır.



Şekil 2.8. Eğimli Güneş Bacasının Şematik Gösterimi (Bilgen ve Rheault, 2005)

Kollektör kısmının dağa yaslanması sonucu, aynı güçte elektrik üretimi gerçekleştirmek için inşa edilecek baca yüksekliği daha düşük olacaktır. Yani, daha düşük baca yüksekliği ile aynı çıkış gücü elde edilebilecektir. Bu sayede, baca yüksekliğinden kaynaklanan güvenlik ve inşa sorunlarının önüne geçilebilecektir.

Bilgen ve Rheault’un çalışmalarından sonra eğimli kollektör üzerine çalışmalar artış göstermiştir. Ve eğimli güneş bacaları denince, sistemin bacasının değil kollektörünün eğimli olacağı anlaşılır olmuştur.

Tablo 2.2’de 5 MW güç üretecek bir güneş bacasının tasarım parametreleri verilmiştir. Kollektör alanının ve baca çapının aynı olduğu duruma göre hesaplamalar yapılmıştır. Kanada’da bulunan Ottawa, Winnipeg ve Edmonton dağları için eğimli güneş bacaları düşünülmüştür. Ayrıca, 1995 yılında Schlaich tarafından tasarlanan ve hesapları yapılan geleneksel bir güneş bacası da karşılaştırmaya dahil edilmiştir.

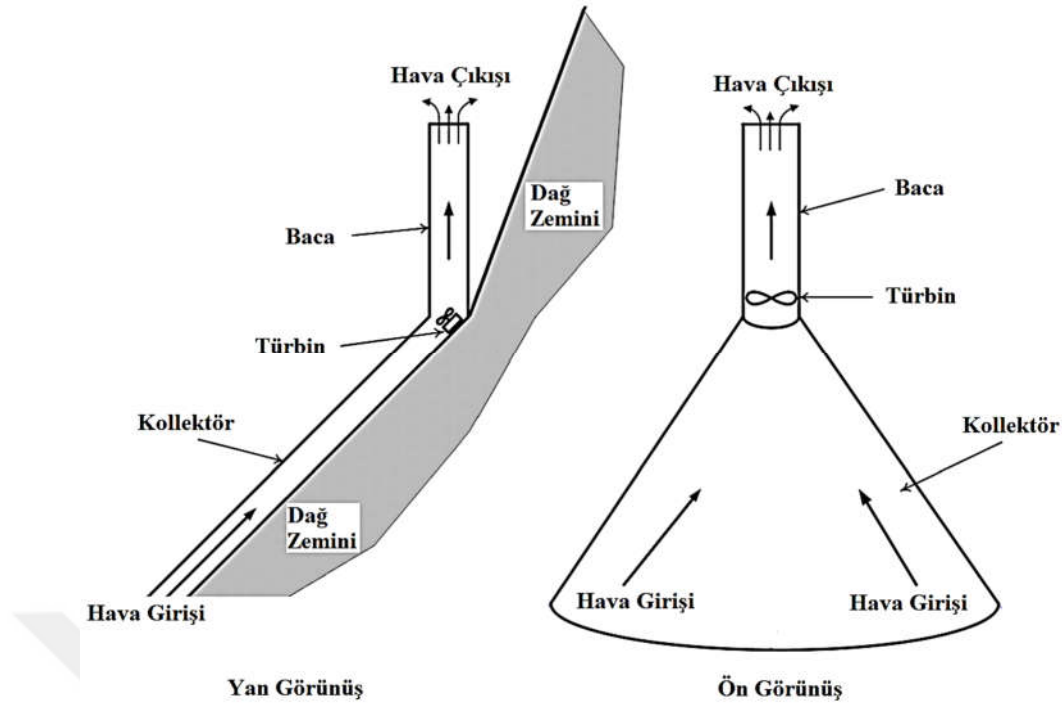
Üçü eğimli, biri geleneksel güneş bacası olan bu dört sistem için de çıkış gücünün 5 MW olacağı tasarım parametreleri belirlenmiştir. Yüksekliği 848 m olan Ottawa dağı için baca yüksekliğinin 123 m, yüksekliği 975 m olan Winnipeg dağı için baca yüksekliğinin 60 m ve yüksekliği 1024 m olan Edmonton dağı için baca yüksekliğinin 35 m olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Schlaich'in geleneksel güneş bacasında ise baca yüksekliğinin 547 m olması gerekmektedir (Bilgen ve Rheault, 2005).

Tablo 2.2. 5 MW Güç Üretecek Bir Güneş Bacasının Tasarım Parametreleri (Bilgen ve Rheault, 2005)

	Ottawa	Winnipeg	Edmonton	Schlaich (1995)
Kollektör Alanı (m²)	950000	950000	950000	950000
Kollektör Yüksekliği (m)	848	975	1024	-
Baca Çapı (m)	54	54	54	54
Baca Yüksekliği (m)	123	60	35	547

Ayrıca, Bilgen ve Rheault (2005) yaptıkları çalışmada termodinamiğe dayalı matematiksel bir model geliştirmişlerdir ve yüksek bölgeler için güneş bacası tasarlamışlardır. Eğimli kollektörler üzerine yapılan çalışmada, güneş bacası sisteminin iyi bir termal performansa sahip olduğunu ve güney bölgelerde inşa edilecek tesislerdeki kollektör verimlerinin %85'e kadar ulaşabileceğini kaydetmişlerdir. Eğimli yapıya sahip kollektörlerin kullanılabilirliğini değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak, eğimli kollektörlerin yatay kollektörden daha verimli olduğunu belirtmişlerdir.

Cao ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada, güneş bacası enerji santralinin umut verici ve uzun ömürlü bir teknoloji olduğunu vurgulamışlardır. Çin'in kuzey batı bölgesi için düşünülen geleneksel güneş bacası sistemleri ile eğimli güneş bacası sistemlerini ekonomik olarak analiz etmişlerdir. Ekonomik analiz yaparken; geri ödeme süresi, enflasyon oranı ve güneş enerjisi satış fiyatı gibi birçok faktör kullanmışlardır. Yapılan analizler, eğimli güneş bacalarının ömrü boyunca geleneksel güneş bacalarından daha düşük maliyetli olduğunu göstermiştir. Ayrıca, büyük ölçekli eğimli güneş bacalarının, fosil yakıtları kullanan sistemlere rakip olabileceğini de belirtmişlerdir. Yapılan ekonomik analiz çalışmasında eğimli güneş bacası Şekil 2.9'daki gibi şematize edilmiştir.



Şekil 2.9. Eğimli Güneş Bacasının Şematik Gösterimi (Cao ve ark., 2013)

Koonsrisuk (2013) yaptığı çalışmada, ikinci kanun analizine dayanan güneş bacasantrallerinin performansını çeşitli konfigürasyonlar için araştırmıştır. Maksimum ikinci kanun verimliliğini ve minimum entropi oluşumunu sağlayan parametrenin optimum kollektör boyutu olduğunu göstermiştir. Geleneksel güneş bacası sistemleri ile eğimli güneş bacası sistemi arasında bir karşılaştırma yapmıştır. Her iki sistemin de ikinci kanuna göre verimi, baca yüksekliğinin artmasıyla birlikte artmaktadır. Eğimli güneş bacalarının bazı konfigürasyonlar için geleneksel güneş bacalarından termodinamik olarak daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Klimenta ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada, 3 adet eğimli kollektörlü, bir bacalı ve güneş takip aynalarına sahip, kare tabanlı piramit şeklinde bir güneş bacası enerji santrali düşünmüştür. Kare piramit şekil, Giza Büyük Piramidi'nin boyutlarına karşılık gelmektedir. Piramidin, güney, doğu ve batı taraflarının güneş enerjisi kollektörleri olduğu varsayılmıştır. Modele göre, yüksek ısı kapasitesine sahip bir malzeme katmanı emici yüzeylerin her birinin altına yerleştirilirken, bu malzemelerin alt yüzeyleri adyabatiktir. Önerilen model ile geleneksel güneş bacası enerji santralinin bir prototipi arasında bir karşılaştırma yapılmıştır.

Kalash ve ark. (2014b) yaptıkları çalışma kapsamında Suriye'de Şam Üniversitesi'nde eğimli bir güneş bacası prototipi inşa etmişlerdir. Kollektör boyunca cam, hava ve yüzey sıcaklıklarını ölçmek için termometreler yerleştirmişlerdir. Güneş

ışınımı, çevre hava sıcaklığı ve hava hızı ölçümlerini yapmışlardır. Eğimli güneş bacası performansını araştırabilmek için bir yıl boyunca her on dakikada bir veri alınmıştır. Kollektör çıkışının, baca girişinin, ortam sıcaklığının ve güneş ışınımının aylık ortalama değerleri kaydedilmiştir ve değerlendirilmiştir. Sonuçlar, ortam sıcaklığı ile baca giriş sıcaklığı arasındaki farkın, kış ve yaz mevsimlerinde hemen hemen aynı olduğunu ve eğimli bir güneş kolektörüne sahip olmanın avantajını ortaya koymuştur.

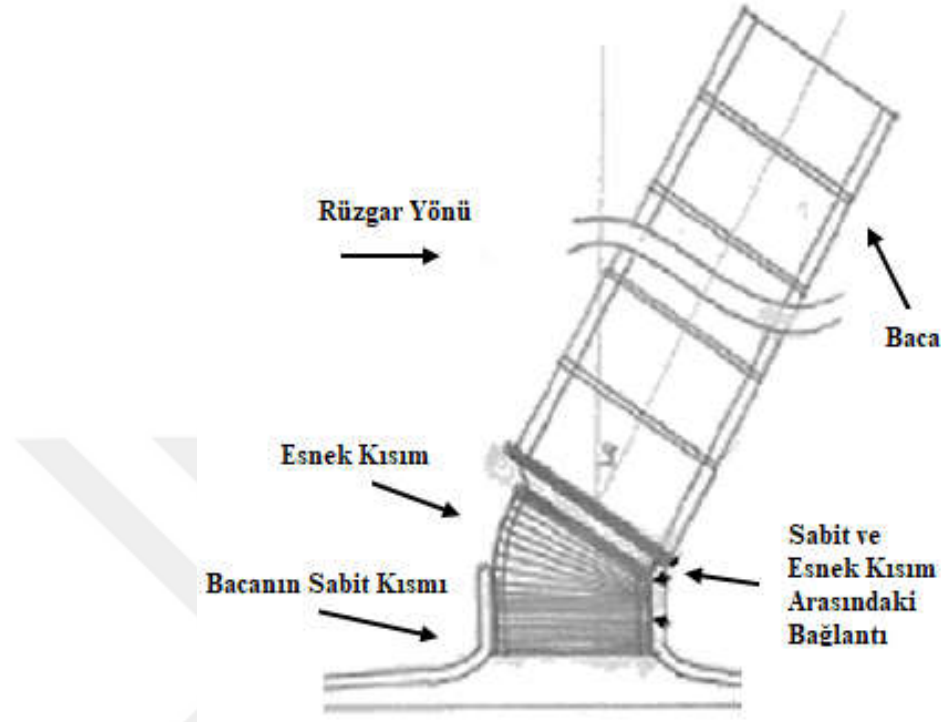
Maghrebi ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada İran'ın güneybatı bölgesindeki elektrik ihtiyacını karşılamak için eğimli güneş bacalarını önermişlerdir. Eğimli güneş bacalarının performansını ve enerji üretimini araştırmak için Basra Körfezi boyunca 5 bölge ele alınmıştır. Güç çıkışını tahmin etmek için matematiksel bir model geliştirilmiştir. Eğimli güneş bacasının, sistem verimi ve kollektör verimi gibi performansları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, eğimli güneş bacalarının, seçilen bölgelerde yılın farklı aylarında 2,98 MW ila 5,91 MW elektrik enerjisi üretebileceklerini göstermektedir.

Hassan ve ark. (2018) kollektörün eğim açısının ve bacanın ayrılma açısının Manzanares prototipinin performansına etkilerini araştırmak için üç boyutlu bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi yapmışlardır. Manzanares prototipinin deneysel verileri ile karşılaştırılarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizinin sonuçları doğrulanmıştır. Güneş bacasının performansını artırmak için çeşitli kollektör eğimi ve baca ayrılma açıları üzerinde simülasyonlar yapılmıştır. Hesaplanan sonuçlara göre; kollektör eğim açısının artmasıyla hem hız hem de sıcaklık artışı görülmüştür. Baca ayrılma açısının artmasıyla da önemli ölçüde hız artışı tespit edilmiştir. Önerilen değişikliklerin, güneş baca santrallerinin performansını artırmada katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2.1.3. Yüzen Güneş Bacaları

Geleneksel güneş bacalarında bulunan sabit ve dik bacanın, hem inşası yüksek maliyetlidir hem de yüksekliği büyük ölçüde sınırlıdır. Aynı zamanda, sabit bacalar rüzgar kuvvetlerine ve depreme karşı da yeterince dayanıklı değildir. Bu nedenlerden dolayı Papageorgiou, geleneksel betonarme güneş bacalarının yerini alabilen, yüzen güneş bacaları adı verilen daha yüksek güneş bacaları inşa etmeyi önermiştir. Esnek veya yüzen güneş bacaları olarak adlandırılan bu tür güneş bacalarında da kollektör ve türbin

kısımları diğer güneş bacalarındaki gibidir. Yüzen güneş bacalarını diğer güneş bacalarından ayıran baca tasarımıdır (Gün, 2013).



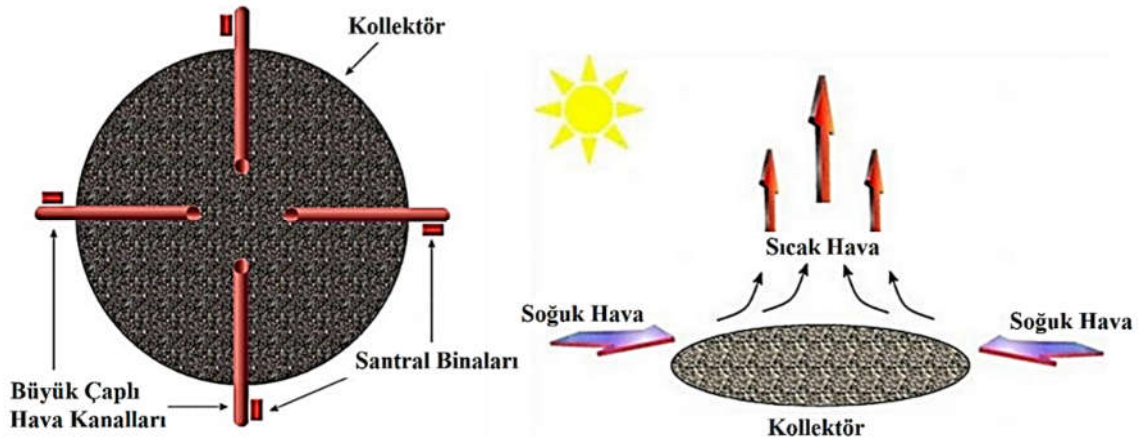
Şekil 2.10. Yüzen Güneş Bacasının Şematik Gösterimi (Gün, 2013)

Şekil 2.10'da yüzen güneş bacası şematik olarak gösterilmiştir. Yüzen güneş bacalarında, içerisinde havadan daha hafif helyum veya hidrojen gazı bulunan balonlar bacanın üst kısmına yerleştirilmiştir (Gün, 2013). Bu balonlar sayesinde yüzen bir baca oluşturulmuştur. Bacanın yüzen kısmı ile bacanın sabit kısmı arasında körük benzeri esnek bir bağlantı vardır. Bu esnek bağlantı kuvvetli rüzgarlar karşısında yüzen bacanın serbestçe hareket etmesini sağlar. Böylece sabit bacalara göre daha yüksek ve daha düşük maliyetli bacalar inşa etmek mümkün olabilir.

2.1.4. Yatay Güneş Bacaları

Yatay güneş bacaları, diğer güneş bacalarından farklı bir çalışma prensibine sahiptir. Bu sistemde de güneş enerjisi ile hava akımı oluşturulur. Kollektör, diğer güneş bacalarında olduğu gibi sera etkisi yapması için kullanılmaz. Yatay güneş bacalarındaki kollektör kısmı, büyük bir alan oluşturacak şekilde siyah taş vb. bir malzeme ile kaplanmıştır. Kaplama malzemesi yağmur ve kar gibi olumsuz etkileri sistemden uzaklaştıracak özelliğe sahip olmalıdır. Bu siyah yüzey güneş enerjisini ısı enerjisine

dönüştürmektedir. Kollektör üzerine büyük çaplardaki hava kanalları, Şekil 2.11’de görüldüğü gibi yatay bir şekilde yerleştirilmiştir. Hava kanalları dairesel kesitli olmalıdır. Ancak, maliyeti düşürmek amacıyla kare veya dikdörtgen kesitli de imal edilebilir. Bu hava kanallarının içerisine rüzgar türbinleri konulmuştur (Gün, 2013).



Şekil 2.11. Yatay Güneş Bacasının Şematik Resmi ve Çalışma Prensibi (Gün, 2013)

Kollektörün üzerinde bulunan hava ısınır ve yükselmeye başlar. Yükselmeye başlayan hava büyük hava kanallarının dış tarafındaki ortam havasını çekmeye başlar. Böylece, hava kanallarının içerisinde, yüksek basınca sahip dış ortam havasından düşük basınçlı havaya sahip olan kolektör merkezine doğru hava akımı meydana gelir. Hava kanalları içerisindeki rüzgar türbinleri sayesinde elektrik üretimi gerçekleşir. Daha yüksek çıkış gücü eldesi için kolektör üzerindeki hava kanalı sayısı ve hava kanalı içerisindeki türbin sayısı artırılabilir.

Yatay güneş bacalarının performansını etkileyen en önemli parametre kolektörün büyüklüğü yani çapıdır. Yapılan hesaplamalara göre; 30 MW’lık bir enerji çıkışı için 2200 m çapında, 100 MW’lık bir enerji çıkışı için 3600 m çapında ve 200 MW’lık bir enerji çıkışı için 4000 m çapında kolektöre ihtiyaç vardır (Gün, 2013).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Güneş Bacalarının Ana Elemanları

Genel olarak güneş bacasının çıkış gücü, sisteme giren güneş enerjisinin toplam verimle çarpılmasıyla Denklem 3.1'deki gibi bulunabilir (Schlaich ve ark., 2005):

$$P = Q_{giren} \cdot \eta_{toplam} \quad [W] \quad (3.1)$$

Burada; P güneş bacasının çıkış gücünü, Q_{giren} sisteme giren güneş enerjisini, η_{toplam} güneş bacasının toplam verimini göstermektedir. Sisteme giren güneş enerjisi, kolektör yüzey alanına ve güneş ışınımına bağlıdır (Schlaich ve ark., 2005):

$$Q_{giren} = A_{kolektör} \cdot I \quad [W] \quad (3.2)$$

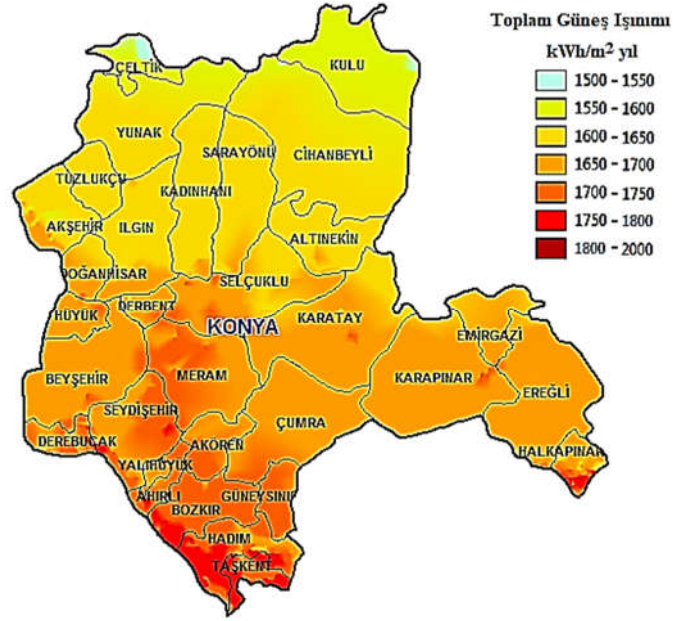
Burada; $A_{kolektör}$ kolektör yüzey alanını, I ise kolektör yüzeyine gelen toplam ışınımı göstermektedir. Yatay güneş bacaları dışındaki güneş bacaları; kolektör, baca ve türbin olmak üzere üç ana elemandan oluşmaktadır. Toplam verim; kolektör, baca ve türbin verimlerinin çarpımına eşittir (Schlaich ve ark., 2005):

$$\eta_{toplam} = \eta_{kolektör} \cdot \eta_{baca} \cdot \eta_{türbin} \quad (3.3)$$

Burada; $\eta_{kolektör}$ kolektör verimini, η_{baca} baca verimini, $\eta_{türbin}$ türbin verimini göstermektedir. Böylece; güneş bacasının çıkış gücü Denklem 3.4'deki gibi düzenlenebilir (Schlaich ve ark., 2005):

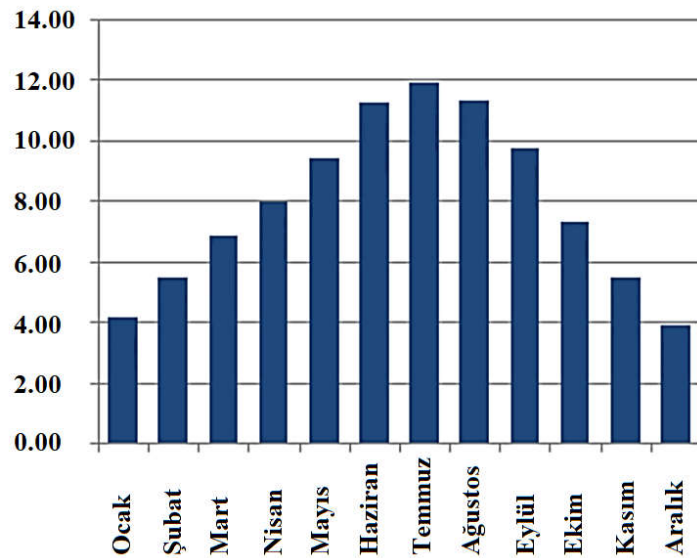
$$P = Q_{giren} \cdot \eta_{kolektör} \cdot \eta_{baca} \cdot \eta_{türbin} \quad [W] \quad (3.4)$$

Güneş bacasının çıkış gücü, üç ana elemanın verimine bağlıdır. Bu nedenle, her üç elemanın tasarımı da dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Aynı zamanda sisteme giren güneş enerjisi de çıkış gücü üzerinde etkili olduğundan sistemin kurulacağı bölgenin güneş ışınım değerleri incelenmelidir.



Şekil 3.1. Konya İli Yıllık Güneş Işınımı Değerleri (Anonim, 2018)

Şekil 3.1’de Konya ili yıllık güneş ışınımı değerleri, Şekil 3.2’de ise Konya ili güneşlenme süreleri verilmiştir. Bu verilere göre; Konya’nın güneş enerjisi kapasitesinin yüksek olduğu ve güneş enerjisi kullanarak elektrik üretimi gerçekleştiren sistemler için uygun olduğu söylenebilir. Konya’nın coğrafi yapısı, hem geleneksel hem de eğimli güneş bacalarının kurulması ve işletilmesi için uygundur. Geleneksel güneş bacaları için tarıma elverişli olmayan ovalar seçilebilir. Eğimli güneş bacaları için ise dağ ve tepelerin güney cepheleri tercih edilebilir.



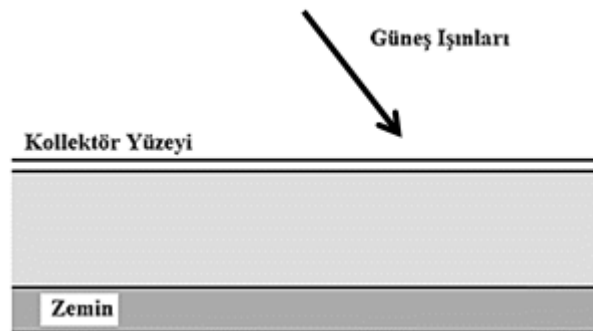
Şekil 3.2. Konya İli Güneşlenme Süreleri (saat) (Anonim, 2018)

3.1.1. Kollektör

Kollektör güneş bacalarında enerji dönüşümünün başladığı ilk elemandır. Kollektörün malzemesi gelen güneş ışınlarını geçirecek saydamlıkta ve yansıtmayacak özellikte olmalıdır. Kollektör yüzeyinden geçen güneş ışınları zemine ulaşır. Zemine ulaşmadan önce kollektörün altında bulunan hava ile temas eder ve ısınmasını sağlar. Zemine ulaşan ışınlar da zeminin ısınmasını sağlar ve bu ışınların bir miktarı ise tekrar yansyarak kollektörün iç yüzeyine ulaşır. Kollektör yüzeyini oluşturan saydam malzemenin, zeminden yansyıp gelen güneş ışınlarını geçirmemesi gerekir. Böylece, kollektör yüzeyinden geçen güneş ışınlarından maksimum verim alınabilir. Kollektör malzemesi olarak cam, naylon veya saydam fotovoltaiik paneller vb. kullanılabilir.

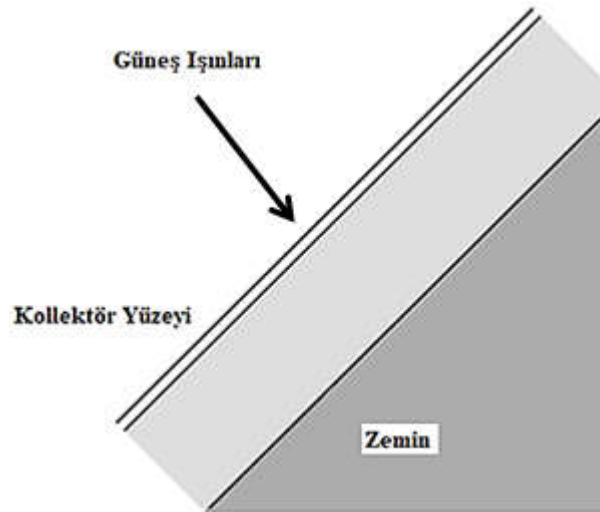
Kollektör zemini üzerine gelen ışınları yansıtılmamalıdır. Bunun için pürüzlü ve siyah renkli olmalıdır. Zemin aynı zamanda enerji depolama görevi de görebilir. Depolama işlemini zeminin kendisi yapabileceği gibi içi su dolu borular kullanılarak da yapılabilir. Enerji depolamanın amacı, güneş ışınımının olmadığı gece vakitlerinde de kollektör altında kalan havanın sıcaklığının düşmemesini sağlamaktır (Koyun, 2006).

Güneş bacalarında kollektörler yatay ve eğimli olmak üzere iki şekilde inşa edilir. Şekil 3.3'te yatay kollektör şematik olarak gösterilmiştir. Geleneksel ve yüzen güneş bacalarında yatay kollektör kullanılır. Yatay kollektörler, genelde dairesel olur ve yatay yüzey oluşturacak şekilde yerleştirilir.



Şekil 3.3. Yatay Kollektörün Şematik Gösterimi

Eğimli güneş bacalarında kollektör eğimlidir. Eğimli kollektör, yarım daire veya tam daire olabileceği gibi kollektörün yaslandığı yükseltinin durumuna göre farklı şekillerde de olabilir ve yaslandığı yükseltinin eğimine göre inşa edilir. Şekil 3.4'te eğimli kollektör şematik olarak gösterilmiştir.



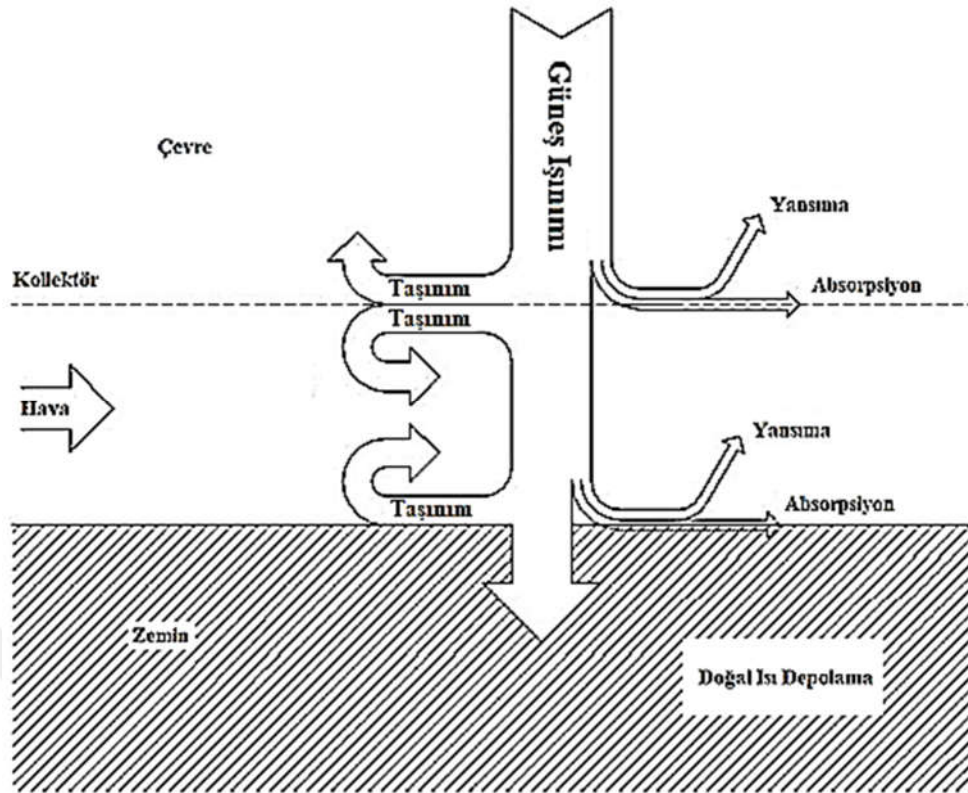
Şekil 3.4. Eğimli Kollektörün Şematik Gösterimi

Yatay kolektör de eğimli kolektör de aynı prensiple çalışır. Kollektör altında kalan hava ısınır. Isınan havanın yoğunluğu ile basıncı azalır ve yükselme eğilimi gösterir. Dış ortamdaki soğuk havanın ise basıncı ve yoğunluğu yüksektir. Basıncın ve yoğunluğun yüksek olduğu bölgeden düşük olan bölgeye doğru hava akımı meydana gelir. Sıcak hava, kolektörün merkezinde bulunan bacaya doğru hareket ederken dışardaki soğuk hava kolektörün içerisine çekilir.

Yatay kolektörlerde, bacaya doğru taşınan havanın akışını daha düzgün yönlendirebilmek için baca girişindeki kolektörün yerden yüksekliği, kolektörün girişindeki yerden yükseklikten fazla yapılır. Bazı uygulamalarda ise kolektörün kendi içerisinde bölümlere ayrıldığı görülmektedir.

Eğimli kolektörün en önemli etkisi, yaslandığı yükseltiden kaynaklanan, kolektörün kendisinin de belirli bir yüksekliğinin olmasıdır. Bu yükseklik kolektörün de baca gibi çekiş etkisi göstermesini sağlamaktadır. Bu nedenle, eğimli kolektörler yatay kolektörlere göre daha verimlidirler (Bilgen ve Rheault, 2005).

Kollektör yatay da olsa eğimli de olsa enerji dönüşümü aynı şekilde gerçekleşmektedir. Şekil 3.5'te güneş bacalarında meydana gelen enerji dönüşümleri gösterilmiştir. Cama güneş ışınları ile gelen enerjinin bir kısmı cam tarafından absorbe edilir ve camın ısınmasına neden olur. Isınan camdan dış ortama yani çevreye, taşınım ile enerji geçişi olur. Aynı zamanda ısınan camdan kolektörün altındaki havaya da taşınım ile enerji geçer. Cama gelen güneş ışınlarının bir kısmı ise camdan tekrar yansyarak sistemden uzaklaşmış olur.



Şekil 3.5. Güneş Bacasında Enerji Dönüşümleri (dos Santos Bernardes ve ark., 2009)

Kollektörün verimi, sisteme giren güneş ışınımının ne kadarını verimli enerjiye dönüştürebildiğine göre belirlenir. En basit ifadesiyle kollektör verimi 3.5 nolu denklemde verilmiştir (Koyun, 2006):

$$\eta_{\text{kollektör}} = \frac{Q_{\text{kollektör, çıkış}}}{A_{\text{kollektör}} \cdot I} \quad (3.5)$$

Burada; $Q_{\text{kollektör, çıkış}}$ kollektör çıkışında havanın taşıdığı ısı enerjisini göstermektedir. Denklem 3.5; $Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$ [W] ve $\dot{m} = \rho \cdot V \cdot A$ [kg/s] formülü kullanılarak aşağıdaki şekilde düzenlenebilir (Koyun, 2006):

$$\eta_{\text{kollektör}} = \frac{\rho \cdot V_{\text{baca}} \cdot A_{\text{baca}} \cdot C_p \cdot \Delta T}{A_{\text{kollektör}} \cdot I} \quad (3.6)$$

Burada; ρ havanın yoğunluğunu, V_{baca} baca girişindeki havanın hızını, A_{baca} bacanın kesit alanını, C_p havanın özgül ısısını, ΔT kollektörde gerçekleşen sıcaklık artışını göstermektedir.

3.1.2. Baca

Güneş bacalarında ısınan havanın yükselmesini sağlayan elemandır. Bacadaki hava hızını hem kollektörün hem de bacanın tasarımı etkilemektedir. Kollektör girişi ile çıkışı arasındaki sıcaklık farkı arttıkça havanın hızı artar. Bu sıcaklık farkı kollektörün büyüklüğüne bağlıdır. Büyük çaplı kollektörler ile 35°C'ye kadar sıcaklık artışı gerçekleşebilir. Bacanın etkisi ise çapı ve yüksekliği ile ilgilidir. Özellikle baca yüksekliği arttıkça, bacanın çekiş etkisinin artmasıyla hava hızı artar. Yeterli büyüklükte kollektör ve yeterli yükseklikte baca ile 15 m/s'ye kadar hava hızlarına ulaşılabilir. Hava hızı ne kadar yüksek olursa türbin ve jeneratör vasıtasıyla elde edilecek güç o kadar büyük olur (Koyun, 2006).

Baca boyunca hareket eden havada basınç düşüşü meydana gelir. Bacanın girişi ise dış ortam arasında oluşan bu basınç düşüşü aşağıdaki şekilde ifade edilir (Kara, 2002):

$$\Delta p_{toplam} = g \cdot \int_0^{H_{baca}} (\rho_0 - \rho_{baca}) \cdot dH \quad [Pa] \quad (3.7)$$

Burada; Δp_{toplam} baca boyunca meydana gelen toplam basınç düşüşünü, g yer çekimi ivmesini, H_{baca} baca yüksekliğini, ρ_0 dış ortamdaki havanın yoğunluğunu, ρ_{baca} ise baca içerisindeki havanın yoğunluğunu göstermektedir. Baca verimi en genel haliyle 3.8 nolu denklemde verilmiştir (Kara, 2002):

$$\eta_{baca} = \frac{g \cdot H_{baca}}{C_p \cdot T_0} \quad (3.8)$$

Baca yüksekliği 1000 m alınırsa; 3.8 nolu denkleme göre; baca verimi yaklaşık %3 olmaktadır (Kara, 2002).

Bacanın malzemesi, ne kadar yüksek olacağına göre değişkenlik gösterebilir. Düşük yükseklikteki bacalar için yapı malzemesi büyük önem arz etmese de verimleri düşük olacağı için tercih edilmeyeceği düşünülebilir. Yüksek bacalarda malzeme tercihi ise çok önemlidir. 1000 m gibi çok yüksek bacaların inşası için çelik ve beton malzemenin birlikte kullanımını öngörülebilir. Bacanın inşasından sonra, güvenli bir şekilde işletilmesi için gerekli önlemler alınmalıdır.

3.1.3. Türbin

Hızı artarak bacaya yönelen hava, bacanın giriş bölgesinde bulunan türbinin dönmesini sağlar. Türbine bağlı olan jeneratör vasıtasıyla elektrik enerjisi üretilir. Bacanın çok yüksek olmadığı durumlarda türbin ve jeneratör bacanın giriş kısmı yerine bacanın çıkışına da yerleştirilebilir. Ancak, türbin ve jeneratörün bacanın üst kısmında yer almasının hem ilk kurulumda hem de kullanım esnasında çeşitli zorlukları vardır. Bu nedenle çoğunlukla türbin ve jeneratör bacanın girişine yerleştirilir. Ayrıca, baca boyunca birden fazla türbin kullanımı da mümkündür.

Güneş bacalarında türbinler, rüzgar türbinlerinden farklı olarak basınç farkını kullanırlar. Yani, türbinden elde edilen güç, türbin öncesi ve sonrası arasında basıncın ne kadar düştüğü ile ilgilidir. Denklem 3.7’de verilen toplam basınç düşüşü ifadesi statik ve dinamik bileşenlere sahiptir. Statik basınç düşüşü türbinde gerçekleşir. Dinamik basınç düşüşü ise havanın kinetik enerjisini ifade eder (Kara, 2002).

$$\Delta p_{toplam} = \Delta p_{statik} + \Delta p_{dinamik} \quad [Pa] \quad (3.9)$$

Burada; Δp_{statik} türbinde gerçekleşen basınç düşüşünü, $\Delta p_{dinamik}$ havanın sahip olduğu kinetik enerjiyi göstermektedir. Havanın sahip olduğu kinetik enerji yerine koyulursa türbindeki basınç düşüşü (Kara, 2002);

$$\Delta p_{statik} = \Delta p_{toplam} - \frac{1}{2} \cdot \rho_{baca} \cdot (V_{baca})^2 \quad [Pa] \quad (3.10)$$

olur. Burada; V_{baca} baca içerisindeki havanın hızıdır. Türbin çıkış gücü ise aşağıdaki gibi ifade edilir (Kara, 2002):

$$P_{türbin} = V_{baca} \cdot A_{baca} \cdot \Delta p_{statik} \quad [W] \quad (3.11)$$

Hacimsel debi için $\dot{V} = V_{baca} \cdot A_{baca}$ ifadesi yerine koyulduğunda (Kara, 2002);

$$P_{türbin} = \dot{V} \cdot \Delta p_{statik} \quad [W] \quad (3.12)$$

şeklini alır.

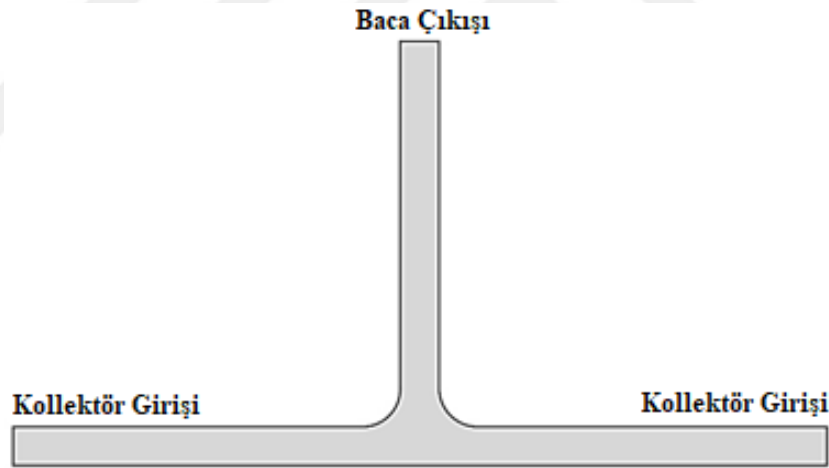
3.2. Temel Denklemler

Güneş bacası hesaplamalarında kullanılan temel denklemler; kütle ve enerjinin korunumu denklemleridir.

Kütle korunumu en genel haliyle (Çengel ve ark., 2008);

$$\int_{KH} \frac{\partial \rho}{\partial t} dV = \sum_{giren} \dot{m} - \sum_{çikan} \dot{m} \quad [kg/s] \quad (3.13)$$

olarak ifade edilebilir. Bu denklem, kontrol hacmi içerisindeki kütle birim zamandaki net değişim hızının, kontrol hacmine giren ve kontrol hacminden çıkan kütleli debilerin farkına eşit olduğu göstermektedir. Güneş bacalarında hava akışı kollektör girişi ile baca çıkışı arasındadır. Kollektör girişi ve baca çıkışı arasındaki hacim, kontrol hacmi olarak kabul edilebilir. Geleneksel güneş bacaları için kontrol hacmi Şekil 3.6'da şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Geleneksel Güneş Bacaları İçin Kontrol Hacmi

Kollektör ve baca boyunca, dışarıdan içeriye veya içeriden dışarıya hava geçişi olmayacağı için güneş bacalarındaki akış daimi olarak düşünülebilir. Daimi akışlarda kontrol hacmi içerisindeki kütle miktarı zamanla değişmediğinden kütle korunumu şu şekilde yazılabilir (Çengel ve ark., 2008):

$$\sum_{giren} \dot{m} = \sum_{çikan} \dot{m} \quad [kg/s] \quad (3.14)$$

Enerjinin korunumu en genel haliyle (Çengel ve ark., 2008);

$$\dot{E}_{giren} - \dot{E}_{çıkan} = \frac{dE_{KH}}{dt} \quad (3.18)$$

şeklinde ifade edilir. Burada; \dot{E}_{giren} kontrol hacmine birim zamanda giren toplam enerji, $\dot{E}_{çıkan}$ kontrol hacminden birim zamanda çıkan toplam enerji, dE_{KH}/dt ise kontrol hacmi sınırları içerisindeki enerji değişim hızıdır. Daimi akışlar için kontrol hacmi içerisindeki enerji değişimi (Çengel ve ark., 2008):

$$\dot{Q}_{net\ giren} + \dot{W}_{net\ giren} = \sum_{çıkan} \dot{m} \left(h + \frac{V^2}{2} + gH \right) - \sum_{giren} \dot{m} \left(h + \frac{V^2}{2} + gH \right) \quad (3.19)$$

şeklinde olur. Bu denklem, daimi akış sırasında kontrol hacmine ısı ve iş geçişi ile birim zamanda olan net enerji geçişinin, kütle ile birlikte giren ve çıkan enerji farkına eşit olduğunu göstermektedir.

3.3. Deneysel Çalışma

3.3.1. Eğimli Güneş Bacasının Tasarlanması

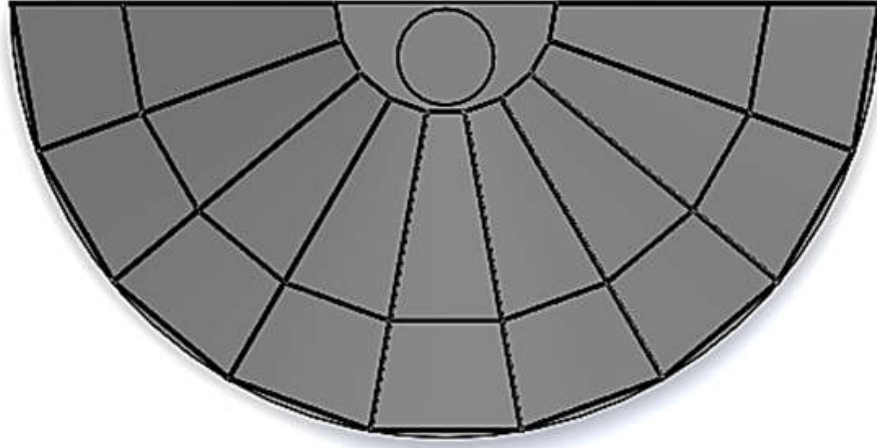
Eğimli güneş bacası tasarımına başlamadan önce inşa edilecek yer belirlenmiştir. Araştırma ve incelemeler sonucunda, eğimli güneş bacasının Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi'nin güney kısmında inşa edilmesi kararlaştırılmıştır. Şekil 3.7'de eğimli güneş bacasının inşa edildiği yer gösterilmiştir. Gerekli izinler alındıktan sonra tasarım aşamasına geçilmiştir.



Şekil 3.7. Eğimli Güneş Bacasının İnşa Edildiği Yer

Eğimli güneş bacası tasarımına kollektör kısmının tasarımı ile başlanmıştır. Eğimli güneş bacasının en önemli özelliği kollektörünün eğimli olmasıdır. Eğimli kollektörü deney düzeneğinde oluşturmak için ilk akla gelen koni şeklidir. Koni şekli, eğimli kollektörün yaslanacağı dağ benzeri yükseltiyi oluşturmak için idealdir. Ancak, üretimi zor ve maliyetlidir. Konik kısmın üretimi gerçekleşmiş olsa da, kollektör üst yüzeyini oluşturan cam benzeri saydam malzemenin üretimi ve yerleştirilmesi sorunları ortaya çıkacaktır. Bu zorlukların üstesinden gelebilmek için eğimli kollektör, on sekiz kenarlı bir düzgün çokgen olarak düşünülmüştür. Altıgen veya sekizgen gibi az kenarlı bir çokgen yerine on sekiz kenarlı bir çokgenin seçilmesinin sebebi koniye daha benzer bir şekil oluşturabilmektir.

Dağ benzeri bir yükseltinin sadece güney kısmının kullanılacağı düşüncesiyle kollektör kısmı, on sekizgenin dokuz kenarı kullanılarak tasarlanmıştır. Şekil 3.8’de tasarlanan eğimli kollektörün üstten görünümü verilmiştir.

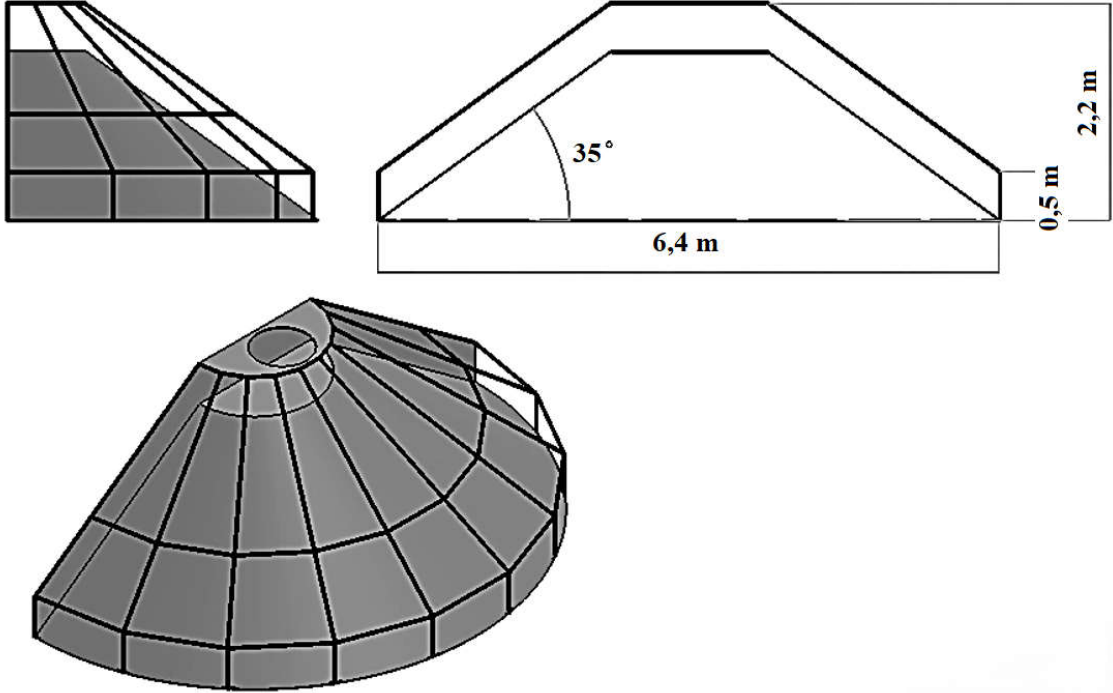


Şekil 3.8. Tasarlanan Eğimli Kollektörün Üstten Görünümü

Kollektörün şekli belirlendikten sonra hem üretimde kullanılacak malzemelerin hem de eğimli güneş bacasının boyutlarının belirlenmesi aşamasına geçilmiştir. Güneş bacalarında verim kollektörün çapına ve bacanın yüksekliğine bağlıdır. Bu iki ölçünün artması verimin de artması anlamına gelmektedir. Bu nedenle, minimum maliyetli ve maksimum büyüklükte bir güneş bacası inşa etmek hedeflenmiştir. Üretim kolaylığı, sağlamlık ve maliyet analizleri yapılmıştır. Daha sonra kullanılacak malzemeler belirlenmiştir.

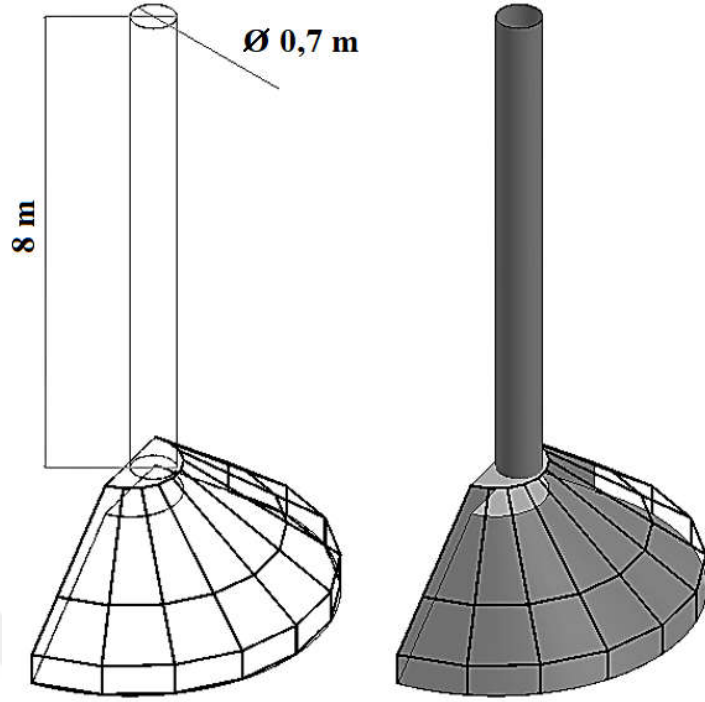
Kollektör kısmı için saç malzemelerle birlikte kare ve köşebent profiller kullanılması düşünülmüştür. Saç malzemeler, dağı sembolize etmek için kollektör alt zemininde kullanılacaktır. Kare profiller tüm deney düzeneğinin sabitlenmesi amacıyla destek elemanı olarak kullanılacaktır. Köşebent profiller ise kollektör üst kısmına yerleştirilecek olan saydam malzemeyi taşıma görevini yerine getirecektir. Güneş ışınlarını daha iyi absorbe edebilmek için saç malzemeler ve profiller siyah renge boyanacaktır. Kollektör üst kısmına yerleştirilecek saydam malzeme için 6 mm kalınlığında temperlenmiş cam kullanılması kararlaştırılmıştır. Çevre koşullarına karşı daha dayanıklı olması sebebiyle temperlenmiş cam tercih edilmiştir.

Kollektörün üretiminde kullanılacak malzemeler belirlendikten sonra kollektör çapı 6,4 m, kollektör girişindeki yükseklik 0,5 m, kollektör çıkışındaki yükseklik 2,2 m ve kollektör eğim açısı 35° olarak belirlenmiştir. Tasarlanan eğimli kollektörün ölçüleri Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Tasarlanan Eğimli Kollektörün Ölçüleri

Baca malzemesi olarak galvanizli sac kullanılmasına karar verilmiştir. Galvanizli sac malzeme, uzun süre paslanmazlığının yanında parlak renginden dolayı ışığı yansıtacak ve baca içindeki sıcaklığın artmasını engelleyecektir. Baca yüksekliğinin belirlenmesinde, bacanın güvenli bir şekilde dik durması da göz önüne alınmıştır. Bacanın sabitlenmesini ve dik durmasını kolaylaştırmak için binaya yaslanmasına karar verilmiştir. Bacanın yaslanacağı binanın çatısının yerden yüksekliği 8,2 m’dir. Bacanın yerleştirileceği yer olan kollektörün üst kısmının ise yerden yüksekliği 2,2 m’dir. Bu değerler göz önüne alındığında bacanın, yaslandığı binanın çatısından yaklaşık 2 m daha yukarıya yükselmesinin uygun olacağına karar verilmiştir. Böylece baca yüksekliği 8 m olarak belirlenmiştir. Bu yükseklik için baca çapı ise 0,7 m seçilmiştir. Tasarlanan bacanın ölçüleri Şekil 3.10’da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Tasarlanan Bacanın Ölçüleri

3.3.2. Tasarlanan Eğimli Güneş Bacasının Kurulumu

Tasarlanan eğimli güneş bacasının tüm parçaları hazır edildikten sonra montajının yapımı için inşa edilecek yere getirilmiştir. Kollektör parçalarının birleştirilmesiyle montaja başlanmıştır. Kollektörün montajı Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Kollektörün Montajı

Saç malzemelerden ve profillerden oluşan kollektör zemininin ve cam taşıyıcı kısmın montajı tamamlanmıştır. Tamamlanan kollektör Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'te gösterilmiştir. Yapılan bu eğimli kollektör ile dağ benzeri yükselti oluşturulmuştur.



Şekil 3.12. Montajı Tamamlanan Kollektörün Önden Görünümü



Şekil 3.13. Montajı Tamamlanan Kollektörün Üstten Görünümü

Kollektör montajı tamamlandıktan ve yerine yerleştirildikten sonra bacanın montajına geçilmiştir. 8 m uzunluğundaki bacanın montajı için araç üstü vinç kullanılmıştır. Böylece kolaylıkla montaj gerçekleştirilmiştir. Bacanın montajı Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Bacanın Montajı

Bacanın üst kısmından baca içerisine yağmur ve kar girmesini önlemek için koruyucu bir şapka yapılmıştır. Bu koruyucu şapka, baca çapından daha geniş olacak şekilde 1 m çapında yapılmıştır. Koruyucu şapka Şekil 3.15'te gösterilmiştir. Ayrıca, sistemin içerisine herhangi yabancı maddenin girmesini engellemek amacıyla şapkanın etrafı tel ile kapatılmıştır. Bu tel aynı zamanda kuş vb. canlıların kendilerine zarar vermesini de engelleyecektir. Bacanın üst kısmındaki çalışmalar yapılırken de araç üstü vinç kullanılmıştır.



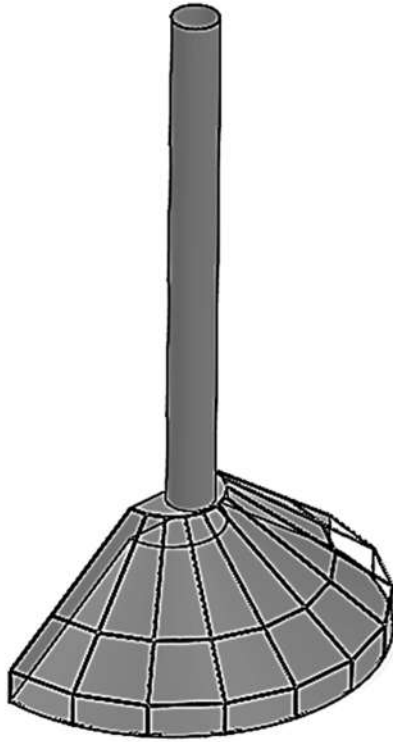
Şekil 3.15. Baca Üst Kısımındaki Koruyucu Şapka

Bacanın ve üstündeki şapkanın montajı bittikten sonra kollektör üst kısmı için camlar getirilmiştir ve montajı yapılmıştır. Camların montajı sonrası kollektör Şekil 3.16'da gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Camların Montajı Sonrası Kollektörün Görünümü

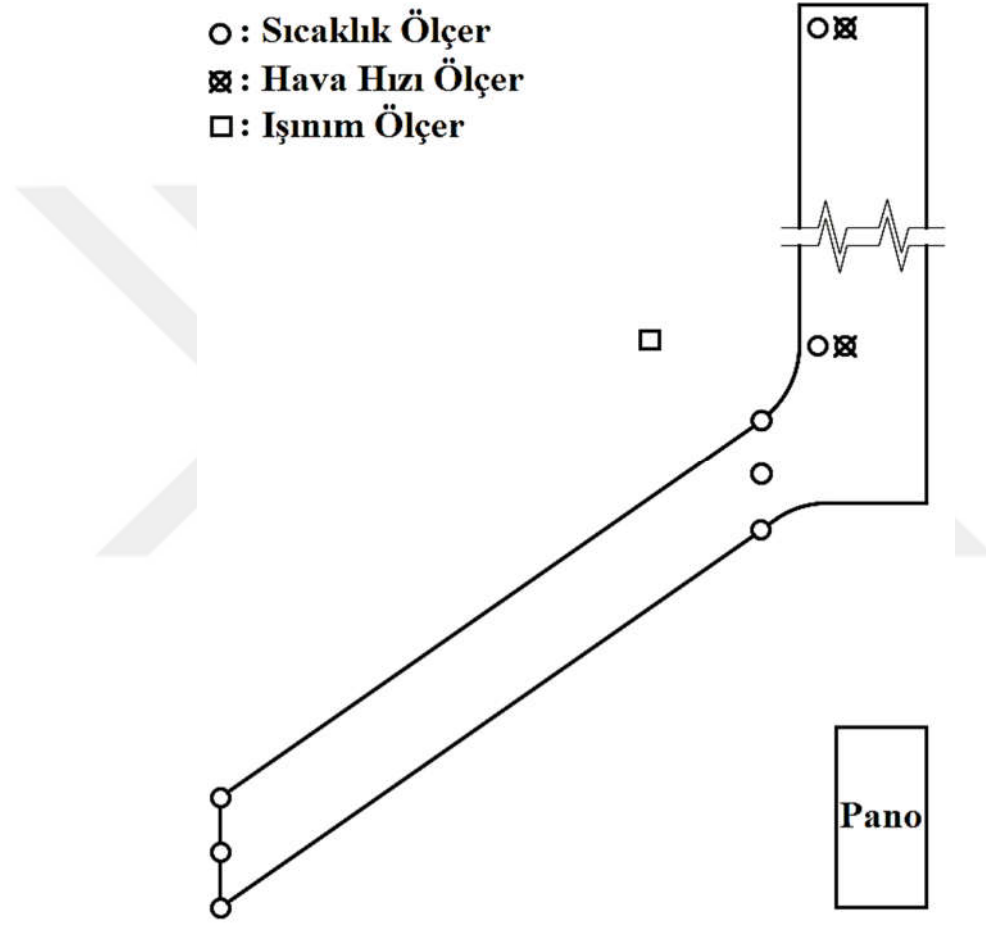
Camların montajı da yapıldıktan sonra eğimli güneş bacasının inşası tamamlanmıştır. Tasarlanan ve inşası gerçekleştirilen eğimli güneş bacası Şekil 3.17’de gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Tasarlanan ve İnşası Gerçekleştirilen Eğimli Güneş Bacası

3.3.3. Ölçüm Sistemi ve Gerçekleştirilen Ölçümler

Eğimli güneş bacası deney düzeneği üzerindeki ölçümlerin yapılabilmesi için çeşitli ölçüm aletleri kullanılmıştır. Ölçülen verilerin kaydedilmesi için özel bir pano yapılmıştır. Hazırlanan sistem saniye bir veri kaydı yapılabilir. Deney düzeneğinde sıcaklık, ışınlam ve hava hızı ölçümleri yapılmıştır. Kullanılan ölçüm aletlerinin konumları Şekil 3.18’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Kullanılan Ölçüm Aletlerinin Konumları

Sıcaklık ölçümleri için Şekil 3.19’da gösterilen sıcaklık ölçerler kullanılmıştır. Kullanılan sıcaklık ölçerler -45°C ’den $+125^{\circ}\text{C}$ ’ye kadar ölçüm yapabilmektedir. Deney düzeneğinde 8 farklı yerden sıcaklık değeri ölçülmüştür. Bunlardan 6 tanesi kollektörde 2 tanesi bacadadır. Kollektör girişinde ve çıkışında; cam yüzeyin, zeminin ve havanın sıcaklıklarını ölçmek için 3’er adet sıcaklık ölçüm noktası belirlenmiştir. Bacada ise giriş ve çıkış kısımlarına sıcaklık ölçer konulmuştur.



Şekil 3.19. Sıcaklık Ölçer

Baca içerisindeki havanın hızını ölçebilmek için bir tanesi baca girişine bir tanesi de baca çıkışına olmak üzere 2 adet hava hızı ölçer kullanılmıştır. 20 m/s hıza kadar ölçüm yapabilen hava hızı ölçer Şekil 3.20’de gösterilmiştir. Eğimli güneş bacası deney düzeneğinde kullanılan ışınım ölçer ise Şekil 3.21’de gösterilmiştir.



Şekil 3.20. Hava Hızı Ölçer



Şekil 3.21. Işınım Ölçer

Eğimli güneş bacası deney düzeneğindeki ölçümlerinin tamamının okunduğu ve kaydedildiği özel olarak üretilen pano Şekil 3.22’de gösterilmiştir. Bu pano aracılığıyla sistem üzerinden doğru ve hızlı bir şekilde veri almak mümkün olmaktadır.



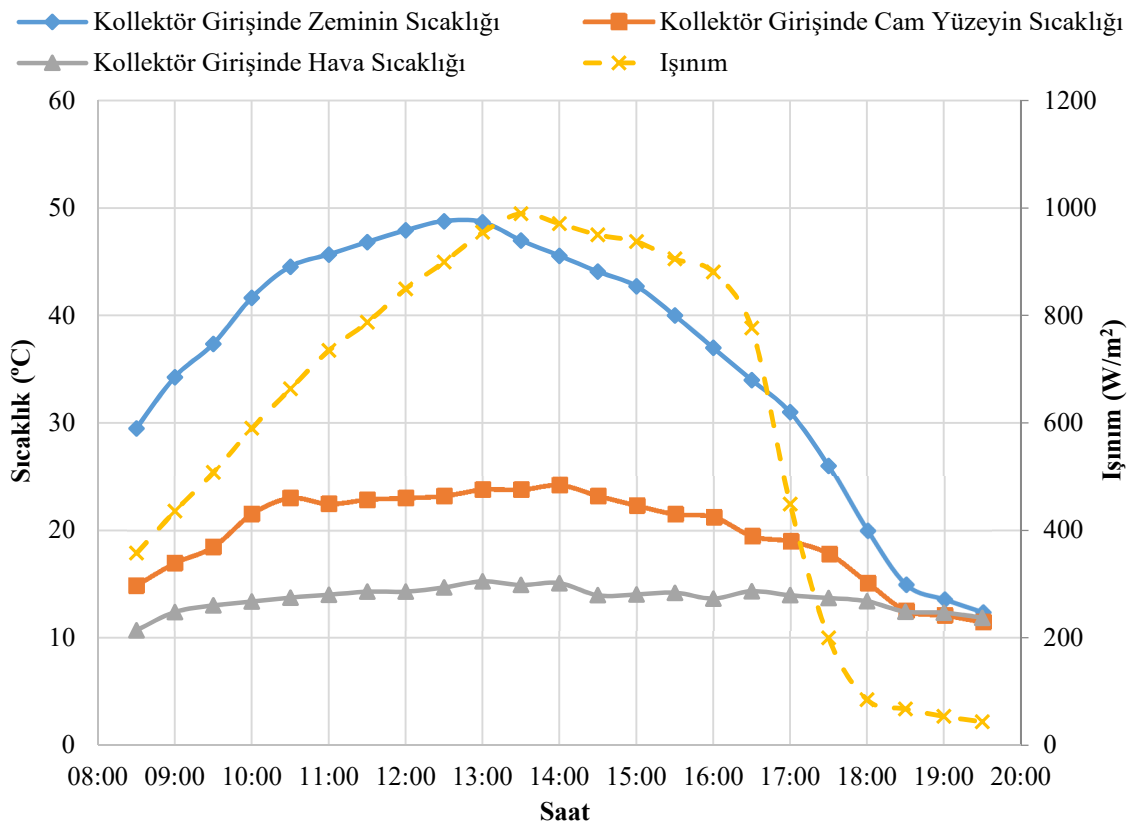
Şekil 3.22. Özel Olarak Üretilen Pano

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Deneysel Sonuçlar

Eğimli güneş bacası deney düzeneğinden elde edilen veriler 1 Nisan 2019 tarihinden itibaren kaydedilmeye başlanmıştır. Gün içerisinde, güneş ışınımının olmadığı vakitlerdeki verilerin önemi olmaması nedeniyle bu vakitlerde kayıt alınmamıştır. Sistem, gün içerisinde 08:00-20:00 saatleri arasında her on saniyede bir veri alınacak şekilde düzenlenmiştir. Elde edilen verilerin çok fazla sayıda olması nedeniyle belirlenmiş saatler arası ortalama değerler alınmıştır.

Tüm veriler incelendikten sonra ışınım değerlerinin en fazla olduğu gün seçilmiştir. Seçilen bu günün verileri grafikler halinde sunulmuştur. 2019 yılının nisan ayı beklenenden daha soğuk ve oldukça güneşsiz geçmiştir. Nisan ayı boyunca tüm günlerin verileri incelenmiştir ve 23 Nisan 2019 gününde en yüksek ışınım değerlerinin ölçüldüğü tespit edilmiştir. Bu nedenle nisan ayı için bu gün seçilmiştir.

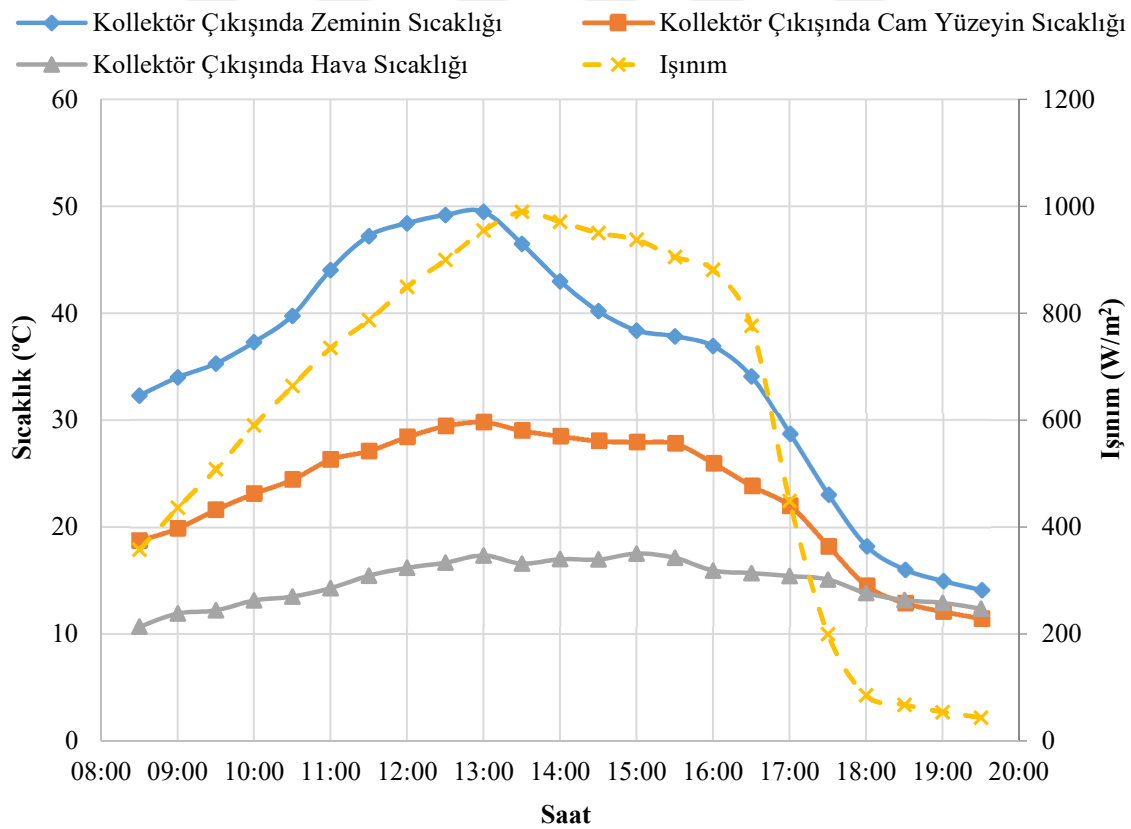


Şekil 4.1. 23.04.2019 Günü İçin Işınım ile Kollektör Girişinde Zeminin, Cam Yüzeyin ve Havanın Sıcaklıkları Arasındaki İlişki

Şekil 4.1’de 23 Nisan 2019 tarihinde kollektöre gelen güneş ışınımı ile kollektör girişinde zeminin, cam yüzeyin ve havanın sıcaklıkları arasındaki ilişki verilmiştir. Güneş ışınımının saat 13:00’e kadar artarak 970 W/m^2 seviyelerine ulaştığı görülmektedir. Bu saatten sonra ise azalmaya başlamıştır. Işınımın artışına paralel olarak kollektör girişindeki sıcaklıkların da arttığı görülmüştür. Aynı şekilde ışınım azaldıkça sıcaklıklar düşmeye başlamıştır.

Zemin ve cam yüzey hareketsiz bir şekilde dururken ve sürekli güneş ışınımına maruz kalırken hava sürekli hareket halindedir ve sisteme sürekli taze hava girmektedir. Bu nedenle gün boyunca; zemin ve cam yüzey havadan daha yüksek sıcaklıktadır. Zeminin cam yüzeyden daha sıcak olmasının sebebi ise zeminin siyah renge boyanması ve metal malzeme kullanılarak imal edilmesidir.

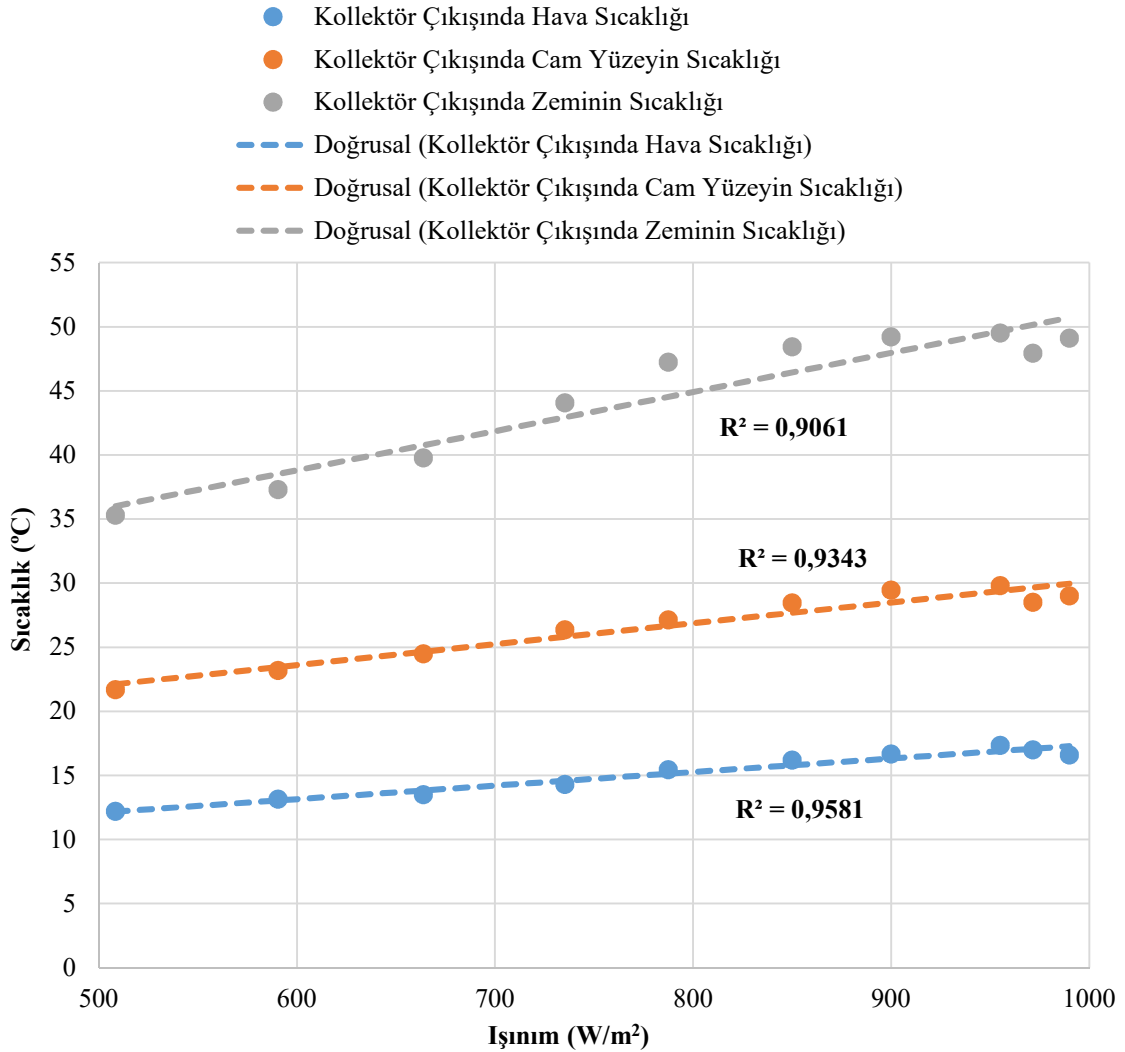
Şekil 4.2’de 23 Nisan 2019 tarihinde kollektöre gelen güneş ışınımı ile kollektör çıkışında zeminin, cam yüzeyin ve havanın sıcaklıkları arasındaki ilişki verilmiştir. Kollektör girişinde olduğu gibi kollektör çıkışında da zeminin ve cam yüzeyin havadan daha sıcak olduğu görülmektedir.



Şekil 4.2. 23.04.2019 Günü İçin Işınım ile Kollektör Çıkışında Zeminin, Cam Yüzeyin ve Havanın Sıcaklıkları Arasındaki İlişki

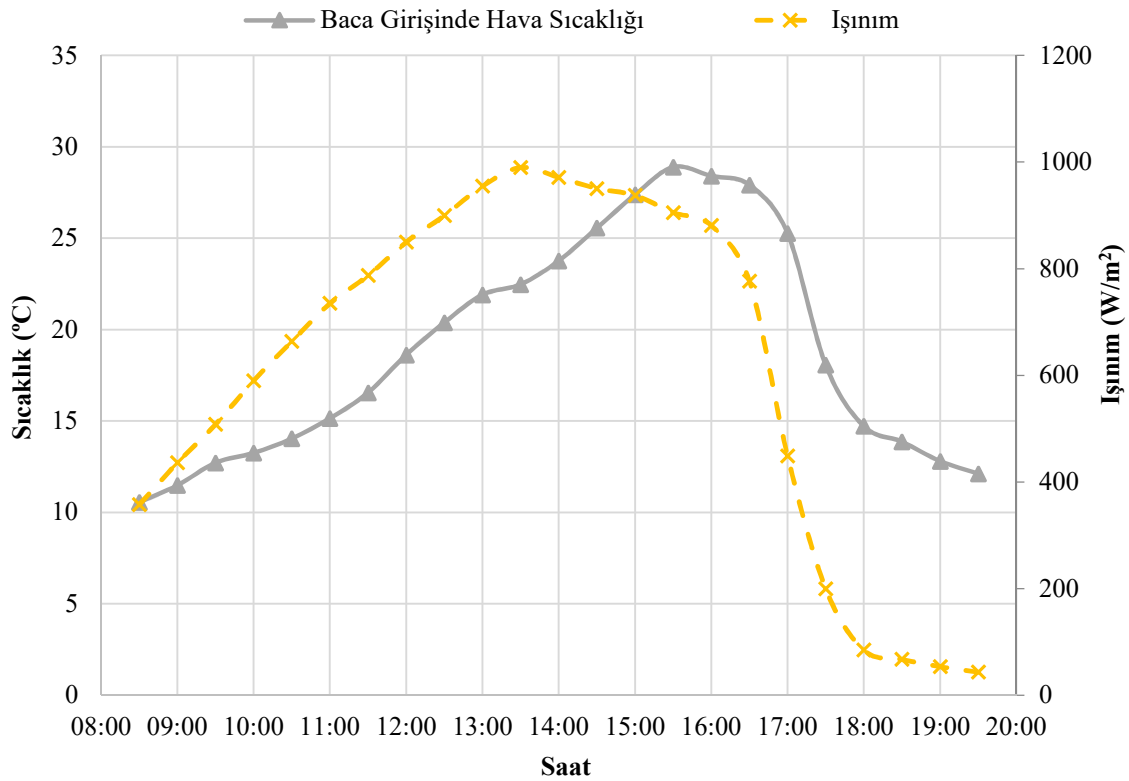
Şekil 4.3'te 23 Nisan 2019 tarihinde kollektör çıkışında zeminin, cam yüzeyin ve havanın sıcaklıklarının ışınım ile ilişki verilmiştir. Işınım arttıkça her üç sıcaklığın da arttığı bu şekilde de görülmektedir. Zeminde ve cam yüzeyde gerçekleşen sıcaklık artışı, havada gerçekleşen sıcaklık artışına göre daha yüksektir. Zeminde gerçekleşen sıcaklık artışı ise cam yüzeyde gerçekleşen sıcaklık artışından yüksektir.

Kollektör çıkışında hava sıcaklığı ışınım ile artışı oldukça düşüktür. Dışarıdan kollektöre giren taze havanın sıcaklığı dış ortam sıcaklığı ile ilgilidir. Işınım her ne kadar yüksek de olsa dış ortam sıcaklığı düşüktür. Bu nedenle sisteme giren taze havanın sıcaklığı da düşüktür. Yukarıda da belirtildiği gibi, sürekli güneş ışınımına maruz kalan zeminde ve cam yüzeyde sıcaklık daha yüksektir.



Şekil 4.3. 23.04.2019 Günü İçin Kollektör Çıkışında Zeminin, Cam Yüzeyin ve Havanın Sıcaklıklarının Işınım ile İlişkisi

Güneş bacalarında kollektörün çıkışı, bacanın girişi konumundadır. Yani, kollektör çıkışındaki hava sıcaklığı ile baca girişinde türbinin bulunduğu konumdaki hava sıcaklığı birbirine çok yakındır. Şekil 4.4'te 23 Nisan 2019 tarihinde baca girişindeki hava sıcaklığının ışıınım ile ilişki verilmiştir. Bu şekle göre, ışıınının baca girişindeki hava sıcaklığını doğrudan etkilediği sonucuna varılabilir.



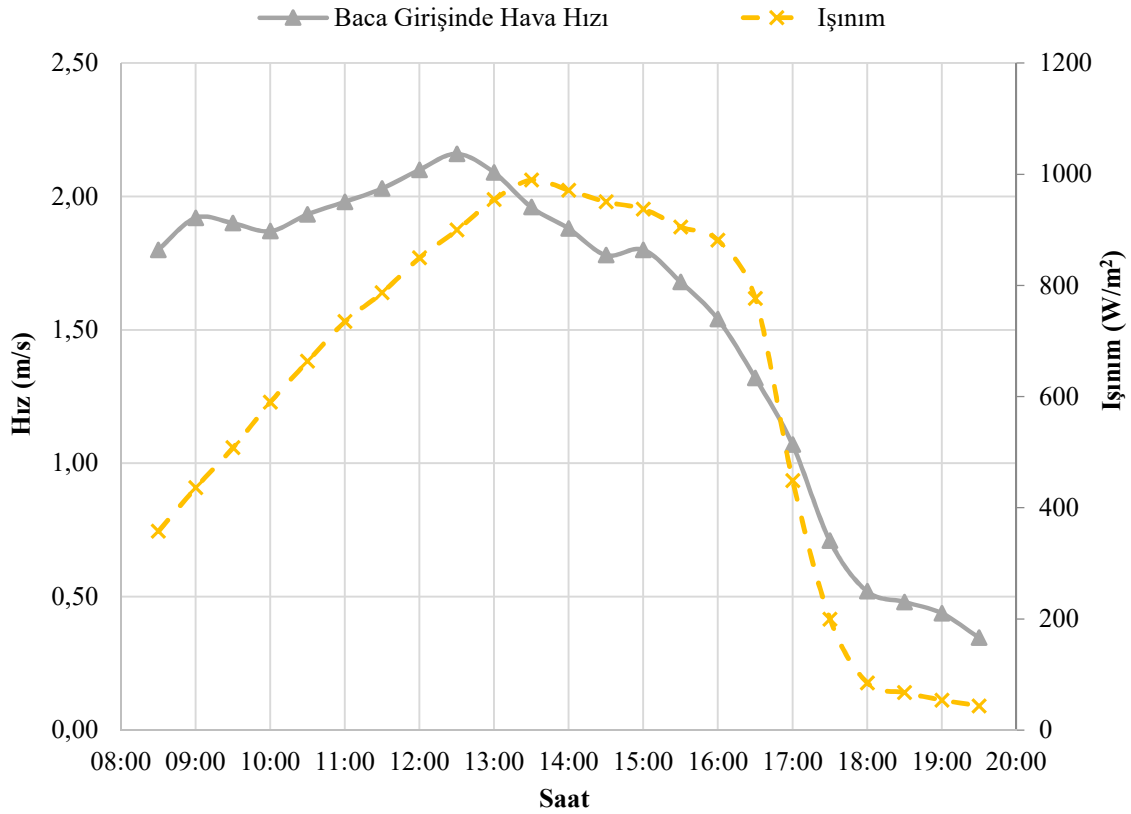
Şekil 4.4. 23.04.2019 Günü İçin Işıınım ile Baca Girişindeki Hava Sıcaklığı Arasındaki İlişki

Hava hareketinin sahip olduğu kinetik enerji Denklem 4.1'de verilmiştir (Köse, 2018). Bu denkleme göre; hava hareketinin sahip olduğu kinetik enerji, akışın süpürme alanı A ve havanın akış hızı V 'ye bağlıdır. Kinetik enerjinin akış hızının küpüyle orantılı olarak artması sebebiyle, havanın akış hızı daha büyük öneme sahiptir.

$$E_{kinetik} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (4.1)$$

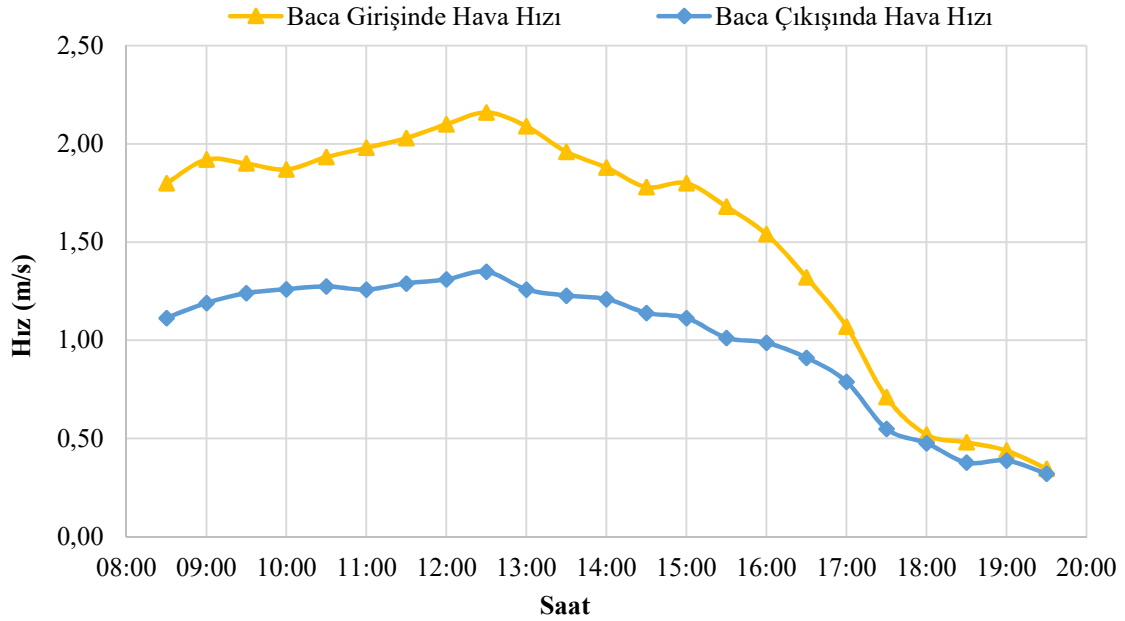
Güneş bacalarında elektrik enerjisi üretimi, baca girişine yerleştirilen türbin sayesinde yapılır. Dolayısıyla, türbinin dönmesini sağlayan baca girişindeki hava hızıdır. Bu nedenle güneş bacalarında baca girişindeki hava hızı çok önemlidir. Şekil 4.5'te 23 Nisan 2019 tarihinde baca girişindeki hava hızının ışıınım ile ilişki verilmiştir.

Baca girişindeki hava hızı, güneş ışınımından ve hava sıcaklıklarından bağımsız olarak günün ilk saatlerinde 1,7-1,8 m/s seviyelerinde gerçekleşmiştir. İlk saatlerdeki bu hızların sebebi; dış ortamdaki rüzgarın kollektör girişinden sisteme giriş yapması olabilir. Günün ilerleyen saatlerinde ise genel olarak baca girişindeki hava hızının ışınım ile birlikte artıp azaldığı söylenebilir.



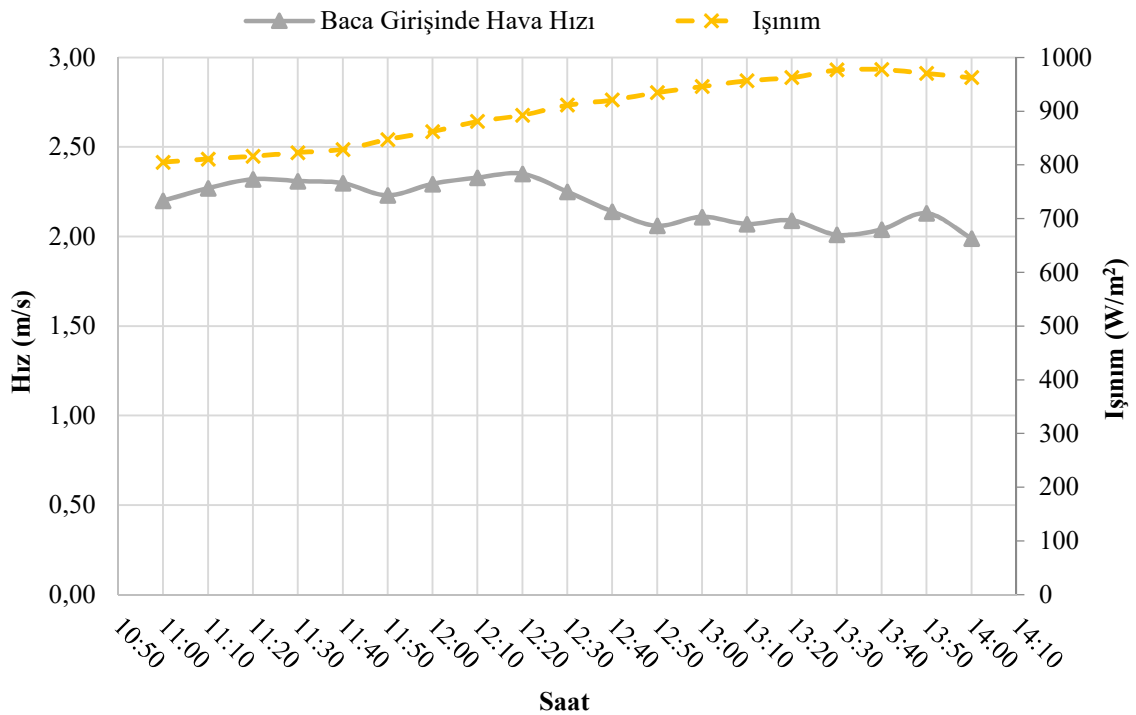
Şekil 4.5. 23.04.2019 Günü İçin Işınım ile Baca Girişindeki Hava Hızı Arasındaki İlişki

Güneş bacalarında kollektörün açık tarafından giren taze hava baca içerisinde yükselir ve sistemi terk eder. Baca girişindeki hava hareketi türbin tarafından kullanılırken baca çıkışındaki hava hareketi genellikle kullanılmaz. Şekil 4.6'da 23 Nisan 2019 tarihinde baca girişindeki hava hızı ile baca çıkışındaki hava hızı arasındaki ilişki verilmiştir. Bu verilere göre, baca girişine göre daha düşük olmakla birlikte, baca çıkışında da önemli ölçüde hava hızının olduğu söylenebilir. Bu nedenle, güneş bacaları için sadece bacanın giriş kısmına bir adet türbin yerleştirmek yerine, baca boyunca çok sayıda türbin kullanımının uygun olacağı söylenebilir. Ancak, birden fazla türbinin yerleştirilmesinin ve işletilmesinin getireceği zorluklar iyi düşünülmelidir.



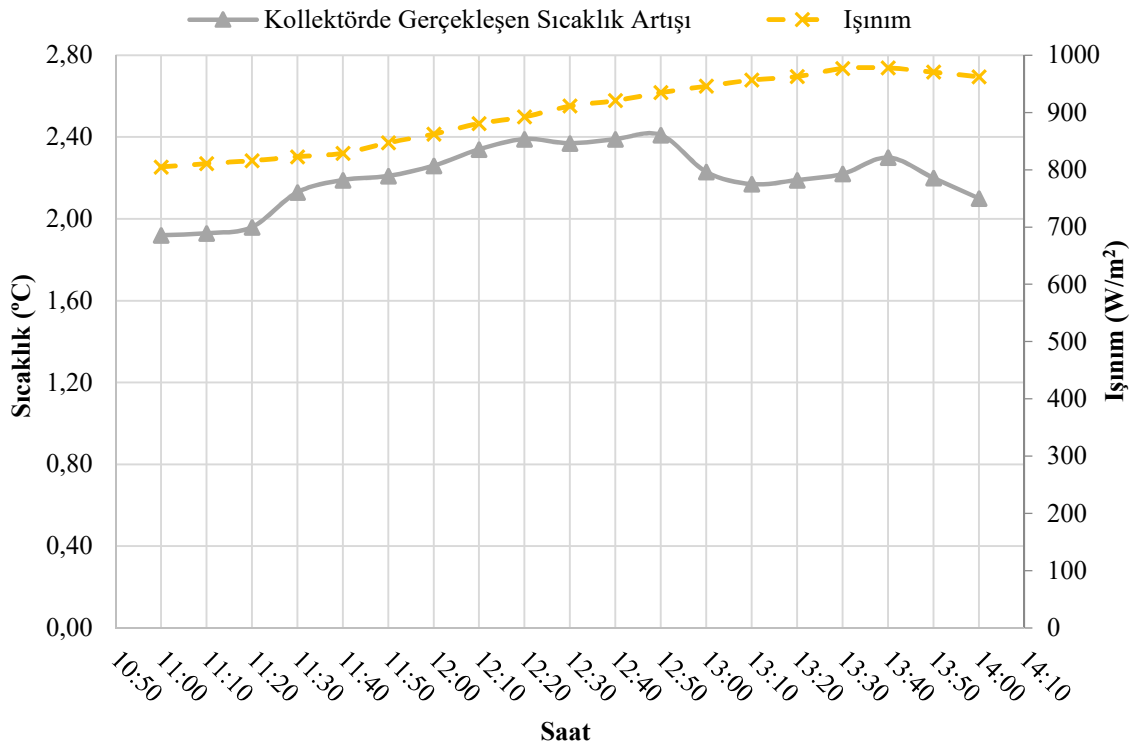
Şekil 4.6. 23.04.2019 Günü İçin Baca Girişindeki Hava Hızı ile Baca Çıkışındaki Hava Hızı Arasındaki İlişki

Güneş ışınımının en yüksek olduğu saatlerde sistemi incelemek için, Şekil 4.7’de 23 Nisan 2019 tarihinde, 11:00-14:00 saatleri arası ışınım ile baca girişindeki hava hızı arasındaki ilişki verilmiştir. Bu verilere göre ortalama 2,2 m/s hava hızına ulaşılmaktadır.



Şekil 4.7. 23.04.2019 Günü İçin 11:00-14:00 Saatleri Arası Işınım ile Baca Girişindeki Hava Hızı Arasındaki İlişki

Şekil 4.8’de 23 Nisan 2019 tarihinde, 11:00-14:00 saatleri arası kollektöre gelen güneş ışınımı ile kollektörde gerçekleşen sıcaklık artışı arasındaki ilişki verilmiştir. Kollektörde gerçekleşen sıcaklık artışı, kollektörden giren taze havanın kollektörden çıkana kadar sıcaklığındaki değişimi ifade etmektedir. Güneş ışınımının yüksek olduğu saatlerde; kollektöre giren havanın kollektörden çıkana kadar 2,4 °C’lere kadar ısındığı görülmektedir. Kollektörde gerçekleşen sıcaklık artışının ortalama değeri ise 2,2 °C’dir. Deney düzeneğinin boyutları düşünüldüğünde bu artışın kabul edilebilir olduğu söylenebilir.

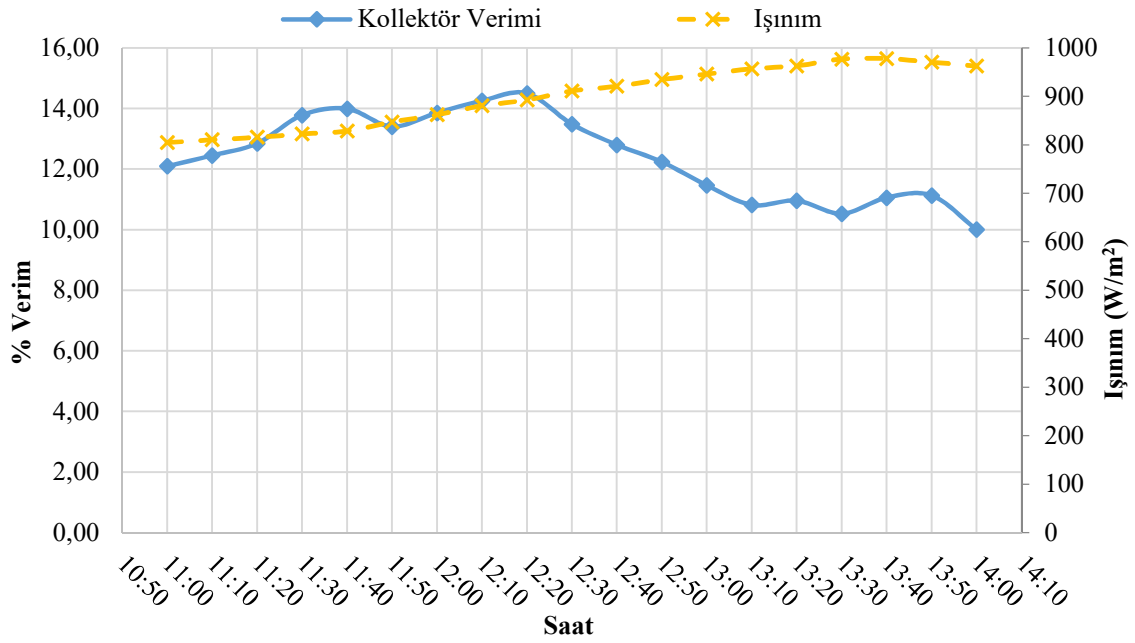


Şekil 4.8. 23.04.2019 Günü İçin 11:00-14:00 Saatleri Arası Işınım ile Kollektörde Gerçekleşen Sıcaklık Artışı Arasındaki İlişki

Güneş ışınımının en yüksek olduğu saatlerde kollektörün verimini incelemek için, Şekil 4.9’da; 23 Nisan 2019 tarihinde, 11:00-14:00 saatleri arası ışınım ile kollektör verimi arasındaki ilişki verilmiştir.

Tablo 4.1. Kollektör Verimi Hesabında Kullanılan Sabit Değerler

Baca Alanı (m ²)	Kollektör Alanı (m ²)	Yoğunluk (kg/m ³)	Cp (j/kg.K)
0,385	20	1,16	1006



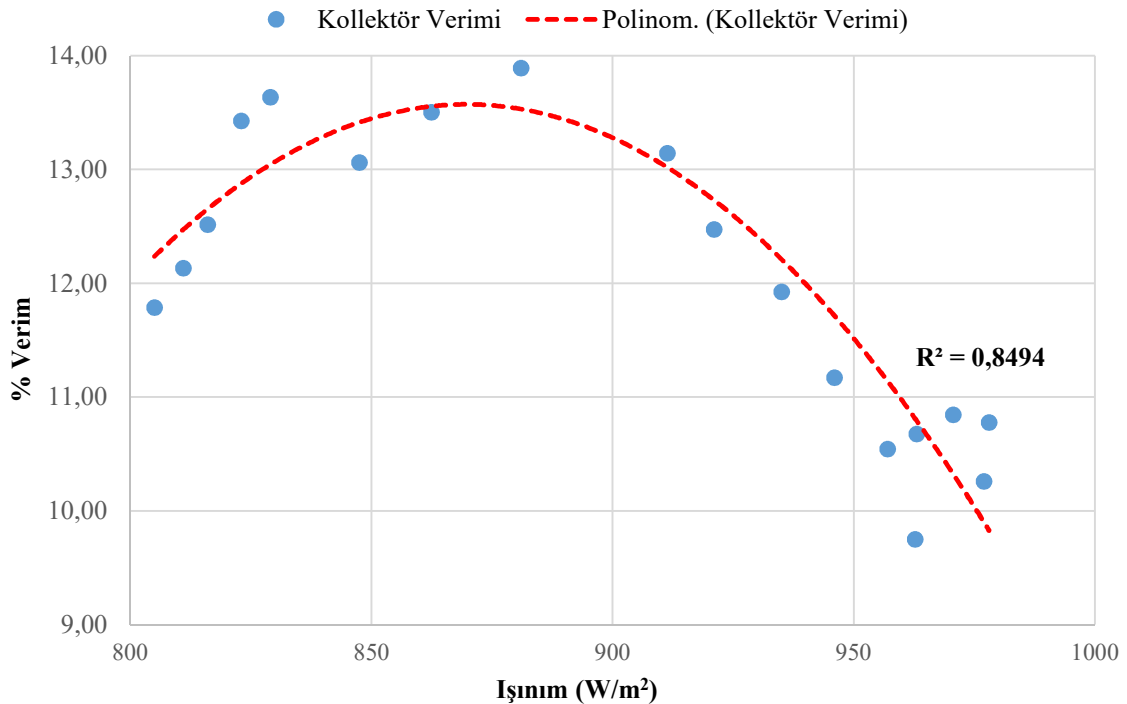
Şekil 4.9. 23.04.2019 Günü İçin 11:00-14:00 Saatleri Arası Işınım ile Kollektör Verimi Arasındaki İlişki

Tablo 4.2. Hesaplanan Kollektör Verimi Değerleri

Saat	Işınım	Baca Girişinde Hava Hızı	Kollektörde Gerçekleşen Sıcaklık Artışı	Kollektör Verimi %
11:00:00	805,00	2,20	1,92	11,787
11:10:00	811,00	2,27	1,93	12,135
11:20:00	816,00	2,32	1,96	12,518
11:30:00	823,00	2,31	2,13	13,430
11:40:00	829,06	2,30	2,19	13,636
11:50:00	847,47	2,23	2,21	13,064
12:00:00	862,43	2,29	2,26	13,505
12:10:00	881,00	2,33	2,34	13,893
12:20:00	892,77	2,35	2,39	14,132
12:30:00	911,35	2,25	2,37	13,144
12:40:00	921,00	2,14	2,39	12,475
12:50:00	935,00	2,06	2,41	11,928
13:00:00	946,00	2,11	2,23	11,173
13:10:00	957,00	2,07	2,17	10,544
13:20:00	963,00	2,09	2,19	10,677
13:30:00	977,00	2,01	2,22	10,260
13:40:00	978,00	2,04	2,30	10,777
13:50:00	970,62	2,13	2,20	10,845
14:00:00	962,67	1,99	2,10	9,752

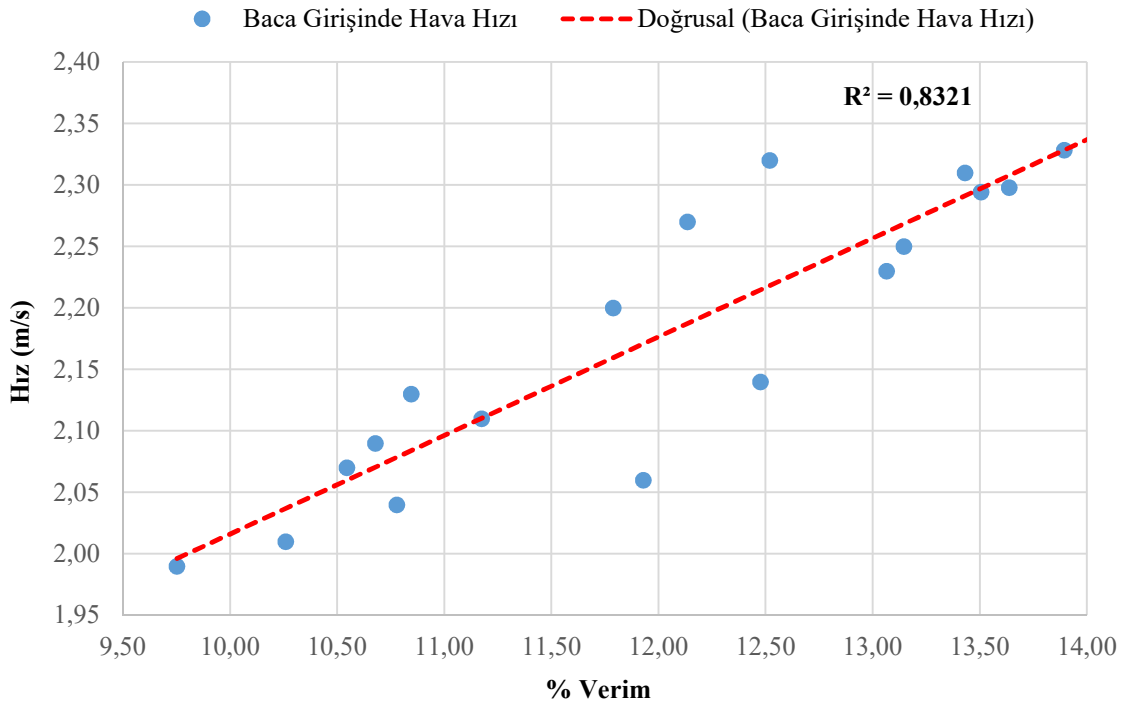
Kollektör verimi hesaplanırken Denklem 3.6 kullanılmıştır. Bu denklemdeki; kollektör çıkışı hava hızı, kollektörde gerçekleşen sıcaklık artışı ve ışınım değerleri deney düzeneğinden alınan verilerden oluşmaktadır. Deney düzeneğinden alınan bu veriler ve Tablo 4.1’deki hesaplamalarda kullanılan sabit değerler birlikte kullanılarak kollektör verimi hesapları yapılmıştır. Hesaplanan kollektör verimi değerleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Şekil 4.9’a göre kollektör veriminin %14’lere kadar çıktığı görülmektedir. 870 W/m²’ye kadar ışınımın artması ile kollektör verimi de artmıştır. Bu değerden daha yüksek olan ışınım değerlerinde ise kollektör verimi daha düşük olmuştur. Işınım dışında kollektör verimini etkileyen, kollektörde gerçekleşen sıcaklık artışı ve baca girişindeki hava hızıdır. Işınım artışına rağmen kollektör veriminin azaldığı bu vakitlerde hem kollektörde gerçekleşen sıcaklık artışı hem de baca girişindeki hava hızı azalmıştır. Işınımın artması ile kollektörde gerçekleşen sıcaklık artışının da artması beklenmektedir. Daha yüksek ışınım değerleri ile zemin ve cam yüzeyin sıcaklıkları, kollektör içerisindeki hava sıcaklıklarına göre çok daha fazla artış göstermiştir. Yani; gelen güneş enerjisi, kollektör içerisindeki havanın sıcaklığını artırmak yerine zeminin ve cam yüzeyin sıcaklığını artırmıştır. Bu nedenle kollektör veriminde azalma meydana gelmiştir.



Şekil 4.10. 23.04.2019 Günü İçin 11:00-14:00 Saatleri Arası Kollektör Veriminin Işınım ile İlişkisi

Işınımın kollektör verimi üzerindeki etkisini incelemek için, Şekil 4.10'da; 23 Nisan 2019 tarihinde, 11:00-14:00 saatleri arası kollektör veriminin ışınım ile ilişkisi verilmiştir. Işınım değeri 870 W/m^2 'ye kadar artarken kollektör verimi de artmaktadır. 870 W/m^2 'den büyük ışınım değerlerinde ise kollektör verimi azalmıştır.



Şekil 4.11. 23.04.2019 Günü İçin 11:00-14:00 Saatleri Arası Kollektör Veriminin Baca Girişindeki Hava Hızı İle İlişkisi

Kollektör veriminin yüksek olması; güneş enerjisinin daha etkin bir şekilde kullanılması ve bunun neticesinde de türbin bölgesinde oluşacak hava hızının yüksek olması anlamına gelmektedir. Şekil 4.11'de; 23 Nisan 2019 tarihinde, 11:00-14:00 saatleri arası kollektör veriminin baca girişindeki hava hızı ile ilişkisi verilmiştir. Bu şekle göre; kollektör verimi arttıkça baca girişindeki hava hızı da artmaktadır.

4.2. Belirsizlik Analizi

Eğimli güneş bacası deney düzeneğinden elde edilen verilerin güvenilirliğinin tespiti için belirsizlik analizi yapılmıştır (Kaya, 2019). Belirsizlik analizi yapılırken kullanılan bağımsız değişkenler Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Belirsizlik Analizinde Kullanılan Bağımsız Değişkenler

Bağımsız Değişkenler	Doğruluk (%)
Hava Hızı Ölçümleri	± 5
Sıcaklık Ölçümleri	± 1
Işınım Ölçümleri	± 1

Belirsizlik analizi Denklem 3.6'da verilen kollektör verimi için uygulanmıştır. Denklem 4.2 ve 4.3'te belirsizlik analizinin genel denklemleri, Denklem 4.4 ve 4.5'te ise belirsizlik analizi genel denklemlerinin kollektör verimine uygulanmış hali verilmiştir. Belirsizlik oranı, Denklem 4.6 ve 4.7'de en yüksek kollektör verimi için hesaplanmıştır. Belirsizlik oranı %2,16 olarak bulunmuştur.

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

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

$$\frac{\sigma_{(\eta_{\text{kollektör}})}}{|\eta_{\text{kollektör}}|} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{(V_{\text{baca}})}}{V_{\text{baca}}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{(\Delta T)}}{\Delta T}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{(I)}}{I}\right)^2} \quad (4.4)$$

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

$$\frac{\sigma_{(\eta_{\text{kollektör}})}}{|\eta_{\text{kollektör}}|} = \sqrt{\left(\frac{0,05}{2,35}\right)^2 + \left(\frac{0,01}{2,39}\right)^2 + \left(\frac{0,01}{892,77}\right)^2} = 0,0216 \quad (4.6)$$

$$\% \text{ hata} = 0,0216 \cdot 100 = 2,16 \quad (4.7)$$

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Güneş bacaları ile ilgili Türkiye’de ve dünyada deneysel ve teorik çok sayıda çalışma vardır. Ancak bunların çoğu eğimli güneş bacaları ile ilgili değildir. Eğimli güneş bacaları ile ilgili çalışmaların çoğu ise teoriktir. Bu çalışmada, eğimli bir güneş bacasının tasarım ve imalatı yapılarak üzerinde deneysel çalışma yapılmıştır. Ayrıca, eğimli güneş bacaları ile ilgili Türkiye’de yapılan ilk deneysel çalışma olması nedeniyle önemlidir.

Deneysel çalışma kapsamında sıcaklık, hava hızı ve ışıınım ölçümleri yapılmıştır. Havanın bulutlu olması, rüzgarın fazla olması gibi çeşitli olumsuzlardan dolayı elde edilen verilerde anlık değişimler görülmüştür. Anlık değişimlerin etkisini azaltmak ve daha doğru değerlendirme yapabilmek için ortalamalar alınarak grafikler oluşturulmuştur. Tez çalışmasında şu sonuçlar elde edilmiştir:

- Güneş bacalarında önemli olan kollektörde gerçekleşen hava sıcaklığındaki artıştır. Bu değer, 23 Nisan günü 11:00-14:00 saatleri arası ortalama **2,2 °C** olarak gerçekleşmiştir. Yani, kollektör girişinde 15 °C olan hava sıcaklığı kollektör çıkışında 17,2 °C’ye yükselmiştir.
- Bazı günlerde ve saatlerde anlık olarak 2,5-3 m/s’lere kadar baca girişinde hava hızına ulaşılmıştır. Ancak yukarıda da belirtildiği gibi, bu değer yanıtıcı olabilmektedir. Tüm veriler incelendikten sonra; ışıınımın ve dış ortam hava sıcaklığının en yüksek olduğu 23 Nisan 2019 günü, en yüksek hava hızının olduğu görülmüştür. Hava hızının 23 Nisan günü 11:00-14:00 saatleri arası ortalama **2,2 m/s** seviyelerinde olduğu görülmüştür.
- Anlık olarak en yüksek 1050 W/m²’ye kadar ışıınım değerlerine ulaşılmıştır. Ancak, bu değerler sürekli değildir ve her gün aynı sonuçlara ulaşamamıştır. 23 Nisan 2019 günü 11:00-14:00 saatleri arası maksimum ışıınım değerleri ölçülmüştür. Bu değerler 930-970 W/m² seviyelerindedir.
- Ölçümler sonucunda; kollektörde gerçekleşen sıcaklık artışının ve baca girişinde meydana gelen hava akış hızının düşük olduğu görülmektedir. Ancak, deney düzeneğinin boyutları göz önüne alındığında bu değerlerin yeterli olduğunu söylenebilir. Büyük boyutlu güneş bacası sistemlerinde, bilhassa baca yüksekliğini artırmakla güneş bacalarının güçleri hızla artarken, baca yüksekliğinin azalması ile de güç hızla düşmektedir.

5.2. Öneriler

Bu çalışma sonucunda şunlar önerilebilir:

- Yapılacak deneysel çalışmalarda kollektör ve baca boyutlarının büyük olması ile deneyin daha iyi sonuçlar vereceği, ayrıca sistemin veriminin de artacağı kanaatine varılmıştır.
- Kollektör yüzeylerinde birikmesi muhtemel tozların ve kirliliklerin arındırılması üzerine çalışmalar yürütülebilir.
- Güneş bacalarında genellikle baca girişine bir adet türbin yerleştirilir. Bunun yerine, baca boyunca birden fazla türbin kullanılabilir.
- Işınımın, sıcaklık ve hava hızı üzerindeki etkisi büyüktür. Bu nedenle; güneş bacası kurulması düşünülen yerlerin ışınım değerlerinin iyi değerlendirilmesi gerekmektedir.
- Güneş bacalarının asıl amacı hava hareketi sağlamaktır. Bacanın üst kısmına yapılacak özel tasarımlar sayesinde bacanın çekiş gücü ve dolayısıyla da baca içerisindeki hava hızı ve basınç farkı artırılabilir.
- Güneş bacalarında kullanılan yüksek bacalar; rüzgar türbinleri veya güneş güç kuleleri ile birlikte kullanılarak hibrit sistemler gerçekleştirilebilir.
- Kollektör malzemesi olarak saydam fotovoltaiik paneller kullanılabilir. Böylece hem fotovoltaiik panellerden hem de güneş bacasından elektrik enerjisi üretilebilir.
- Güneş bacalarının; gıda sektöründe kurutma gibi bazı alanlarda kullanımı mümkün olabilir. Kurutma dışında, sıcak hava hareketinin kullanıldığı alanlarda da güneş bacaları denenebilir.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2018, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, <http://www.yegm.gov.tr>.
- Anonim, 2019, Türkiye Elektrik İletim A.Ş., <https://www.teias.gov.tr/>.
- Anonymous, 2017, International Energy Outlook 2017, *U.S. Energy Information Administration*.
- Bernardes, M. d. S., Voß, A. ve Weinrebe, G., 2003, Thermal and technical analyses of solar chimneys, *Solar Energy*, 75 (6), 511-524.
- Bernardes, S., 2004, Technische, ökonomische und ökologische Analyse von Aufwindkraftwerken.
- Bilgen, E. ve Rheault, J., 2005, Solar chimney power plants for high latitudes, *Solar Energy*, 79 (5), 449-458.
- Cao, F., Li, H., Zhao, L. ve Guo, L., 2013, Economic analysis of solar chimney power plants in Northwest China, *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 5 (2), 021406.
- Çengel, Y. A., Cimbala, J. M. ve Engin, T., 2008, Akışkanlar mekaniği: temelleri ve uygulamaları, Güven Kitabevi, p.
- dos Santos Bernardes, M. A., Von Backström, T. W. ve Kröger, D. G., 2009, Analysis of some available heat transfer coefficients applicable to solar chimney power plant collectors, *Solar Energy*, 83 (2), 264-275.
- dos Santos Bernardes, M. A., 2010, Solar chimney power plants—developments and advancements, In: *Solar Energy*, Eds: IntechOpen, p.
- Ferreira, A. G., Maia, C. B., Cortez, M. F. ve Valle, R. M., 2008, Technical feasibility assessment of a solar chimney for food drying, *Solar Energy*, 82 (3), 198-205.
- Gannon, A. J. ve von Backström, T. W., 2000, Solar chimney cycle analysis with system loss and solar collector performance, *Journal of Solar Energy Engineering-transactions of the Asme*, 122 (3), 133-137.
- Gün, A. R., 2013, Yatay Güneş Bacası Sistemlerinin Analizi ve Uygulanabilirliğinin Değerlendirilmesi *Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi*.
- Haaf, W., Friedrich, K., Mayr, G. ve Schlaich, J., 1983, Solar chimneys part I: principle and construction of the pilot plant in Manzanares, *International Journal of Solar Energy*, 2 (1), 3-20.
- Hassan, A., Ali, M. ve Waqas, A., 2018, Numerical investigation on performance of solar chimney power plant by varying collector slope and chimney diverging angle, *Energy Procedia*, 142, 411-425.
- Kahraman, D., 2010, Güneş enerjisi kaynaklı elektrik üretiminin teknik-ekonomik analizi ve yöresel uygulaması.

- Kalash, S., Naimeh, W. ve Ajib, S., 2014a, A review of sloped solar updraft power technology, *Energy Procedia*, 50, 222-228.
- Kalash, S., Naimeh, W. ve Ajib, S., 2014b, Experimental investigation of a pilot sloped solar updraft power plant prototype performance throughout a year, *Energy Procedia*, 50, 627-633.
- Kara, Ö., 2002, Yükselen Hava Akımlı Rüzgar Türbinleri İzmir Uygulaması, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi*.
- Karadağ, Ç., Güşsaç, I., Ersöz, A. ve Çalışkan, M., 2009, Çevre Dostu ve Temiz: Yenilenebilir Enerji Kaynakları, *Bilim ve Teknik*, 498, 24-27.
- 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 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*.
- Ketlogetswe, C., Fiszdon, J. K. ve Seabe, O. O., 2008, RETRACTED: Solar chimney power generation project—The case for Botswana, Elsevier.
- Klimenta, D., Peuteman, J. ve Klimenta, J., 2014, A solar chimney power plant with a square-based pyramidal shape: theoretical considerations, *Infoteh-Jahorina*, 13, 331-336.
- Koonsrisuk, A., 2013, Comparison of conventional solar chimney power plants and sloped solar chimney power plants using second law analysis, *Solar Energy*, 98, 78-84.
- 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.
- Maghrebi, M. J., Masoudi Nejad, R. ve Masoudi, S., 2017, Performance analysis of sloped solar chimney power plants in the southwestern region of Iran, *International Journal of Ambient Energy*, 38 (6), 542-549.
- Michaud, L. M., 1999, Vortex process for capturing mechanical energy during upward heat-convection in the atmosphere, *Applied energy*, 62 (4), 241-251.
- Özcan, S. E., 2013, Dünyada ve Türkiye’de Güneş Enerjisi, *Tubitak Bilim ve Teknik Dergisi*.
- Pasumarthi, N. ve Sherif, S., 1998, Experimental and theoretical performance of a demonstration solar chimney model—Part I: mathematical model development, *International Journal of Energy Research*, 22 (3), 277-288.

- 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-transactions of the Asme*, 127 (1), 117-124.
- Stojkovski, F., Cekerovska, M., Filkoski, R. ve Stojkovski, V., 2016, Numerical modelling of a solar chimney power plant, *International Journal of Contemporary Energy*, 2 (1), 14-21.
- Yabuz, Z. R., 2009, Güneş bacasında konstrüktif iyileştirme çalışmaları ve performans artırıcı yöntemlerin araştırılması, *SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Zhou, X. ve Yang, J., 2009, A novel solar thermal power plant with floating chimney stiffened onto a mountainside and potential of the power generation in China's deserts, *Heat Transfer Engineering*, 30 (5), 400-407.
- Zhou, X., Yang, J., Wang, J. ve Xiao, B., 2009, Novel concept for producing energy integrating a solar collector with a man made mountain hollow, *Energy Conversion Management*, 50 (3), 847-854.
- Zhou, X., Wang, F. ve Ochieng, R. M., 2010, A review of solar chimney power technology, *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 14 (8), 2315-2338.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Muhammed Hüseyin GÜZEL
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Konya – 1989
Telefon :
E-Posta : mhguzel@ktun.edu.tr, huseyinguzel@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği,	Konya		2010
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üni. Makine Mühendisliği A.B.D.			Devam ediyor

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2014-2016	Afyon Kocatepe Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2016-...	Konya Teknik Üniversitesi	Öğretim Görevlisi

UZMANLIK ALANI

Yenilenebilir Enerji

YABANCI DİLLER

İngilizce YÖKDİL 2017 : 63,75

YAYINLAR

Aysal F. E., Çaçka S., Aksoy F., Örs İ., Aksoy L., Güzel M. H., 2015, Estimating of Kinematic Viscosity of Alternative Fuels by Using ANN, International Conference on Environmental Science and Technology.

Koca M., Güzel M. H., Mutlu İ., Aysal F. E., 2016, Fren Balatalarında Perlitin Tribolojik Etkisi, İCETAS.

Mutlu İ., Arslan M., Güzel M. H., Malak A., 2017, The Effect of Using Carbon Fiber and Carbon Dust in Automotive Brake Pads, 5th International Conference on Advances and Innovations in Engineering.

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 İli Eğimli Güneş Bacası Güç Santral Performansının Deneysel İncelemesi., VI. KOP Bölgesel Kalkınma Sempozyumu – KOPBKS, 26-28 Ekim 2018, Konya.