

**T.C.**  
**DİCLE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜNEŞ BACASI YARDIMIYLA LABORATUAR ŞARTLARINDA**  
**ELEKTRİK ÜRETİMİ(MODEL ÇALIŞMA)**

**Tayfun ARSLAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**DİYARBAKIR**

**Haziran-2011**

T.C. DİCLE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ  
DİYARBAKIR

Tayfun Arslan tarafından yapılan "Güneş Bacası Yardımıyla Laboratuar Şartlarında Elektrik Üretimi(Model Çalışma)" konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Fizik Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Mahmut AYDINOL



Üye : Prof. Dr. Ali YILMAZ



Üye : Yrd. Doç. Dr. Bilal GÜMÜŞ



Üye : Doç. Dr. Muzaffer AŞKIN



Tez Savunma Sınavı Tarihi: 23/06/2011

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

23/06/2011

Prof. Dr. Hamdi TEMEL

Enstitü Müdürü

## TEŐEKKÖR

Bu tez çalışmasını tasarlayıp, Dicle Üniversitesi Araştırma Projesi Fonu Yönetimine sunan ve laboratuvarının bir kısmını kullanıma açarak, her türlü yardımlarını esirgemeyen teşvik ve destekte bulunan, daima yol gösteren danıőmanım Sayın Prof. Dr. Mahmut AYDINOL'a en derin saygılarımla sonsuz teőekkürlerimi sunarım. D.Ü. Fen Fakóltesi Fizik Bölümü Baőkanı Ali YILMAZ ile bölümdeki diğer hocalarıma, çalıőmalarım sırasında tüm bilgi ve tecrübelerini aktaran, ilgi, destek, öneri ve eleőtirilerini esirgemeyen Diyarbakır Güneş Evi Sorumlusu Sayın Gültekin AYDENİZ 'e őükranlarımı arz ederim.

Ayrıca, 09-FF-19 numaralı proje olarak mali destek sağlayan Dicle Üniversitesi Araştırma Projesi Fonu Yönetimine (DÜBAP), Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne teşekkür ederim.

Yardımlarından ve sabırlarından dolayı değerli aileme teőekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	I
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	II
<b>ÖZET</b> .....	IV
<b>ABSTRACT</b> .....	V
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	VI
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	VII
<b>KISALTMA VE SİMGELER</b> .....	IX
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
1.1. Alternatif Enerji Kaynakları.....	4
1.1.1. Yenilenebilir Olmayan Enerji Kaynakları.....	4
1.1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	5
1.2. Kuramsal Temeller.....	8
1.2.1. Güneş Isıl Enerji Çevirimi.....	8
1.2.2. Güneş Isıl Kolektörleri.....	9
1.3 Güneş Bacası.....	9
1.3.1. Kolektör.....	12
1.3.1.1. Kolektörde Enerji Depolaması.....	14
1.3.2. Baca.....	15
1.3.3. Türbin.....	16
1.4. Matematiksel Model.....	17
1.4.1. Kolektör.....	18
1.4.2. Baca.....	19
1.4.3. Türbin.....	21
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ</b> .....	23
2.1. Uygulamalı Literatür Çalışmaları.....	28
<b>3. MATERYAL ve METOT</b> .....	34
3.1. Yapılması Öngörülen Çalışmalar.....	39

3.2.	Deneysel Çalışmada Kullanılan Ölçüm Cihazları.....	40
3.3.	Yapılan Çalışmalar ve Deneyler.....	42
3.4.	Ölçüm Noktaları.....	43
3.5.	Gerçekleştirilen Deneysel Çalışma.....	45
3.5.1.	Kolektör Zeminine Siyah Boru Döşenmesi.....	45
3.5.2.	Kolektör Zeminine Sıcak Su Uygulaması.....	45
3.5.3	Güneş Bacası Tepesine Soğuk Su Sistemi Kurulumu.....	47
3.5.4	Güneş Bacası Kolektör Alanının Arttırılması.....	49
3.5.5.	Farklı Boyutlardaki Bacaların Kullanılması.....	50
<b>4.</b>	<b>ARAŞTIRMA BULGULARI.....</b>	<b>51</b>
<b>5.</b>	<b>TARTIŞMA VE SONUÇ.....</b>	<b>62</b>
<b>6.</b>	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>65</b>
	<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>68</b>

## ÖZET

### GÜNEŞ BACASI YARDIMIYLA LABORATUAR ŞARTLARINDA ELEKTRİK ÜRETİMİ(MODEL ÇALIŞMA)

#### YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tayfun ARSLAN

DİCLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI

2011

Bu çalışmada güneş enerjisinden elektrik elde etme yöntemlerinden biri olan güneş bacası sistemleri incelenmiştir. Güneş bacası yönteminde, güneşten gelen ışınlar, siyaha boyalı zemin ile bacanın çevresindeki havayı zeminden başlamak üzere ısıtır. Zemin ve çevresinde ısınan hava, özel borularla toplanarak bacaya yönlendirilir. Bu sıcak havanın dikey doğrultuda sıcaklık farkı nedeniyle oluşturduğu akım baca içerisinde sanki bir rüzgar tüneli işlevi görür. Bu hava akımı, içerisinde düşey eksen üzerinde ve hava akımına dik olarak yerleştirilmiş uygun boyutlarda ve sayıdaki pervaneleri döndürür. Bu pervanelerin her birinin döndürdüğü eksen üzerindeki dinamo sistemi yardımıyla oluşacak elektrik akımından yararlanmak mümkündür. Bu deneysel çalışmada, desteklenen proje kapsamında ve laboratuvar şartlarında, güneş bacasından elektrik enerjisi üretim yöntemi ile ilgili kapsamlı bir çalışma gerçekleştirilmiştir: Çalışmada, zeminin yapay güneş oluşturulup ısıtılması ve aynı anda baca çıkış ucunun soğutulmasıyla, bacanın iki ucu arasında azami sıcaklık farkı yaratılarak bacanın içerisinde kontrollü rüzgar oluşturulmuştur. Baca çıkışına doğru konik uçlar kullanılarak havanın pervaneye çarpmadan önceki hızı arttırılmıştır. Sera altı bölgesine serilen siyah hortumlar sayesinde ilave ısıtma ile bacanın daha uzun süreli çalışması sağlanmıştır. Farklı boyutlardaki bacaları kullanarak ve sera alanını arttırarak baca içerisinde oluşan hava akımının hızındaki değişiklikler incelenmiştir. Bacanın farklı yerlerine yerleştirilen generatörlere bağlı pervaneler sayesinde dijital multimetre de ölçülen değerler kayıt altına alınıp sistemin performansını etkileyen parametreler tespit edilmiştir. Deneyimiz literatürdeki uygulamalardan farklı olduğundan ve sistemimizin verimini teorik hesaplamalara dayalı olarak yaptığımızdan verim düşük bulunmuştur. Çalışmamız doğal koşullarda yapılacak prototip için bir ön çalışma niteliğindedir. Diyarbakır' da doğal koşullarda da güneş bacası yöntemiyle sürekli elektrik üretebilecek daha büyük sistemlerin kurulmasının uygunluğu önerilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş Enerjisi, Güneş Bacası, Güneş Kulesi, Yenilenebilir Enerji.

## ABSTRACT

### POWER GENERATION IN THE LABORATORY CONDITIONS BY SOLAR CHIMNEY(MODEL STUDY)

MSc. Thesis

Tayfun ARSLAN

DEPARTMENT OF PHYSICS

INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

UNIVERSITY OF DICLE

2011

In this study, solar chimney systems which are one of the methods of obtaining electricity from solar energy systems were examined. In the method of solar chimney, the rays from the sun heats the air starting from the ground in the painted black ground and around the chimney. Heated air on the ground and around is directed to the chimney by means of special pipes. This flow of warm air inside the chimney due to the vertical direction serves as a wind tunnel. This air flow rotates the vertical axis perpendicular to the propeller placed in the appropriate sizes and numbers. It is possible to make use of the each of the propellers on an axis system with the help of dynamo electric current injury. In this experimental study, supported by the project and laboratory conditions, a comprehensive study on electrical energy production out of solar chimney method was carried out: In this study, a controlled wind is formed as a result of creating maximum temperature difference between the two ends of the chimney by means of heating the ground by creating artificial solar chimney and at the same time cooling the end of it. The velocity of the air before hitting the propeller was increased by using conic ends through the exits of the chimney. With the help of the black hoses laid over greenhouse area, and with additional heating, the chimney was provided to work longer. The changes in the velocity of the air flow which form in the chimney were examined by means of using the pipes which are in different sizes and by increasing the area of the greenhouse. With the help of the propellers that are attached to the engines placed in different parts of the chimney, the values in the digital multimeter were fettered and the parameters that affect the system's performance were determined. As our experiment is different from the ones applied in the literature and because we have determined our system's efficiency according to the theoretical calculations, the efficiency seems to be lower. Our study is a pioneer for the prototype which will be carried out in nature conditions. It is proposed that in Diyarbakır, larger systems can be established to produce continuous electricity with the help of solar chimney method in nature conditions.

**Key Words:** Solar Energy, Solar Chimney, Solar Tower, Renewable Energy.

## ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge No</u>		<u>Sayfa</u>
<b>Çizelge 2.1.</b>	Prototip Güneş bacası ısıl özellikleri	22
<b>Çizelge 3.2.</b>	D.Ü. Güneş Bacası Prototipi büyüklükleri	39
<b>Çizelge 4.1.</b>	15.10.2011 tarihinde 11:00-15:00 saatleri arasında yapılan deneylerde 10' ar dakikalık aralıklarla alınan ölçümlerin gösterilmesi	52
<b>Çizelge 4.2.</b>	19.03.2011-04.04.2011 tarihleri arasında deney esnasında ölçülen sera sıcaklıkları, baca tepesi sıcaklık değişimleri ve multimetre de ölçülen maksimum, minimum değerler ve bunların ortalama değerleri	54
<b>Çizelge 4.3.</b>	05.04.2011-10.04.2011 tarihleri arasında deney esnasında ölçülen sera sıcaklığı, baca tepesi sıcaklık ve multimetre de okunan maksimum, minimum değerler ve bunların ortalama değerleri	56
<b>Çizelge 4.4.</b>	10.04.2011-14.04.2011 tarihleri arasında deney esnasında ölçülen sera sıcaklığı, baca tepesi sıcaklık, multimetre de okunan maksimum, minimum değerler ve bunların ortalama değerleri	58
<b>Çizelge 4.5.</b>	15.04.2011-05.05.2011 tarihleri arasında deney esnasında ölçülen sera sıcaklığı, soğutulması sağlanan baca tepesi sıcaklık değişimleri, multimetre de okunan maksimum, minimum değerler ve bunların ortalama değerleri	60



## ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil No</u>		<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1.	Diyarbakır ili için uzun yıllar ortalama güneşlenme sürelerinin saat birimi cinsinden aylara dağılımı	3
Şekil 1.2.	Diyarbakır ili için aldığı güneş ışınları şiddetinin aylara göre dağılımının uzun yıllar “66 yıllık” ortalamasının aylara dağılımı	3
Şekil 1.3.	Diyarbakır’ a ait güneş ışımasını miktarı Mcal/m <sup>2</sup> gün olarak	4
Şekil 1.4.	Güneş enerjisinden elektrik üretimi	6
Şekil 1.5.	Rüzgar enerjisinden elektrik üretimi	6
Şekil 1.6.	Dünyadaki CO <sub>2</sub> emisyon kaynakları	7
Şekil 1.7.	Güneş bacası şekli	10
Şekil 1.8.	Bacaya etkiyen kuvvetlerin gösterimi	11
Şekil 1.9.	Bir güneş bacasında günlük güç üretim karakteristiği	12
Şekil 1.10.	Güneş bacası kollektör yüzeyinin görüntüsü	13
Şekil 1.11.	Güneş bacası sistemleri için uygun kollektör düzenlemeleri	13
Şekil 1.12.	Su doldurulmuş siyah tüpler kullanan ortamda ısı depolama prensibi	14
Şekil 1.13.	Güneş bacası kollektör ısı depolama	14
Şekil 1.14.	Baca konstrüksiyon şekilleri	15
Şekil 1.15.	Baca girişindeki türbin örnekleri	17
Şekil 2.1.	Florida Üniversitesi güneş bacası uygulama prototipi kesit şekli ve görüntüsü	28
Şekil 2.2.	Zhou vd. tarafından inşa edilen güneş bacası prototipi	30
Şekil 2.3.	İspanya Manzanares Güneş bacası sistemi görüntüsü	31
Şekil 2.4.	Almanya Bauhaus Üniversitesi güneş bacası ve İran Shahid Bahonar Üniversitesi’ nin kurduğu güneş bacası sistemi	32
Şekil 2.5.	Berlin Teknik ve Ekonomi Yüksek Okulu’ nda kurulan güneş bacası sistemi	32
Şekil 2.6.	SDÜ YEKARUM tarafından gerçekleştirilen güneş bacası görüntüsü	33
Şekil 3.1.	Sera alanının biçimlendirilmesi ve baca kollektör alanının kurulumu	34
Şekil 3.2.	Baca kolektörü için zemin oluşturulmasından ve güneş panelinden bir gör.	35

<b>Şekil 3.3.</b>	Bacanın alt tarafını ve üst tarafını oluşturan kısım	35
<b>Şekil 3.4.</b>	Güneş bacası prototipi-1 ve güneş bacası prototipi-2	36
<b>Şekil 3.5.</b>	Temsili baca şekli	37
<b>Şekil 3.6.</b>	Dijital multimetre	41
<b>Şekil 3.7.</b>	Deney sırasında kullanılan elektrik makineleri	41
<b>Şekil 3.8.</b>	Kalorifer peteklerindeki ısıdan faydalanma	42
<b>Şekil 3.9.</b>	Sıcaklık sensörlerinin güneş bacası zemininde ölçüm yaptığı noktalar	43
<b>Şekil 3.10.</b>	Bacanın tepesine yerleştirilmiş pervane ve pervaneye bağlı generatör	44
<b>Şekil 3.11.</b>	Generatörün iç tasarımı	44
<b>Şekil 3.12.</b>	Sağda siyah boru uygulaması solda önceki halde alınan ölçüm görüntüsü	45
<b>Şekil 3.13.</b>	Siyah su hortumunun zemine döşenmiş haline örnek	46
<b>Şekil 3.14.</b>	Baca tepesindeki bakır borunun görüntüsü	48
<b>Şekil 3.15.</b>	Baca tepesinin soğutulması	48
<b>Şekil 3.16.</b>	Su pompası resmi	49
<b>Şekil 3.17.</b>	Converter resmi	49
<b>Şekil 3.18.</b>	Kolektör alanının arttırılması	50
<b>Şekil 4.1.</b>	15.10.2010 baca tepesi ve sera sıcaklığı ile multimetre de okunan değerlerin değişim grafiği	53
<b>Şekil 4.2.</b>	19.03.2011 ile 04.04.2011 sera ve baca sıcaklığı ile multimetre de okunan maksimum, minimum ve bunların ortalama değerlerinin değişim grafiği.	55
<b>Şekil 4.3.</b>	15.04.2011 ve 05.05.2011 sera ve baca tepesi ile multimetre de okunan maksimum, minimum ve bunların ortalama değerlerinin değişim grafiği.	57
<b>Şekil 4.4.</b>	10.04.2011 ile 14.04.2011 sera ve baca sıcaklığı ile multimetre de okunan maksimum, minimum ve bunların ortalama değerlerinin değişim grafiği.	59
<b>Şekil 4.5.</b>	15.04.2011 ve 05.05.2011 sera ve baca tepesi ile multimetre de okunan maksimum, minimum ve bunların ortalama değerlerinin değişim grafiği.	61

## KISALTMA VE SİMGELER

$A_c$	:Güneş bacası kesit alanı [ $m^2$ ]
$A_{coll}$	:Kollektör Alanı [ $m^2$ ]
$C_p$	:Özgül Isı katsayısı [ J/kg.K ]
$D$	:Baca çapı [ m ]
$F'$	:Kollektör verim faktörü
$F''$	:Akış faktörü
$F_R$	:Kaçan ısı faktörü
$G$	:Işınım [ $W/m^2$ ]
$g$	:Yerçekimi ivmesi [ $m/s^2$ ]
$H$	:Baca Yüksekliği
$H_{Max}$	:Bacanın maksimum yüksekliği [ m ]
$h_{rs}$	:Işınım ısı transfer katsayısı [ $W/m^2K$ ]
$h_w$	:Rüzgarla ısı transfer katsayısı [ $W/m^2K$ ]
$I$	:Işınım [ $W/m^2$ ]
$k$	:Isı iletim katsayısı [ $W/m^2K$ ]
$L$	:Uzunluk [ m ]
$m$	:kütleli debi [ kg/s ]
$Nu$	:Nusselt sayısı [ boyutsuz ]
$P$	:Güç [ kW ]
$q$	:Isı akış Yoğunluğu [ $W/m^2$ ]
$R_{coll}$	:Kollektör yarıçapı
$T_0$	:Çevre sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]
$T_2$	:Cam yüzey sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]
$T_3$	:Su borusu sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]
$T_4$	:Absorber sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]
$T_5$	:Zemin sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]

$T_a$  :Dış ortam sıcaklığı [ °C ]  
 $\eta$  :Verim [boyutsuz]  
 $\rho$  :Yoğunluk [kg/m<sup>3</sup>]  
 $\sigma$  :Stephan-Boltzman sabiti [W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>]

## 1.GİRİŞ

Enerji, günümüzde insanların en çok tükettiği en verimsiz kullandığı ve yakın gelecekte tüm insanlığın en çok problem yaşayacağı gereksinimlerden biridir. Bugün yoğun bir şekilde kullandığımız ve tükenmesi söz konusu olan fosil yakıtlar geçmişte enerjilerini güneşten almış ve daha sonra şekil değiştirerek bugünkü kullanıldığı hale dönüşmüş olan enerji kaynaklarıdır. Geçmişten günümüze bilhassa sanayi devriminden itibaren bugüne, dünya nüfusunun hızlı artışı yanında refah seviyesinin de sürdürülebilir bir seviyede tutulması için gereken enerji ihtiyacının da artması ve kullanılan enerjinin verimsiz harcanması gelecekte enerji kıtlığına yol açabilir. Dünyamızdaki toplumların, alternatif enerji kaynaklarına yeterince yönelmeksizin, çevreyi hızla kirleten ve doğal dengenin bozulmasını sağlayan, fosil yakıtların kullanımında ısrarı dünya enerji krizi oluşturacaktır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, dünyadaki fosil yakıt rezervlerinin hızla azalmasına karşın, enerji ihtiyacının daha da hızla arttığını işaret etmektedir. Artan bu ihtiyacın karşılanması ve dünya üzerindeki sera gazları etkilerinin azaltılması için temiz enerji kaynaklarına yönelim giderek artmaktadır.

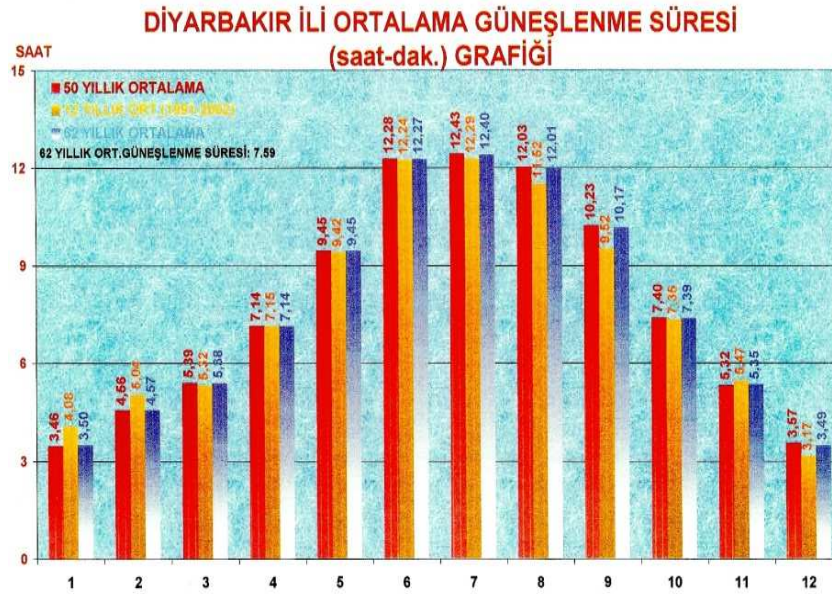
Bazı ülkeler kendi imkanları doğrultusunda yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiş, finansal kaynaklardan ciddi paylar ayırmaya başlamıştır (Güven ve ark., 2004; Koyun, 2006). Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan Güneş Enerjisi tükenmez ve çevreye zarar da vermez. Dünya yüzeyine gelen yıllık ortalama güneş enerjisi miktarı, metrekare başına ısınma ihtiyacı için kullanılacak 100 litre petrole eşittir ve herhangi bir zararlı emisiyona sahip değildir. Bu enerji bedavadır ve herhangi bir şekilde ithal edilmesine gerek duyulmamaktadır. Kyoto protokolü 2005 yılında yürürlüğe girmesi ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının desteklenip özendirilmesi ve temiz teknolojilerin kullanılması, fosil yakıtların kullanımının ise azaltılması karar altına alınmıştır. Bu yönelimin başlıca nedeni, nükleer santrallerde 1950 lerden bu yana görülen kazalardır. Bilhassa, 1987 deki Çernobilden' sonra oluşan en büyük felaket, Fukisima(Japonya) daki 6 nükleer santralden dördünün Mart 2011 deki deprem ve tsunami nedeniyle kontrol dışı kalarak çevreye kalıcı zarar vermesidir. Almanya kırk kadar nükleer santralini 2022 yılına kadar kademeli olarak, kullanım dışı bırakma kararı almıştır. Enerji gereksiniminin bir kısmını artan bir hızla yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamayı planlamıştır (Hürriyet gazetesi, Mayıs 2011). Hükümetlerce

yapılan teşvik çalışmaları kapsamında ülkemizde 29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı Kanunun hükmü gereğince yenilenebilir enerji kaynağına dayalı üretim tesis tipi uygulanacak fiyatlar (ABD doları cent/kWh): a. Hidroelektrik üretim tesisi 7,3 b. Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi 7,3 c. Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi 10,5 d. Biyokütleyle dayalı üretim tesisi (çöp gazı dahil) 13,3 e. Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi 13,3. Bu rakamları yüksek olmasalar dahi bir fiyat garantisi, bir teşvik olarak algılamak mümkündür. Bunun yanında Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği'nde teşvik olarak "Yerli doğal kaynaklar ile yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisi kurmak üzere lisans almak için başvuruda bulunan tüzel kişilerden lisans alma bedelinin yüzde biri dışında kalan tutarı tahsil edilmez." hükmü ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasını sağladığı gibi verimlerinin arttırılması için de yapılan araştırmalara hız kazandırmıştır.

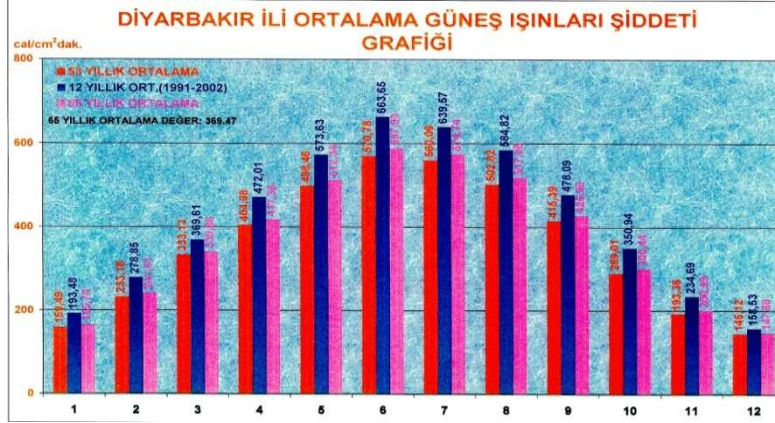
Yakın gelecek için Avrupa ülkeleri, elektrik enerjisinin %20 sini, termal enerjisinin de %30 unu yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlamayı amaçlamaktadır. Güneş enerjisinden faydalanmak için çeşitli teknolojiler geliştirilmiştir. Bunlara örnek olarak sıcak su üretimi, endüstriyel prosesler için buhar eldesi, elektrik üretimi gösterilebilir. Ancak bu teknolojiler içinde en yaygın olarak kullanılanı gün ısı sistemleri ile sıcak su ihtiyacının karşılanmasıdır. Güneş enerjisi sistemleri ısı ve elektrik üretim sistemleri olarak iki gruba ayrılabilir. Isıl sistemler kendi arasında düşük sıcaklık, orta sıcaklık ve yüksek sıcaklık uygulamaları olarak ayrılabilir. Güneş enerjisinden elektrik üretim prosesi ise güneş gözeleri ile sağlanmaktadır. Isıl sistemlerden düşük sıcaklık uygulamalarına örnek olarak gün ısı sistemleri ve güneş bacaları verilebilir. Yalnız güneş bacaları aynı zamanda elektrik üretiminde de kullanılmaktadırlar. Güneş bacasında kollektör alanı içerisi sıcaklık artışı ile ısı enerjisi elde edilir. Elde edilen bu ısı enerjisi baca konstrüksiyonu sayesinde kollektör içerisindeki havanın bacaya yönelerek yukarı yönlü hareketini oluşturur. Bu sayede ısı enerjisi kinetik enerjiye dönüşmüş olur. Böylece içerideki havanın kinetik enerjisi bacaya ilişkilendirilmiş türbini çevirerek mekanik enerjiye dolayısıyla generatör vasıtasıyla elektrik enerjisini sağlar. Yani düşük sıcaklık ısı sistemlerinden olan güneş bacası aslında elektrik üretim amaçlı kullanılmaktadır. Orta ve yüksek sıcaklık uygulamaları ise odaklamalı sistemlerdir.

Bu çalışmada güneş bacası ile elektrik üretimi sisteminin laboratuvar şartlarında performansını incelemek ve performans artırılmasına yönelik iyileştirme yöntemleri araştırılmıştır. Proje kapsamında laboratuvar şartlarında kurulan sistem üzerinde yapılan çeşitli deneme ve iyileştirme yöntemleri sonucunda elde edilen veriler doğal şartlarda oluşturulabilecek prototip güneş bacası için parametrelerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu deneme ve iyileştirme çalışmaları arasında zeminden ilave ısıtma ile bacanın daha uzun süreli çalışması, sera alanının artırılarak performansının incelenmesi, bacanın en yüksek noktasını soğutarak baca içerisinde oluşan hava akımının hızının incelenmesi bulunmaktadır. Ve çalışma güneş bacasının Diyarbakır için kullanılabilirliği hakkında bir temel oluşturacaktır.

Bulduğumuz Güneydoğu Anadolu Bölgesinin birçok yerinde ve Diyarbakır'da da olduğu gibi; metrekareye düşen güneş enerjisi büyük ise, hakim rüzgar hızları da yıl boyu ortalama 5 m/sn nin altında ise, güneş enerjisinden önce rüzgar üretir, sonrada üstün teknoloji rüzgar türbinleri kullanarak ihtiyacımız kadar, elektrik enerjisi üretebiliriz. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden temin edilen Diyarbakır'la ilgili bilgiler Şekil 1.1 ve 1.2 de sırasıyla güneşlenme süresi ve güneş ışınları şiddeti grafiklerle sunulmuştur.

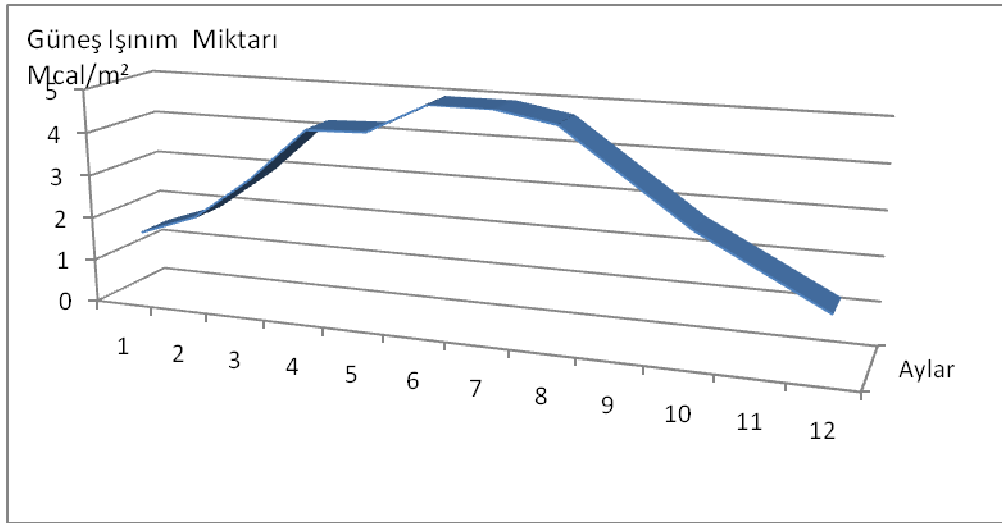


**Şekil 1.1.** Diyarbakır ili için uzun yıllar ortalama güneşlenme sürelerinin saat birimi cinsinden aylara dağılımı (Meteoroloji, 2008).



Şekil 1.2. Diyarbakır ili için aldığı güneş ışınları şiddetinin aylara göre dağılımının uzun yıllar “66 yıllık” ortalamasının aylara dağılımı (Meteoroloji, 2008).

Aşağıda Şekil 1.3 de Diyarbakır’a ait uzun dönem güneş ışınım miktarları  $\text{Mcal/m}^2\text{gün}$  cinsinden verilmiştir. Şekilden anlaşıldığı üzere yılın 5 ayı çok sıcak geçmektedir.



Şekil 1.3. Diyarbakır’a ait güneş ışınımı miktarı  $\text{Mcal/m}^2\text{gün}$  olarak (Meteoroloji, 2008).

## 1.1. Alternatif Enerji Kaynakları

### 1.1.1. Yenilenebilir olmayan enerji kaynakları:

Yenilenebilir olmayan enerji kaynakları; petrol, doğalgaz, kömür ve nükleer enerjidir. Fosil yakıtların tükenmesi, dünyamızda oluşturduğu felaketler ve fiyatlarının durmadan yükselmesi, bilim adamlarını kısa bir süre içerisinde fosil yakıtlara alternatif bir enerji kaynağının bulunmasına yönlendirmiştir. Bu konu üzerinde dünyanın çeşitli laboratuvarlarında bilim adamları tarafından çok ciddi çalışmalar yapılmaktadır. Genellikle bu çalışmalar temiz ve



tükenmez enerji kaynakları üzerinde yoğunlaşmaktadır. Temel Enerji Kaynaklarından fosil yakıtlar sınırlı ve türevleri çevre dostu olmadığından, insanlar alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek zorundadırlar.

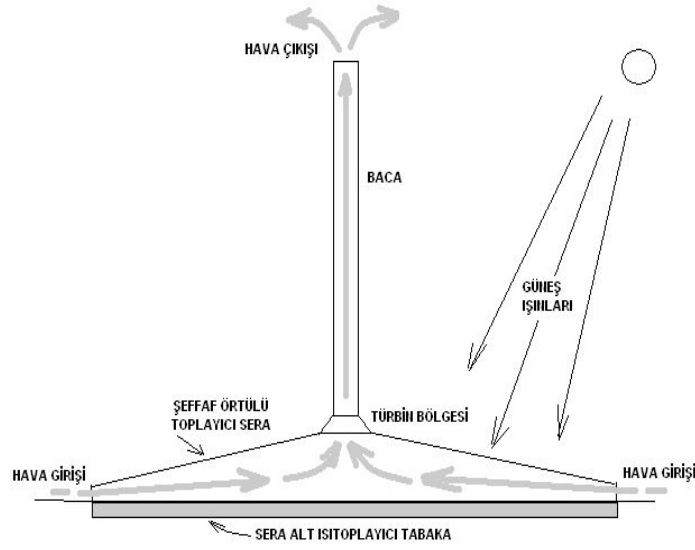
### **1.1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları**

Yenilenebilir enerji kaynakları; hidrolik, jeotermal, güneş, rüzgar, biyokütle, deniz dalga ve hidrojenidir.

Hidrolik; suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi ile sağlanan bir enerjidir. Ülkemizdeki mevcut yağış miktarları ve akarsularımızın durumu göz önüne alındığında bu enerji kaynağından güvenilir olarak tam kapasite ile yararlanma oranımız ancak % 65 olabilecektir. Ülkemizin akarsularında 2010 yılı verilerine göre: hidroelektrik santrallerimizin ürettiği güç 10103 MW.

Jeotermal; yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş olan ısınn oluşturduğu ve sıcaklıkları atmosferik sıcaklığın üzerinde olan sıcak su, buhar ve gazlar olarak tanımlanır. Ülkemiz jeotermal kaynak bakımından dünyada yedinci sırada yer almaktadır. Yüzey sıcaklığı 40<sup>0</sup>C üzerinde olan 140 civarında kaynak mevcuttur. Bu kaynakların sadece 4 tanesinden elektrik enerjisinin elde edilebilmesinin mümkün olduğu belirlenmiştir. Tüm kaynaklarımızın değerlendirilmesinin petrol eşdeğerinin 9 milyar dolar/yıl olduğu hesaplanmıştır (Lund et al. 2005).

Güneşten gelen ve dünya atmosferi dışında şiddeti sabit ve 1370 W/m<sup>2</sup> olan ve yer yüzeyinde 0-1100 W/m<sup>2</sup> değerleri arasında değişen yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Ülkemizin yıllık güneşlenme süresi ortalama olarak 2640 saattir. Maksimum güneşlenme 362 saat ile temmuz ayında, minimum güneşlenme süresi ise aralık ayında 98 saat ile görülmüştür. Günümüzde: konutlarda, iş yerlerinde, tarımsal teknolojide, sanayide, ulaşım araçlarında, elektrik enerjisi üretiminde ve diğer amaçlarla kullanılmaktadır (Bernardes 2009).



Şekil 1.4. Güneş enerjisinden elektrik üretimi

Rüzgar; endirekt yani çevrime uğramış bir güneş enerjisi olarak tanımlanabilir. Rüzgardan elde edilecek enerji tamamen rüzgarın hızına ve esme süresine bağlıdır. Rüzgar enerjisinin kaynağı doğa olsa bile bedava bir enerji değildir. Bu enerjinin temel hammaddesi olan rüzgar taşıdığı enerjinin tutularak enerjiye dönüştürülmesi için bir maliyet gerekir. ABD 'de 750 \$/kW olan maliyet Avrupa'da 1400 \$/kW olabilmektedir. Ekonomik olması için 1000 \$/kW olması gerekmektedir. Gelişen teknoloji ile bu rakamların yakın bir gelecekte çok daha aşağılara çekilmesi beklenmektedir (Şekil 1.5).



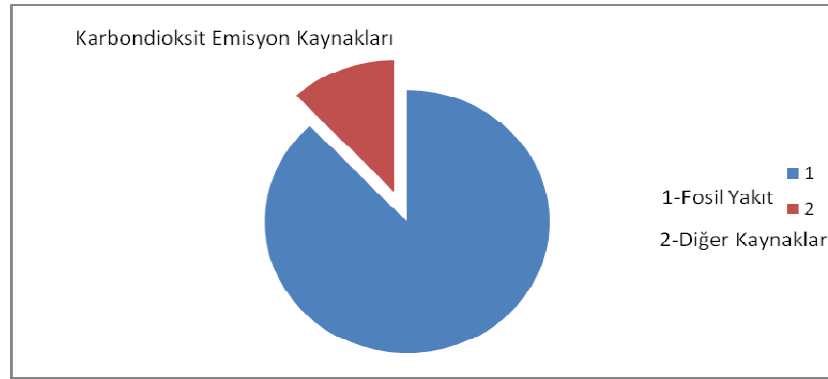
Şekil 1.5. Rüzgar enerjisinden elektrik üretimi

Biyokütle; konvansiyonel yakacak odun, bitki, hayvan atıkları (tezek) gibi orman-ağaç endüstrisi atıkları, bitkisel atıklar, kentsel atıklar vb. günümüzde enerji tarımı adını verdiğimiz bir tarım türü oluşmuştur. Bu tarım türünde C4 adı verilen bitkiler (seker kamışı, mısır, tatlı darı vb.) yetiştirilmektedir. Bu bitkiler suyu ve karbondioksiti verimli kullanan, kuraklığa dayalı

verimi yüksek bitkilerdir. Dünya genelinde biokütle enerji teknolojileri son derece hızlı gelişmektedir. Ülkemizde ise 1996 yılından başlayarak çalışmalar yapılmaktadır.

Deniz dalga enerjisi, deniz sıcaklık gradyent enerjisi, deniz akıntıları enerjisi (boğazlarda) ve basınç ve farklı sıcaklığa dayalı enerjisi olarak tanımlanabilmektedir. Ülkemiz için üzerinde durulabilecek enerji grubu ise özellikle deniz dalga enerjisidir. Deniz dalga enerjisinin temelinde yine rüzgar enerjisi yatmaktadır. Ülkemizin Marmara hariç olmak üzere açık deniz kıyı uzunluğu 8210 km civarındadır. Bunun turizm, balıkçılık kıyı tesisleri gibi nedenle en fazla beşte birlik kısmı kullanılabilir.

Hidrojen; doğada bileşikler halinde bol miktarda bulunup serbest olarak bulunmadığından doğal bir enerji kaynağı değildir. Hidrojen birincil enerji kaynakları ile değişik hammaddelerden üretilmektedir. Bu nedenle elektrikten neredeyse bir asır sonra teknolojinin geliştirdiği ve geleceğin alternatif kaynağı olarak yorumlanan bir enerji taşıyıcısıdır. Isınmadan elektrik üretimine kadar çeşitli alanların ihtiyacına cevap verebilecektir. Gaz ve sıvı halde olacağı için uzun mesafelere taşınabilecek ve iletimde kayıplar olmayacaktır. Hidrojenin yakıt olarak kullanılması aynı zamanda yeni teknolojilerin gelişmesine neden olmuştur. Günümüzde enerji kaynağı olarak, en çok fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Fakat fosil yakıtların yanma ürünü olan CO<sub>2</sub> gibi gazlar sera etkisi yaratmakta ve gezegenimizde Global ısınmaya neden olmaktadır (Şekil 1.6). Sıcaklık artışı, seller, fırtınalar, buzların erimesi gibi doğal olaylar, dünyamızı felaketlerle karşı karşıya getirecektir.



**Şekil 1.6.** Dünyadaki CO<sub>2</sub> emisyon kaynakları (Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks (2008), EPA)

Birleşmiş milletler dünya sağlık örgütünün raporuna göre sadece 2006 yılında 50 milyon kişi global ısınmanın getirdiği salgın hastalıklara yakalanmış ve bunlardan 20 milyonu ölmüştür. Diğer önemli konu 1 kg kömür veya odunun yanarken 2 kg 'dan fazla, 1m<sup>3</sup> doğalgaz yanarken 10m<sup>3</sup> oksijen tükettiği bilinmektedir. Aynı şekilde 700 MW gücündeki santral bir milyon ton kömür yaktığında 2 milyon tondan fazla oksijen tüketmektedir. Eğer bu gelişmeler

olduğu gibi devam ederse, ileride bir gün solumak amaçlı, oksijen bulunmaması gibi korkunç bir durumla karşı-karşıya kalacağımız kesindir. Bu sebeple de dünyadaki oksijen (%21) rezervlerinin giderek azalması, bir gerçektir. Diğer yandan ABD Petrol Enstitüsü'nün (2004) raporuna göre 50-55 sene içerisinde petrol rezervlerinin tükenecek olması dünya bilim adamlarını hızlı bir şekilde petrole alternatif bir enerji kaynağı bulunmasına yönlendirmiştir.

### 1.2.Kuramsal Temeller

#### 1.2.1.Güneş Isıl Enerji Çevrimi

Güneş enerjisinden faydalanma yöntemleri genel olarak iki grupta toplanabilir. Birincisi ısı yol ile, öncelikle güneş enerjisinden ısı elde edilir. Bu ısı, doğrudan kullanılabilmesi gibi enerji çevrim sistemleri ile birlikte elektrik üretimi de gerçekleştirilebilir. Bu gruba örnek olarak güneş kolektörleri, yoğunlaştırıcı güneş enerjisi santralleri, güneş havuzları, güneş ocakları, trombe duvarı, geçişli hava paneli verilebilir. Güneş kolektörleri ülkemizde çok yaygın olarak evlerde sıcak su elde etmede kullanılan sistemlerdir. Hatta silindiro-paraboloid aynalar ve düzlem kolektör kombinasyonu ile damıtık su dahi elde etmek mümkündür (Aydınol 2003). Yoğunlaştırıcı güneş enerjisi santralleri bunlarda, doğrusal, çanak şeklinde ya da merkezi bir odağa yönlendirilmiş dev aynalar kullanılarak, odak noktasında çok yüksek sıcaklıkta ısı elde edilir. Genellikle elektrik üretiminde kullanılır. Ancak henüz bir yaygınlık kazanamamışlardır. Güneş ocakları çanak şeklinde ya da kutu şeklinde güneş ısını toplayan yapılardır. Gelişmekte olan ülkelerde daha yaygın kullanılır. Trombe duvarı sandviç şeklinde cam ve hava kanalları ile paketlenmiş bir pasif güneş enerjisi sistemidir. Güneş ışınları gün boyunca, duvarın altında ve üstünde yer alan hava geçiş boşluklarını tahrik ederek, doğal çevirim ile termal kütleyi ısıtır. Gece ise Trombe duvarı biriktirdiği enerjiyi ışıma yolu ile yayar. Geçişli hava paneli aktif güneş enerjili ısıtma ve havalandırma sistemidir. Termal güneş paneli gibi davranan, güneşe bakan delikli bir duvardan oluşur. Panel, binanın havalandırma sistemine ön ısıtma uygular. Ucuz bir yöntemdir. %70'e kadar verime ulaşılabilir (Bernardes 2009).

“Güneş enerjisinden elektrik elde etmede ikinci bir yol ise direkt dönüşüm olarak adlandırılabilir. Bu metot ise güneş ışınlarının yarı iletken olan silisyum içeren bir yapı üzerine düşürülmesi ile kimyasal yoldan elektrik enerjisi üretilmesi yöntemidir. Bu alanda kullanılan ekipmanlara ise güneş gözeleri denir. Işık ile oluşturulan elektron transferi, yani oluşan serbest elektron, iletken yüzeyler kanalı ile bir dönüşüm içine alınabildiğinde bildiğimiz elektrik akımı ortaya çıkmaktadır. Bu tür teknolojilere **Fotovoltaik** ler adı verilmektedir. Ticari alanda halen kullanılan güneş gözeleri silisyum esaslı inorganik bileşenler üzerine kurulmuştur. Öte yanda organik moleküler yapılar milyonlarca tür değişik yapılara dönüştürülebilmektedir. Güneş

ışınımı, absorblayıcı organik boyar maddeler ile yapılan güneş pillerinde elektrik akımı veriminin çok daha fazla arttığı temel bilimsel araştırmalarda izlenmeye başlanmıştır. Temel bilimsel araştırmaların ileri düzeyde olduğu ülkelerde (ABD, Avrupa, Japonya) organik boyar madde esaslı güneş pillerinin yeni bir elektrik üretim teknoloji olarak sunulması çalışmaları hız kazanmıştır. Organik güneş pilleri, inorganik güneş pillerinin aksine saydam yüzeyler içinde üretilebilir. Yeni gelişen teknolojilerin gelişmekte olan ülkelere, alım gücünün çok üstünde satışa sunulmaları nedeni ile ülkemizde bu yeni teknolojiyi kendi olanaklarımızla üretebilmenin önemi açıktır. Fotovoltaik diyotlar 1954'te Chapin ve arkadaşları tarafından, güneş enerjisini 6% verimde elektriğe dönüştürebilen silikon kristalleri ile elde edilmişlerdir. Bu buluş Fotovoltaik güç sistemlerinin bir dönüşüm noktası olarak kabul edilmiş ve takip eden yıllarda uzay araçlarında kullanım sahası bulabilmiştir (Chapin ve ark 1954)".

“Uygun optik ve elektrik gücü özellikli üretilen yarı iletken diyodlu güneş bataryaları güneş enerjisi/elektrik dönüşüm sistemlerinin temel aracıdır. Birim Fotovoltaik hücrelerin (güneş pillerinin) verimi, güneş radyasyonunun birim yüzeyde elektrik enerjisine dönüşüm oranıdır. Bugün geliştirilen Fotovoltaik Hücre teknolojilerinde öncülük silisyum esaslı fotovoltaiklerdir. Giderek gelişen, ancak pahalı üretim teknolojileri olan silisyum esaslı Fotovoltaiklerle, yüksek maliyetleri ve yeryüzünde eser elementlerin kullanım zorlukları nedenleri ile Dünya'nın hızla artan enerji gereksinimlerini gelecekte karşılamak mümkün görülmemektedir (İçli 2008)".

### **1.2.2. Güneş Isıl Kolektörleri**

Basit bir güneş kolektörü bir yutma yüzeyinden, ısı kayıplarını azaltmak için yüzey arkasındaki yalıtımdan, daha kısa dalga boyundaki güneş ışınımını geçiren fakat daha uzun dalga boyundaki ışınımı absorberden geçirmeyen bir ısı transfer ortamında meydana gelir. Bu alandaki gelişmeler sayesinde 1000<sup>0</sup>C' ye kadar ya da daha yüksek sıcaklıklar elde edilebilmektedir.

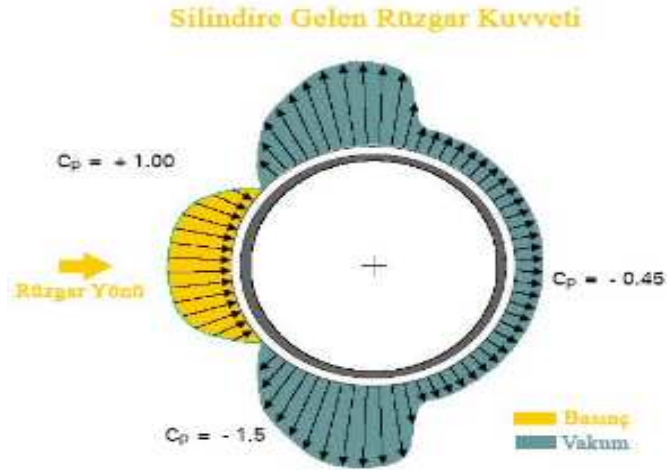
### **1.3. Güneş Bacası**

“Havanın kaldırma etkisini teknik olarak kullanışlı hale getirmek için yapılan ilk denemeler Leonardo da Vinci'ye kadar uzanmaktadır. Alttan yakılan ateşin ısıttığı hava yükselerek en üstte bulunan pervaneyi döndürür (Şekil 1.4). Bu hareket, pervanenin bağlı bulunduğu milin alt ucundaki dişli yardımıyla kızartılacak malzemenin takılı olduğu yatay şiş üzerindeki dişliye aktarılmasıyla döndürülerek kızartma mümkün olmaktadır (Pastohr 2004)".

Bu sistem için yapılan ilk tanımlamalardan biri 1931 yılında Hanns Gunther' e aittir. Robert E. Lucier A.B.D. Kanada, İsrail ve Avustralya'da 1975 yılı başlarından itibaren geçerli olmak üzere ilk patent başvurusunu yapmıştır. Sonrasında ise 1980 yılında J. Schlaich, Bergerman ve Partner önderliğinde İspanyanın Madrid kenti yakınlarında Manzanares'de bir güneş bacası prototipini geliştirmişlerdir. Bu Sistem üç temel prensip üzerinde çalışmaktadır: Bunlar sera etkisi, yoğunluk ve sıcaklık farkı ile akışkan hareketi ve kinetik enerjidir. Sistem dairesel ya da dairesel kesite yakın kesitte oluşmuş sera alanından ve bu alanın merkezine konumlandırılmış bacadan oluşmaktadır. Kollektör içerisinde bulunan hava güneş ışınımı ile ısınır ve hareket kabiliyeti kazanarak kolektörün merkezine doğru hareket eder. Kollektör dışında bulunan hava ise kolektör merkezine hareket etmiş ısınmış havanın yerini alır ve ışınım ortamdaki havayı ısıtarak işlemin tekrarlanmasını sağlar. Kollektör merkezine hareket etmiş olan hava bacanın emiş etkisiyle yukarı yönlü hareket yaparak bacanın içerisine yerleştirilmiş türbini çevirerek elektrik enerjisinin üretimini gerçekleştirir. Bir güneş bacası maketi Şekil.1.7 de görülmektedir (Schlaich ve Partner 2004).



Şekil 1. 7. Güneş bacası şekli (Disabledartistsnetwork, 2009).



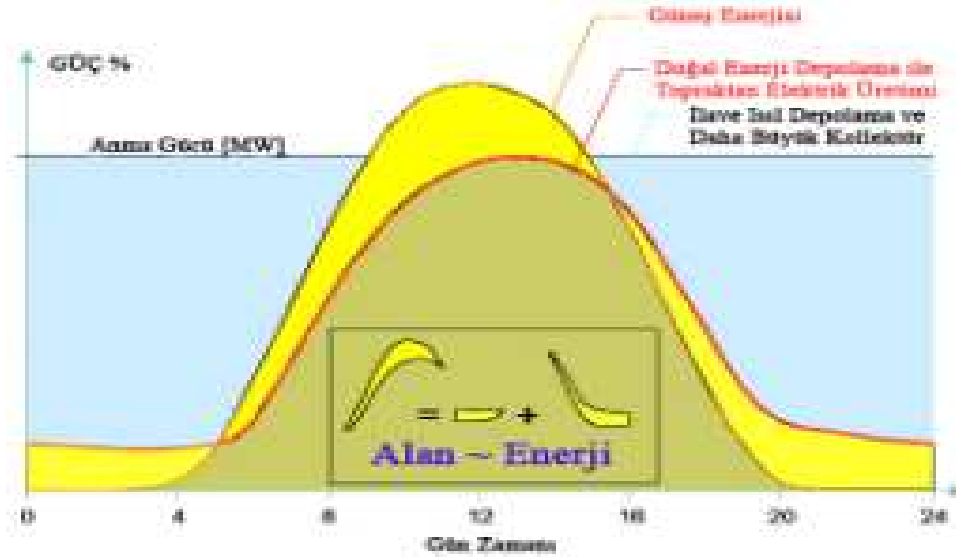
**Şekil 1.8.** Bacaya etkiyen kuvvetlerin gösterimi (Schlaich ve Partner, 2004).

Güneş bacasına ait genel enerji dönüşüm aşamaları şu şekildedir: Sera Etkisi: Güneş enerjisi zeminde ve cam yüzeyde ısıya dönüştürülür. Isı, havaya ve zemine ısı transferi yoluyla aktarılır. Zeminde ısı enerjisi depolanır. Baca etkisi: Baca, kolektörden gelen termik enerjii, harekete dönüştürür. Türbin ve Generatör: Bacadan çıkmak isteyen hava türbini döndürür. Dönen türbine bağlı olan generatör elektrik enerjisi üretir.

Güneş bacası sistemi temelde bir rüzgar türbini şeklinde çalışsa da rüzgar türbinlerinde yaşanan rüzgar yoksa enerjide yoktur problemi güneş bacası sistemlerinde yaşanmaz çünkü güneş oldukça sera içerisindeki hava ısınır baca içerisinde harekete geçecektir. Ayrıca sistemdeki hava akımı sürekli sabit olduğu için klasik rüzgar türbinlerinde kullanılan rüzgar akımının hangi yöne nereye doğru olduğunu belirlemeye yarayan karmaşık ve pahalı sistemlere gerek yoktur. Uygun büyüklükte kullanılacak baca altı sera alanı ve baca yüksekliği ile 50–100 mw güç üretebilir. Böylece doğaya zarar vermeden nükleer santralin üreteceği enerjinin bir kısmı sağlanmış olur. Güneş bacası bu özellikleriyle diğer enerji kaynaklarına göre bazı avantajlar sağlar. Bunlar: Kolektör güneş ışınımının büyük bir kısmını kullanır. Sistem kapalı havalarda dahi difüz ışınımlardan yararlanarak çalışır. Baca zemini bir ısı absorplayıcı olarak işlev görür ve aldığı enerjii sisteme iletir. Diğer enerji üreten sistemlere göre basit yapıya sahip olmasından dolayı arıza durumu fazla gözlenmez, diğer güç sistemleri gibi soğutma suyu ve benzeri ek sisteme ihtiyaç duymaz.

İlk yatırım maliyeti dışında sürekli bir maliyete sahip değildir. Sadece bakım sırasında finansal kaynak gerektirebilir. Hareketli parçanın sadece generatör türbini olması ve türbinin de çok fazla arıza çıkarmaması sistemde çalışma maliyetini düşürmektedir. Yüksek teknolojiye

sahip herhangi bir materyal veya çalışma gerektirmez. Ekonomik durumu çok iyi olmayan ülke ve bölgelerde bile enerji kaynağı olarak kullanılabilir (Şekil 1.9).



Şekil 1.9. Bir güneş bacasında günlük güç üretim karakteristiği (SUTA, 2008).

Güneş bacası sisteminin en büyük dezavantajı yüksek güç üretim sistemleri düşünüldüğünde büyük düzlem alanlara ihtiyaç duyulmasıdır. Ayrıca güneş bacaları için en uygun coğrafi alanlar, hakim rüzgarların yönünün değişken olduğu ve hakim rüzgarların hızlarının ekonomik olmadığı fakat, yeterli sıcak hava ve yüksek ışınım değerlerine sahip olan Akdeniz, Afrika, Ortadoğu ülkeleridir. Ülkemiz de yüksek güç üreten sistemleri inşa etmeye uygundur. Güneş bacası sistemlerinde, toplanan güneş enerjisinin düşük bir oranını elektrik enerjisine çevirmek mümkündür. Yani iyi planlanmamış sistemlerin çalışma verimleri düşüktür. Ancak basit yapısı ve kurulum maliyeti dışında fazla bir maliyet gerektirmemesi yönüyle bu dezavantajları bertaraf eder.

### 1.3.1.Kollektör

Yerden belli bir yükseklikte olacak şekilde saydam, şeffaf özellik taşıyan materyallerin zemin üzerine kaideler ile monte edilmesiyle elde edilir. Saydam özellik taşıyan cam güneş ışınlarını geçirmesi ve Absorber olarak kullanılan zeminden geri yansıyan uzun dalga boylarının tekrar yansımaları sağlaması sebebiyle en uygun kolektör sera alanı örtü malzemesidir. Kolektör alanı eğimsiz inşa edilebilirken eğimlilerde inşa edilebilir. Eğimli olması ısınan ve yükselme eğilimi olan hava akımının hareketine kolaylık sağlar ve radyal yönde hava akımında sürtünmenin artmasını önler. Laboratuvarımızda kurulan ve deneylerin yapıldığı güneş bacası prototipinde de eğimli yüzeye sahip kolektör inşa edilmiştir. Düz bir kolektör içerisinde bulunan akış halindeki havanın debisine bağlı olarak güneş enerjisinin yıllık ortalama olarak %50 sini ısı enerjisine dönüştürür (Weinrebe 2004). Yüzey burada ısıyı emerken cam katman

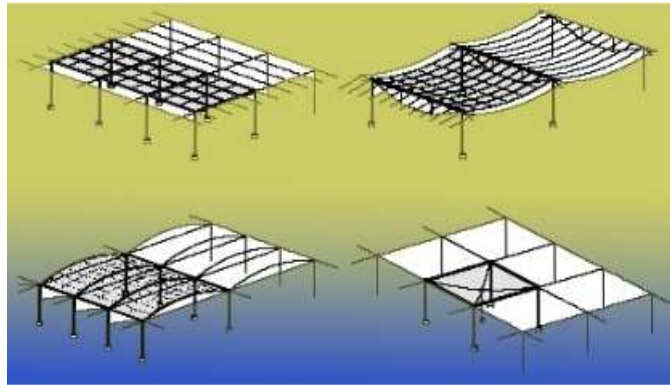


ise ışınının iletimini sağlar. Uygulama yapılan güneş bacası sisteminde cam örtü yüzeye paralel değildir. Ancak yapılan teorik hesaplamalarda cam örtünün paralel olduğu kabul edilmiştir (Şekil 1.10).



**Şekil 1.10.** Güneş bacası kollektör yüzeyinin görüntüsü (Yekarum, 2004).

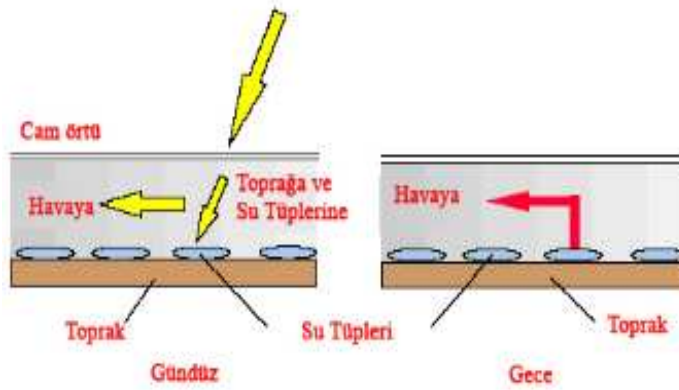
Kollektör yüksek frekansa sahip ışınının iletimini sağlarken, baca zemininde yansımış olan düşük frekansa sahip ışınının emilimini yapar. Kollektör gelen ışınının hepsini verimli bir şekilde kullanamaz yansıma ve konveksiyon yoluyla ışınımdan elde edilmesi hesaplanan enerjide kayıplar oluşur. Kollektör yüzeyine daha fazla güneş ışınının gelmesini sağlamak ve hava akımının artırılmasını sağlamak için mümkün olduğunca kollektör çapı büyük inşa edilmelidir (Şekil 1.11). Kollektörün verimini arttırmak buna bağlı olarak bacanın verimini arttırmak için kollektör için ısı depolama yöntemleri kullanarak depolanan ısının ışınım olmayan yani gece şartlarında da kullanılmasını sağlayarak verimi artırılabilir.



**Şekil 1.11.** Güneş bacası sistemleri için uygun kollektör düzenlemeleri (Weinrebe, 2004).

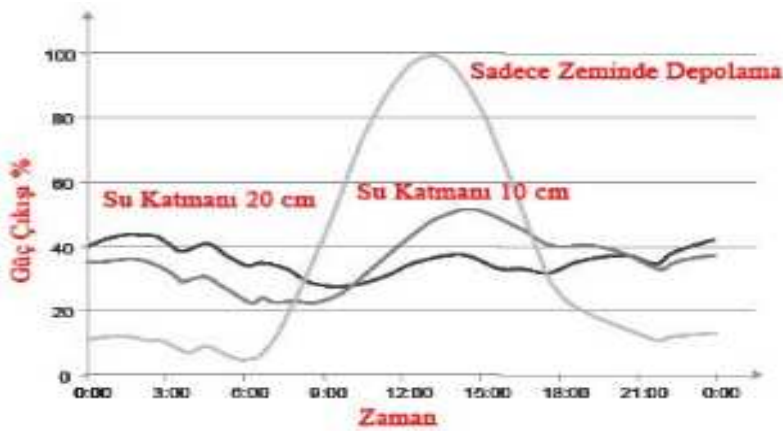
### 1.3.1.1.Kollektörde Enerji Depolanması

İçerilerine su doldurulmuş siyah borular, zemin üzerine cam örtünün altına yerleştirilir. İçerilerine bir kere su doldurulan sistem kapatılır (Şekil 1.12). Bunun sayesinde herhangi bir buharlaşma gözlenmez. İstenen güç karakteristiğine göre su boruları yüksekliği yüzeyden 5 ile 20cm yükseklikte seçilir.



Şekil 1.12. Su doldurulmuş siyah tüpler kullanan ortamda ısı depolama prensibi (Schlaich ve Partner, 2004).

Siyah borular ve su arasında olan ısı transferi yüzey ile yüzey altındaki toprak zemin arası ısı transferinden büyük olduğu sürece, boru içerisinde düşük su hızı ve suyun ısı kapasitesi (4,2kj/kg) toprak ile su arasındakinden daha yüksek oldukça (0,75-0,85kj/kg) borular içerisindeki su güneş ışınımının bir kısmını depolar ve gündüz boyu depolamış olduğu bu ısıyı ışınımın olmadığı sıcaklığın azaldığı zaman bu ısıyı ortama verir (Schlaich 1995), (Şekil 1.13).

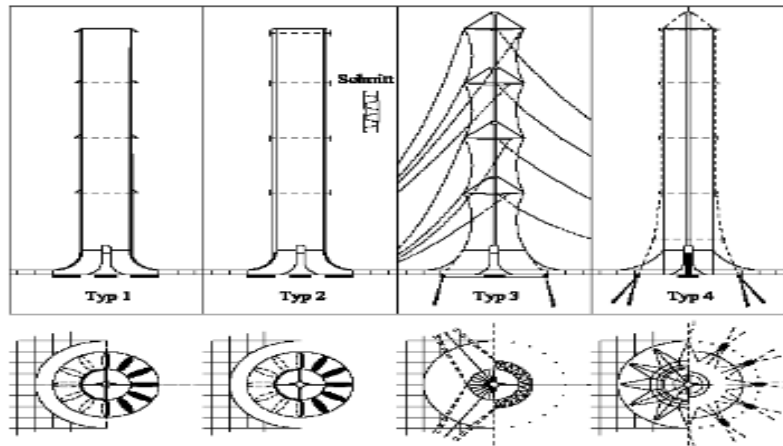


Şekil 1.13. Güneş bacası kollektör ısı depolama (SBP, 2006).

### 1.3.2.Baca

Baca, kollektör(sera) örtüsü altında oluşan sıcak havanın çekimini sağlayarak sistemin esas güç üreten kısmı olarak çalışır. Çalışma şekli olarak hidrolik bir sistemin basınç borusu gibidir, sürtünme kayıpları oldukça düşüktür. Kollektörde ısınan havanın yukarı çıkması kollektördeki sıcaklık artışı ve bacanın hacmi ile doğru orantılıdır. Büyük bir güneş bacasında sistem baca içerisi hava hızı 15m/s 'ye kadar çıkabilir ama yüksek hava akımları görülmez. Böylece baca içerisi türbin bakımları için içeriye rahatlıkla girebilir. Kollektörde ısınan hava baca da yükselerek sürekli bir basınç düşüşü oluşur. Teorik olarak maksimum verim kollektörde oluşan sıcaklık farkına bağlıdır. Buna da baca yüksekliği etkindir. Baca verimi türbin ve kollektör verimleriyle karşılaştırılırsa düşük kalır. Bunun için baca yüksekliği olabildiğince büyük seçilmelidir: Yüksek baca inşası zor görünse de günümüzde Kanada' da 553m yüksekliğinde televizyon kulesi bulunurken. 2010 yılının son çeyreğinde, yüksekliği 800 m yi geçen bir çok amaçlı bina Birleşik Arap Emirliğinde, Çin de 610m yüksekliğinde bir televizyon kulesi işletmeye açılmıştır. Japonya da ise 2000m yüksekliğinde gökdelenlerin inşası için projeler düşünülmektedir (Bernardes 2004).

Çok yüksek baca inşaatları için en güvenli yöntemlerden biri de donatılı ankastr betonarme bacalardır. Betonarme bacaların ekonomik ömürleri çok yüksektir. Yüksek baca yapılmayacaksa ya da materyal olarak çelik kullanılacak ve baca inşaatı yapılacaksa çelik tellerle gerdirerek destek verilmelidir. Baca inşaatlarında malzeme ne olursa olsun bilinen temel inşaat teknikleri ile yapılabilir (Şekil 1.14). Farklı özel bir metot kullanılmadan baca inşaatı kolaylıkla gerçekleştirilebilir. Bugüne kadar inşa edilen bacaların hepsi diktir. Aslında sıcak soğuk farkının olduğu her yerde örneğin yüksek dağların yamaçlarına güneş bacaları inşa edilebilir.



Şekil 1.14. Baca konstrüksiyon şekilleri (Bernardes, 2004).

Baca girişindeki ve baca çıkışındaki havanın statik basınç değeri aynı yükseklikte baca dışındaki havanın basıncı ile birbirine çok yakın değerlerdedirler. Yani baca içerisinde belli bir yükseklikte bulunan havanın basıncı ile aynı yükseklikteki atmosfer basıncı birbirine eşit alınabilir. Bu yüzden baca içerisinde bulunan havanın yoğunluk farkı aynı yükseklikte çevre şartlarında bulunan havanın yoğunluk farkı sıcaklık değişimine bağlıdır. Baca çıkışında bulunan havanın sıcaklığı baca dışarısında çevre şartlarında bulunan havanın sıcaklığından daha düşük olamaz. Bu yüzden ki baca çıkışındaki hava sıcaklığı ile aynı yüksekliğe sahip atmosfer sıcaklığı eşit kabul edilir.

$$T(H_{Max}) = T_{\infty}(H_{Max})$$

Sonuç olarak burada  $H_{max}$  yani maksimum baca yüksekliği aşağıdaki formülde bulunduğu gibi açıklanabilir(Zhou ve ark. 2009).

$$H_{Max} = \frac{c_p \dot{m}}{U \pi D} \ln \left( \frac{\pi^2 U D G \eta_{coll} R_{coll}^2}{c_p \dot{m}^2 (g - \gamma_{\infty} c_p)} \right) \text{ olur.}$$

### 1.3.3.Türbin

Türbinler güneş bacasında enerji değişimlerinin gerçekleştiği ve elektrik enerjisine kadar olan süreçte en son görev yapan materyallerdir. Baca içerisinde hava akımının oluşturduğu kinetik enerjiyi mekanik enerjiye çevirirler (Şekil 1.15). Güneş bacası içerisinde kullanılan türbinler hız kademeli değil, basınç kademeli rüzgar turbo generatörleri gibi çalışır. Aynı hidrolik güç santrallerinde olduğu gibi boru içerisindeki basınç farkından yararlanır. Bu tarz türbinlerden elde edilen enerji aynı çaplı hız kademeli rüzgar türbinlerinden elde edilen enerjinin yaklaşık 8 katı kadardır. Türbin girişi ve çıkışı hızlar aşağı yukarı birbirine eşittir. Çıkış gücü basınç kaybı ile hacimsel debinin çarpımına eşittir. Kanat aralıkları çıkış gücünü ayarlamak için hız ve debiye göre değiştirilebilir. Kanatların hava akımına paralel olma durumunda yani dik durması durumunda akış sağlanırsa basınç kaybı olmaz ve basınç kaybının olmaması enerji üretiminin olmamasını sağlar. Eğer türbindeki basınç düşüşü toplam basınç farkının 2/3 ü ne eşit ise o zaman elde edilebilecek güç maksimum olur.



**Şekil 1.15.** Baca girişindeki türbin örnekleri (Vision Engineer, 2008).

Eğer hava akımı belli sürelerde engellenirse kollektör içerisinde oluşan sıcaklık farkı artar. Bunun sonucunda gece gücünde artış sağlanır (Schlaich ve Partner, 2004). Türbinler dikey eksenli ya da yatay eksenli olarak monte edilebilir. Eğer yatay eksenli olarak monte edilirse birden fazla türbin sisteme bağlanmış olur. Bu bağlantı şekli de soğutma kulelerinde kullanılan vantilatörlerin bağlantı şekilleri ile aynıdır. Dikey eksenli türbinler ise yatay eksenli türbinlere nazaran daha sağlam ve sessiz çalışırlar.

#### 1.4. Matematiksel Model

Karmaşık olan sistemin modellenmesinde çözümü kolaylaştırmak için, çeşitli kabuller alınmıştır. Matematiksel model kararlı hal için geçerlidir. Hesap yapılacak zaman için çevre şartları sabit kabul edilecektir. Burada kollektöre giren havanın sıcaklığı çevre sıcaklığı, giren hava kütleli debisi sabit, çevre sıcaklığı sabit, güneş ışınımı ve rüzgar hızı sabit kabul edilmektedir. Kollektör içerisinde hava akımı simetrik ve düzgündür. Güneşin geliş açısına göre güneşin ışınmasından oluşacak kollektördeki farklı kısımlarda farklı ısınma değerleri ihmal edilmiştir. Kollektör üzerine monte edilmiş saydam, geçirgen cam örtünün optik özellikleri sabit kabul edilir. Işıma açısı farklılıkları ihmal edilir. Baca ile kollektörün birleşme noktalarında oluşacak sürtünme ve kayıplar ihmal edilir. Kütle korunumunun olduğu kabul edilmiştir (Zhou ve ark 2009).

Sistem yukarıda da belirtildiği üzere üç temel parçadan oluşmaktadır; kollektör, baca ve türbin. Bu kısımlar ayrı ayrı incelenerek sistemin çözümlenmesi yapılır. Sistemin çalışma şekliyle sırasıyla kollektör, baca ve türbin teorik çözümlenmeleri belirtilmiştir. Sistem içerisindeki hava için Boussinesq yaklaşımı kabul edilmiştir. Buna göre momentum denkleminde yoğunluk dışındaki tüm özelliklerin değişmediği varsayılır. Bununla beraber yoğunluk farkı basitleştirilir.

$$\rho_{\infty} - \rho = \rho \beta (T - T_{\infty})$$

$\beta=1/T$  olarak geçmekte,  $\beta$ =hacimsel ısı genleşme katsayısı; T, Kelvin cinsindedir ve ideal gaz için mutlak sıcaklığın tersidir.

### 1.4.1.Kollektör

Dünya, incelendiği zaman bir kollektör gibi düşünülebilir. Kollektör içerisindeki zemin, yeryüzü olarak tanımlanırsa, kollektörde cam görevi yapan saydam tabaka ise atmosfer tabakası olarak tanımlanabilir. Burada dünyaya gelen güneş ışınları cam örtü olarak tanımlanan atmosfer tarafından yeryüzüne yansıtılır. Yeryüzüne gelen ışınlar atmosfer tabakası ile yeryüzü arasında bulunan havayı ısıtırken yeryüzü gündüz aldığı ışımdan kaynaklanan ısıyı gece oluşan sıcaklık farkı ile aktarır (Zhou ve ark 2009).

Dai ve ark 2003, Kollektörün incelenmesi, bize kollektöre giren havanın kollektör çıkışında yani bacaya giriş anında sıcaklığını belirlemeyi sağlar. Dolayısı ile havanın kollektör giriş ve çıkışındaki sıcaklık farkı elde edilir. Bunun belirlenebilmesi için öncelikle kollektöre giren hava akımının kütleli debisi bulunmalıdır.

Genel olarak ısı denklemi;

$$Q = \dot{m} C_p \Delta T \text{ ' dir.}$$

$$Q = \dot{m} C_p \Delta T = (T\alpha) A_{\text{coll}} G - \beta \Delta T_a A_{\text{coll}} = \eta_{\text{coll}} A_{\text{coll}} G$$

Kollektördeki hava akımının kütleli debisi

$$\dot{m} = \rho_{\text{coll}} A_c V_c$$

Kollektör verimi;

$$\eta_{\text{coll}} = (T\alpha) - \frac{\beta \Delta T_a}{G}$$

Sıcaklık farkı;

$$\Delta T = \frac{2\dot{Q}}{A_c \beta F_R} (1 - F''')$$

Yukarıda bilinmesi gerekli olan ısı kayıp faktörü;  $F_R$  değeri aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır (Zhou ve ark 2009).

$$F_R = \frac{1}{\frac{1}{F'} + \frac{A_{coll} + \beta}{2m C_p}}$$

$$F'' = \frac{F_R}{F'} \text{ dir.}$$

$$\Delta T = 2\Delta T_a$$

#### 1.4.2.Baca

Kollektör içerisinde havaya aktarılan ısı enerjisi, sıcak havanın çekimi ile kinetik enerjiye dönüşerek güç üretimi esasını oluşturur. Kollektör içerisinde havada oluşan sıcaklık farkları havanın yoğunluğunun da değişmesini sağlar. Yoğunluk farkı havada itici güç oluşumuna neden olur. Bacadaki ısı transferi ihmal edildiği zaman baca içerisindeki hava yoğunluğu kesit boyunca sabit olur. Bacanın girişi ile dış ortam arasında oluşan toplam basınç farkı

$$\Delta P_{top} = g \int_0^H (\rho_a - \rho_t) dH$$

$$P_{top} = \Delta P_{top} V_{baca} A_{baca}$$

İle ifade edilir.

Böylece hava akımındaki toplam güç;

$$P_{top} = \eta_{baca} Q_u = \frac{g H_{baca}}{C_p T_c} \rho_{top} C_p V_{baca} \Delta T A_{baca}$$

denklemleri kullanılarak bulunur. Burada,  $T_c$  çevre sıcaklığı,  $H_{baca}$  baca yüksekliği,  $V_{baca}$  içerisindeki hava hızını temsil etmektedir.

$$\Delta P_{toplam} = \rho_{top} g H_{baca} \frac{\Delta T}{T_0}$$

Bu denklik hidrolik tesisteki basınç boruları ile olan benzerliğini ortaya çıkarır. Buradan güneş bacasının yerin hidrolik tesisi anlamı çıkarılabilir (Zhou ve ark 2009).

Baca verimi;

$$\eta_{\text{baca}} = \frac{g H_{\text{baca}}}{C_p T_c}$$

olup bacada verimin ana parametresi baca yüksekliğidir. Ve verime akışkan hızı ile sıcaklık artımının da etkilediği görülmektedir. Baca içerisinde Hacimsel debi:

$$\dot{v} = V_{\text{baca}} A_{\text{baca}} \quad \text{ise} \quad P_{\text{türbin}} = \dot{v} \Delta P_s$$

Eğer  $\Delta P_s = \Delta P_{\text{toplam}}$  olur ise bu sistemin boştta çalışma durumunu gösterir. Burada PS statik basıncı temsil etmektedir.

$$\Delta P_{\text{tot}} = \rho_{\text{coll}} g H_{\text{sc}} \frac{\Delta T}{T_0}$$

ise baca girişi ile çevre arası basınç farkını verir.

Ayrıca, ısınmış havanın güç içeren akışı

$$P_{\text{top}} = \eta_{\text{sc}} \dot{Q} = \frac{g H_{\text{sc}}}{T_0} \rho_{\text{coll}} V_c \Delta T A_c$$

Buradan hıza ulaşırsak;

$$V_c = \frac{(T \alpha A_{\text{coll}} G - \beta \Delta T_a A_{\text{coll}})}{\rho_{\text{coll}} A_c C_p \Delta T}$$

olarak tanımlayabiliriz.

Türbin olmadığı durumda toplam basınç farkı (maksimum akış hızı) kinetik enerjiye dönüşmüş olur (Zhou ve ark 2009).

$$P_{\text{top}} = \frac{1}{2} \dot{m} V_{\text{max}}^2$$

Baca içerisinde oluşan maksimum hava hızını veren ifade;

$$V_{\text{baca, max}} = \sqrt{2gH \frac{\Delta T}{T_0}}$$



### 1.4.3. Türbin

Baca girişine veya baca ucuna yerleştirilen türbin hava akımının kinetik enerjisini, mekanik enerjiye çevirir. Türbin bu noktada statik bir basınç düşüşü oluşturur. Bunun belirlenmesi Bernoulli denklemine göre;

$$\Delta P_s = \Delta P_{\text{toplam}} - 1/2 \rho_{\text{baca}} V_{\text{baca}}^2$$

Türbine düşen yararlanılabilen güç;

$$P_{\text{türbin}} = V_{\text{baca}} A_{\text{baca}} \Delta P_s$$

Sistemin maksimum çalışma durumu ise tüm basınç farkının 2/3' ü türbine düştüğünde elde edilir.

$$P_{\text{tür, max}} = \frac{2}{3} \eta_{\text{coll}} \eta_{\text{baca}} A_{\text{coll}} G = \frac{2}{3} \eta_{\text{coll}} \frac{g}{C_p T_0} H_{\text{baca}} A_{\text{coll}} G$$

Türbin üzerinden elde edilecek elektriksel güç, Türbinde oluşan mekanik gücün türbin verimi ile çarpımı ile elde edilir. Türbin verimi ise türbindeki kanat sisteminin redüksiyon verimi ile generatörün verimini içermektedir.

$$P_{\text{elektrik}} = P_{\text{türbin, max}} \eta_{\text{türbin}}$$

olmaktadır (Zhou ve ark 2009).

Yukarıdaki teorik formüller kullanılarak laboratuarda oluşturduğumuz prototip için baca ısı özellikleri hesaplanmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Ve bu değerler deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.1. Prototip Güneş bacası ısıl özellikleri

Parametre	Sembol	Değer
Güneş ışımasını (ölçülerde ve Hesaplamalarda kullanılan en alt ve üst değerler ile ara değerleri kapsar)	<b>I</b>	200-1000 W/m <sup>2</sup>
Toplayıcı yutma-geçirme çarpanı	<b>(<math>\tau\alpha</math>)</b>	0,81
Örtü kayıp katsayısı (en düşük, ortalama ve en yüksek değer)	<b>U<sub>L</sub></b>	5-8,8-12,6 W/m <sup>2</sup>
Toplayıcı verimlilik faktörü	<b>F'</b>	0,56-0,72-0,88
Toplayıcı akış faktörü	<b>F''</b>	0,73 ~ 0,87
Isı kayıp faktörü	<b>F<sub>R</sub></b>	0,41 ~ 0,77
Ortalama hava sıcaklığı (ölçüm yapılan periyottaki en düşük, ortalama ve en yüksek sıcaklık)	<b>T<sub>o</sub></b>	10-25-50 °C
Hava özgül ısısı	<b>c<sub>p</sub></b>	1005 J / kgK
Hava yoğunluğu	<b><math>\rho</math></b>	1,0931 kg/m <sup>3</sup>

## 2.KAYNAK ÖZETLERİ

Güneş bacası fikri ilk olarak 1931 yılında Alman araştırmacı Hanns Günther tarafından ortaya atılmıştır (Günther 1931). Robert E. Lucier, 1975 de güneş bacası sistemi patenti için başvuruda bulunmuştur. 1978 ile 1981 yılları arasında ise alınan patentin süresi dolmuştur(Experience festival 2008). Daha sonra Güneş bacası 1970’li yılların sonralarına doğru J. Schlaich tarafından tasarlanmış ve 1978 yılında ise konsept bir güneş bacası modellemesi J. Schlaich tarafından dizayn edilmiştir(Schlaich 1995). İspanya Manzanares civarında pilot bir tesisin inşası yapılmıştır. Bu çalışma Alman ve İspanyol elektrik firmalarının destekleri ile başlatılmıştır. Tasarım ve teorik çözümlenmesi 1980 yılında başlatılmış olup devreye alma çalışmaları 3 yıl sürmüştür. Sistem 122m kollektör yarıçapına sahip, baca ise 194,6m yüksekliğine ve 10m çapına sahipti. Sistemin ulaştığı en yüksek çıkış gücü temmuzdan eylüle kadar olan süre zarfında 41kW’ tı (Pasumarthi ve Sherif 1998). Haaf, Manzanares pilot çalışmasının sonuçlarını ilk olarak 1984 yılında yayınladı. Burada, kollektördeki sıcaklık artışının kütle akımından bağımsız olduğu kabul edilmiştir. Schlaich, ilk 1995 yılında ve diğeri de 2004 yılında olmak üzere güneş bacasının temel esaslarını anlattığı bir kitap yayınladı (Koyun 2006). 1983 yılında Krisst bahçe içerisinde 10W gücünde güneş bacası sistemi inşa etmiştir. Kollektör çapı 6m ve baca yüksekliği 10m’dir (Krisst 1983). Kreetz (1997), ayrıca zemine döşenen su depolama sistemlerinin güneş bacasının gücüne etkisine zamana bağlı olarak incelemiştir (Bernardes 2004).

Nizetic ve ark (2008), güneş bacası kullanımının çevresel ve enerji kaynakları bakımından kurulum ve çalıştırılmasının analizini yapmış fizibilitesini oluşturmuşlardır. Bazı Akdeniz ülkeleri için, bir model geliştirmek üzere bölgenin meteorolojik verilerini kullanarak, 550m yüksekliğinde bacaya sahip, 1250m çapında kolektöre sahip bir güneş bacası güç sisteminin 2,8 – 6,2 MW güç üreteceğini saptamışlardır. Yaptıkları hesaplamalar ile yıllık ortalama elektrik üretiminin 4,9 ve 8,9 GWh/yıl olduğu teorik olarak gözükse de gerçekte 5 ile 6 GWh/yıl ortalama üretim alacaklarını belirlemişlerdir. Diğer enerji kaynakları ile maliyet karşılaştırılması yapılmıştır(Nizetic ve ark 2008).

Zhou ve ark (2009), yaptığı çalışmada güneş bacası sistemleri için yararlanılacak maksimum baca yüksekliği ile maksimum güç elde edilmesinde kullanılacak sistemin

optimum baca yüksekliği değerleri teorik olarak matematik modellemesi yapılmıştır. Yapılan çalışmada ilk yapılan model olan İspanya Manzanares güneş bacası prototipi ölçüleri esas alınmıştır. Buna göre optimal baca yüksekliği olarak 615m seçildiği takdirde maksimum çıkış gücü 102.2 kW' a kadar çıkmaktadır. Baca içerisinde konveksiyon artırımı için kullanılan Maksimum baca yüksekliği seçildiği takdirde burada 92.3 kW enerji çıkışı gözlenmektedir ki bu değer görüldüğü üzere bir önceki değerden düşüktür. Konveksiyonun artırılması için seçilen maksimum baca yüksekliği ile maksimum güç için seçilen optimum baca yüksekliği kollektör alanının artırılması ile artış göstermektedir.

Bernardes ve ark (2009), kollektörlerde kullanılan ısı akışının hesaplandığı metotları ve güneş bacasının performansına olan etkilerini karşılaştırmışlardır. Kullanılan iki model hesaplamada öngörülen farklılıklardan oluşan nedenler belirtilmiştir. Pretorius model diğer modele göre hem kollektör kaplaması hem de yüzey için daha büyük bir ısı transfer katsayısı, daha büyük ısı akış oranını sağlasa da her iki yaklaşımda kollektör içerisinde birbirine çok yakın sıcaklık farklarını ve güçleri vermektedir.

Fluri ve ark (2009), literatürde bulunan ve büyük çaplı güneş bacası sistemlerinin maliyet modellerini kullanmışlardır. Kullanılan giriş parametreleri birbirine çok yakın olmasına rağmen edindikleri sonuçlar birbirinden farklı sonuçlar elde etmişlerdir. Fluri ve diğerleri literatürdeki bu maliyet analiz modellerini karşılaştırmış ve gerçekçi değerlerin elde edilmediğini görmüşler. Bu problem için seçilen bir güneş bacası fiziksel modeli üzerine yeni bir maliyet modeli geliştirmişler ve diğer modeller ile kıyaslamışlardır.

Theodor ve ark (2006), yaptıkları çalışmada maksimum akış koşulunda uygulanabilecek kabuller ve değerler için analitik bir çalışma geliştirmişlerdir. Akış gücü için optimum basınç farkı belirlenmiştir. Buna göre basınç farkının 2/3 oranı maksimum akış halinde oluşacak maksimum akış gücünü belirtmektedir. Maksimum akış gücünün eldesinde Schlaich tarafından geliştirilen kollektör modeli kullanılmıştır. Diğer maksimum akış analizleri ile karşılaştırıldığında da tüm analizler maksimum akış gücünün düşük akış oranında ve yüksek türbin basıncında oluştuğunu göstermektedir.

Sakonidou ve ark (2008), güneş bacası içerisinde oluşan doğal hava akışının çözümlenmesi için bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Modelin oluşturulmasında gün içerisinde saatlik olarak yatay bir düzlem üzerine gelen güneş ışınım değerlerinden yararlanılmıştır. Bu ışınım değerleri direkt, difüzyon ile ve yüzeye tekrar gelen ışınım değerleri olarak çeşitlilik göstermektedir. Geliştirilen model baca içerisindeki hava yoğunluğunu, sıcaklığını ve siyaha boyanmış Absorber yüzey tarafından emilen ısının sıcaklığını da öngörmektedir. Geliştirilen teorik model prototip olarak yapılmış ve sonuçları elde edilen deneysel çalışmalar ile birbirine çok yakın değerler göstermektedir ki bu da geliştirilen teorik modelin gerçeği yansıttığının bir delilidir.

Ming ve ark (2008), enerji absorbe etme katmanı ile oluşturulmuş bir güneş bacası sisteminde ısı transferini ve baca içerisindeki hava akışını analiz edebilmek amacıyla bir nümerik simülasyon gerçekleştirmişlerdir. Kollektör için, enerji absorbe etme katmanı için ve güneş ışınımının çeşitliliklerine göre farklı matematiksel modeller kurulmuş, ısı tutum karakteristiklerinin analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışma göstermektedir ki ilk olarak ısı tutum oranı düşüş göstermesine rağmen, daha sonraları ışınımın  $200 \text{ W/m}^2$  den  $800 \text{ W/m}^2$  ye artması ile arttığı görülmüştür. Ayrıca hızının artması ve ışınımın artımı ile statik basınç düşmektedir. Güneş ışınımının artması baca çıkışındaki ortalama sıcaklığın artmasını sağlamaktadır. Yüzeyden yeryüzüne olan ısı kaçışının önlenmesi ile birlikte güneş bacası içerisinde oluşan sıcaklık gradyenti artmaktadır.

Zhou ve ark (2009), güneş bacası içerisine giren karşılıklı akış halinde olan havanın baca içerisinde yükselmesini üç boyutlu nümerik simülasyon sistemi ile modellemişlerdir. Yapılan bu çalışmada parametrik performansı içeren statik basınç, statik sıcaklık, yoğunluk, akış içerisinde bulunan bağıl nem alanı  $750 \text{ m}$  karşıt düzlem geometrisinde simüle edilmiştir.

Tingzhen ve ark (2008), tarafından türbin ile birleştirilmiş komple bir sistem olarak çalışan güneş bacası için nümerik bir simülasyon oluşturulmuştur. Sistem üç ana bölüme ayrılmıştır. Bunlar kolektör, baca ve türbindir. Bu üç ayrı bölüm için ayrı ayrı matematiksel modeller kurulmuştur. Kurulan matematiksel karşılaştırma yapılabilmesi için deneysel bir örnek üzerine uygulanmıştır. Burada İspanya'daki prototip ele alınmıştır. Matematiksel model sonuçları üç kanatlı türbin için

çözümendirilmiştir. Sonuçlar göstermektedir ki sistem 50 kW' tan az biraz daha yüksek bir güç elde etmektedir. Elde edilen baca çıkış parametresi olarak türbin hızı yazar tarafından geliştirilen modelin doğruluğunu göstermektedir. Çalışma içerisinde beş kanatlı türbin için MW düzeyinde bir sistem simülasyonu sunulmaktadır. Sonuçlar sırasıyla çıkış gücü ve türbin verimi olarak 10 MW ile %50'dir. Ayrıca bu veriler geliştirilmiş büyük çapta kurulması düşünülecek güneş bacası sistemleri için bir referanstır.

Fluri ve Backström (2008), ilk olarak literatürden referans bir güneş bacası tesisi belirlemişler yaptıkları simülasyonlar ile sistem ile türbin performanslarını karşılaştırmış ve sistem karakteristiklerini tartışmışlardır. Elde edilen bulgular göstermektedir ki iyi tasarlanmış bir türbin girilen çalışma aralığından daha yüksek bir performans gösterebilmektedir. Sistem performansı Stodola 'nın elips kuralı ile birebir örtüşmektedir. Yapılan çalışmada akış düzenleme üniteleri yapılmasıyla akış sırasında oluşan aerodinamik kayıpları düşük oranda tutulmasını sağlamaktadır. Baca performansının belirlenebilmesi için tek dikey eksenli, çok sayıda dikey eksenli ya da çoklu yatay eksenli türbinler simüle edilmiştir. Simülasyonlarda tek ve dikey eksene sahip türbin önemsenecek bir avantaj sağlamaktadır çünkü kayıp mekanizmaları göz önüne alınmadığı zaman yüksek bir çıkış torku sağlamaktadır. Alınan kabullerle birlikte yapılan bu çalışma diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında uyum içerisindedir.

Bilgen ve Rheault (2005), Yüksek bölgeler için güneş bacasını tasarlayıp, performans analizlerini değerlendirmişlerdir. Aylık meteorolojik verilerin kullanımı ve termodinamiğe dayalı verilere göre MATLAB üzerinde matematiksel model geliştirilmiştir. Oluşturdukları matematiksel modelde Kanada' da Ottawa, Winnipeg ve Edmonton adlı 3 bölgede nominal gücü 5 MW olan tesis için termal performans üzerinde çalışmışlardır. Eğimli yüzey üzerinde yapılan çalışmada dik kısa bacaya, eksenel hava türbini ekleme sonucunda, güneş bacası sisteminin iyi bir ısıl performansa sahip olduğunu ve güney bölgelerde inşa edilecek bazı tesislerdeki kolektörler verimlerinin %85' ine kadar ulaştıklarını kaydetmişlerdir. Sonuç olarak eğimli yapıya sahip kolektörlerin kurulabilmesi için performans değerlerine ulaşılmıştır. Doğal tepelerdeki eğimler değişken olmakla beraber yüzeyin en uygun eğiminde yaklaşık 20 – 25 °C kadar değişirse, bütün performansın yaklaşık olarak %13' ten fazlasını

kaybedileceğini belirtmektedir. Sistemin toplam verimi yatay kolektöre sahip geleneksel güneş bacaları ile karşılaştırıldığında daha iyi olduğu gözlemlenmektedir.

Harte ve ark (2007), güney Afrika bölgesinde ileri zamanlarda enerjinin karşılanması için kullanılması düşünülecek rüzgar türbinleri ve güneş bacalarının dinamik rüzgar yüklerine olan dirençleri ve tasarımları üzerine bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada Güneş bacasının rüzgar etkisine, titreşim frekanslarına ve pekleşmeye olan dayanımı üzerine çalışmış ve konstrüksiyon şekillendirilmesi yapılmıştır.

Petela (2009), örnek olarak aldığı güneş bacası verileri üzerinde teorik olarak enerji dengeliği ile ekserji çalışması yapmıştır. Çalışma içerisinde 36.81 MW güneş ışıyım enerjisi girdisinin 32.41 MW güneş ışıyım girdisine dönüşmesi, diğer kısmın güneş bacası elemanları tarafından dağıldığı gösterilmektedir. Petela bu çalışmada detaylı seçilen verilerin enerji ve ekserji analizlerini çıkarmıştır. Kullanılmış olan bu analiz yöntemlerinin ileri tarihlerde daha fazla yanıtlanmamış probleme dönüşeceği belirtilmiştir.

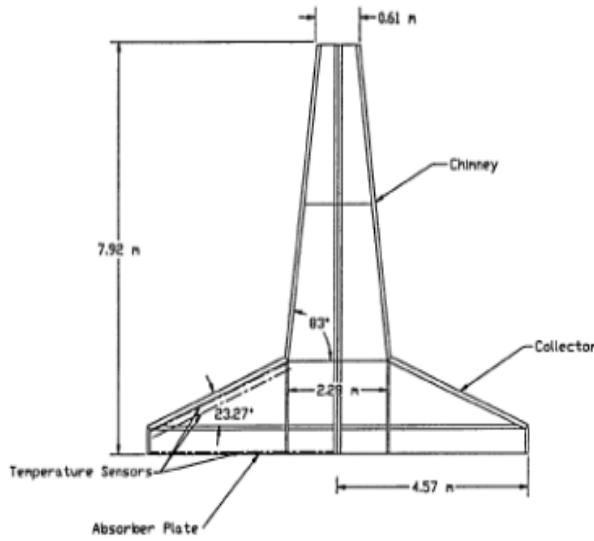
Maia ve ark (2009), güneş bacası içerisinde kararsız haldeki hava akışını analitik ve nümerik olarak incelemişlerdir. Taşınım eşitlikleri ve değişim halleri ile akış durumu sonlu hacimler yöntemleri kullanarak nümerik olarak modellendirilmiştir. Elde edilen nümerik sonuçlar deneysel olarak tasarlanmış ve ölçümleri alınmış sistem ile fiziksel büyüklükler karşılaştırılmıştır. Geliştirilen model hava akış simülasyonu üzerinde çalıştırılmış ve deneysel prototip ile operasyon ve geometrik veriler karşılaştırıldığında bazı farklılıklar gözlemlenmiştir. Analizler göstermektedir ki baca yüksekliği ile baca çapı değerleri baca dizaynında fiziksel sonuçlar için en önemli parametrelerdir. Teorik modelleme ile deneysel çalışma üzerinde kütleli debi, enerji, momentum, türbülans durumları karşılaştırılmıştır. Akış davranışındaki en önemli parametrenin bacanın fiziksel boyutları olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak geliştirilen teorik modellemenin güneş bacası tasarlanmasında ve çalıştırılma durumlarında yardımcı bir araç olduğu, farklı durumlarda çalışma anında uygun parametrelerin çözümlendirilmesinde kullanılabilirliği belirlenmiştir.

Bernardes ve ark (2003), güneş bacası için kapsamlı, analitik ve sayısal modelleri geliştirmişlerdir. Geliştirilen modelde, çeşitli çevre koşullarının etkisinin

incelenmesi, güneş bacası sisteminde çıkış gücünün hesaplanması ve sistemin boyutlandırılması yapılmıştır. Matematiksel modellemeler ile elde edilen sonuçlar deneysel çalışma sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Yaptıkları çalışmada baca yüksekliği, baca çapı, türbin basınç faktörü ve kolektör örtüsünün optik özellikleri ile ilgili parametrelerin etkisi incelenmiştir. Kullanılan matematiksel modelin ileride uygulanacak büyük çaplı güneş bacası sistemleri için yapılacak performans karakteristiklerinin belirlenmesinde kullanılması ön görülmüştür.

### 2.1. Uygulamalı Literatür Çalışmaları

Pasumarthi ve Sherif (1998), güneş bacası performansı ve özellikleri için teorik olarak matematiksel method geliştirmişlerdir. Geliştirilen modellemede hava sıcaklığı, hava hızı ve boyutlar gibi parametrelerin çıkış gücüne etkileri ele alınmıştır. Yapılan teorik çalışma deneysel yapılan çalışma ile doğrulanmıştır. Ayrıca üç farklı kolektör tipi incelenmiştir. Kolektör altındaki hava sıcaklığı, farklı uzaklıklarda, her üç farklı kolektör tipi için ayrı ayrı ölçülmüş ve sonuçlar alınmıştır.



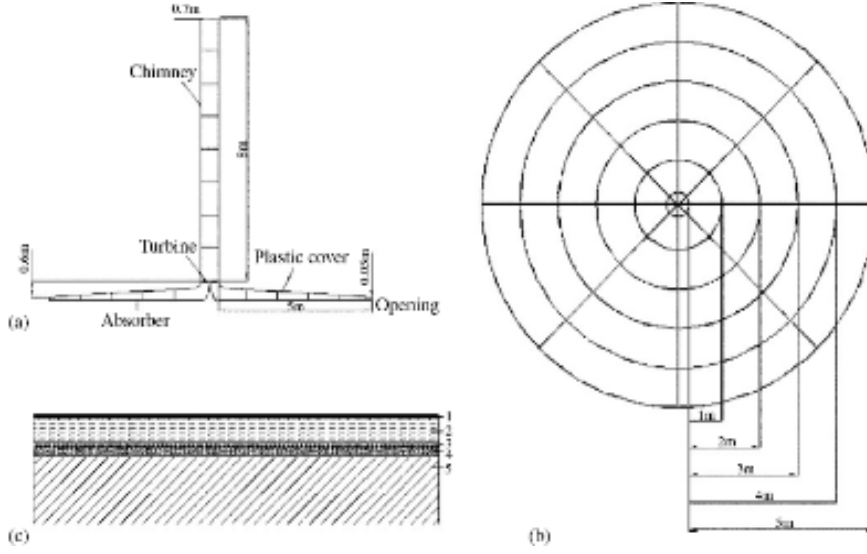
**Şekil 2. 1.** Florida Üniversitesi güneş bacası uygulama prototipi kesit şekli ve görüntüsü (Florida University, 2005).

Pasumarthi ve Sherif (1998), güneş bacası prototipinin yapılabirliğine ait bir modeli tasarlanıp ve inşa etmek için deneysel program yürütmüş ve performansını incelenmiştir. İki farklı deneysel değişiklik kolektör üzerinde denenmiştir. İlk denemede kolektör boyu arttırılmış, ikinci denemede ise absorber bir katman yüzey üzerine yerleştirilmiştir. İlk yapılan değişikkte hava girişine yardımcı olduğu, ikincisinde



ise bacaya giren hava sıcaklığının artışı sağladığı görülmüştür. Her iki artış da güç çıkışı arttırmıştır. Kullanılan matematiksel modelde elde edilen sonuçlar, İspanya Manzanares' teki fiziksel verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Zhou ve ark (2007), Çin'de güneş bacası sisteminin performans değerlerinin belirlenmesi ve ayrıca belirlenecek değerlere uygulanacak matematiksel modelin geliştirilmesi için deneysel pilot bir çalışma yapmışlardır. Sistem, 2002 yılında inşa edilmiştir. Sistem, çeşitli performans değerlendirmesi yapmak amacıyla çeşitli uygulamalar ve araştırmalar için birçok iyileştirici düzenlemeler geçirmiş bir güneş bacası prototipine dönüşmüştür. Simüle edilecek matematiksel model kararlı durumu içerisinde farklı güneş ışınım yoğunlukları, farklı kollektör alanları ve farklı baca yükseklikleri için geliştirilmiştir. Geliştirilen matematiksel model hesaplanan sonuçlar ile deneysel çalışmada elde edilen veriler kararlı bir şekilde örtüşmektedir. Bu çalışmada kullanılan deneysel sistem (Şekil 2.2.) 8 m baca yüksekliğine, 0,7 m baca çapına, 5 m kollektör çapına ve 0,05 m kollektör giriş ağzına sahiptir. Aynı zamanda kollektör içerisinde yüzey 5 katmandan oluşmaktadır. Absorber yüzey ise 5 ana katmandan oluşmakta en üst katman siyah asfalttan oluşmakta olup aldığı ışınım enerjisini ısı enerjisine çevirmektedir. Altında su dolu borular olup ısı tutumu sağlamasıyla gece dahi çalışabilmesi amaçlanmıştır. Su borulu sistem sadece toprak bulunan sisteme göre daha efektif bir enerji sağlayacağı düşünülmüştür. Su borularının altında ise alınan ısının yeryüzüne aktarılmasını engellemek amacıyla ısı izolasyon tabakaları eklenmiştir. 3. katman olarak 1 cm kalınlığında sarı kum izolasyon için kullanılmış olup 4. katmanda 2 cm kalınlığında ısı izolasyon elemanı kullanılmıştır. 5. katman ise yeryüzünün kendisidir. Ölçümlerde ise PT100 sıcaklık sensörleri kullanılmıştır.



Şekil 2. 2. Zhou vd. tarafından inşa edilen güneş bacası prototipi (Zhou ve ark. 2007).

Ketlogetswe ve ark (2005), Botswana bölgesi coğrafi konumu ve nüfusu bakımından gereksinimi olan elektrik enerjisinin büyük bir bölümünü Güney Afrika güç sisteminden sağlamaktadır. Ketlogetswe ve diğerlerinin yaptığı çalışma, bölge için uygulanabilecek sistematik deneysel mini bir güneş bacası sistemini tanımlamaktadır. Özellikle üstünde çalışma yaptıkları kısım ise güneş ışınımı ile hava hızının ölçümlerinin karşılaştırılmasıdır. Ekim ayının 5. günü ile kasım ayının 6. günü alınan ölçümler çalışmada sunulmuş, sıcaklık farkının, hava hızı ve yalıtımla olan ilişkileri tartışılmıştır. Yapılan çalışmada 2 m çap ve 22 m yüksekliğe sahip baca, ortalama 160m alana sahip kolektör ile çalıştırılmıştır. Kolektör üzerinde geçirgen yapı olarak 5mm kalınlığında cam kullanılmıştır. Ölçümler sırasında 11 adet sensör 3 ayrı bölgeye yerleştirilerek ölçümler alınmıştır. Her 30 saniye içerisinde alınan ölçümlerin 30 dakikalık ortalamaları ile kıyaslama yapılmıştır. Veriler içerisinde alınan en yüksek ışınım değeri 950 w/m olarak kaydedilmiş alınan güneş enerjisinin %47'si zemin tarafından yutulmuş ve daha sonra bu enerjiyi sıcaklık farkı ile verdiği gözlemlenmiştir.

Schlaich' in önerisi ve Alman Araştırma ve Teknoloji Bakanlığı, İspanyol ve Alman elektrik şirketlerince de desteklenen Manzaranes prototip güneş bacası Manzaranes bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Daha sonraki çalışmalara örnek teşkil eden bu sistemin bazı teknik özelliklerinden bahsetmek uygun olacaktır: “Baca 194,6 m yüksekliğinde ve çapı 10 m olarak inşa edilmiştir. Kolektör çapı 240 m, ortalama kolektör çapı 122 m, ortalama kolektör yüksekliği 1,85 m, türbin kanat sayısı 4,

kollektördeki düşünölen sıcaklık artışı  $\Delta T = 20 \text{ K}$ , nominal türbin gücü 50 kW, naylon kollektör yüzey alanı 40000 m<sup>2</sup>, cam kollektör yüzey alanı 6000 m<sup>2</sup>'dir. Sistemin yapımına 1982 yılında başlanmıştır. 1989 yılına kadar gerçek ölçümler alınmış ve başarılı bir şekilde çalışmıştır. Sistem üzerinde bulunan yüzden fazla ölçüm sensörü vasıtasıyla binlerce veri için her an ölçüm yapmıştır. Şekil 2.3.' de Manzanares güneş bacası görölmektedir (Schlaich ve ark 2004). Prototip 3 yıllık bir süre için deneme amaçlı kurulmuştur. Sistemin kolay kurulabilir ve parçaların daha sonra tekrar kullanılabilir olması düşünölmüştür. Bu amaçla baca kısmı trapez levhaların boru haline getirilerek üst üste birleştirilmesiyle elde edilmiştir. Levhaların kalınlığı 1,25 mm'dir. Ayrıca bacanın büyük rüzgar şartlarında devrilmemesi için dört eşit yükseklikten 3 ayrı yöne çelik gergi halatları ile zemine bağlanmıştır. Kollektör kısmında kullanılan malzemenin, iyi geçirgenlik özelliğinin yanı sıra uzun ömürlü, dayanıklı ve uygun fiyatlı olması gerekir. Bu nedenle, kollektörün bazı bölgelerinde cam, bazı bölgelerinde ise naylon folyo kullanılıp, ikisi arasındaki farklar incelenmiştir (Schlaich ve ark 2004).



Şekil 2. 3. İspanya Manzanares Güneş bacası sistemi görüntüsü (Schlaich ve ark 2004).

Almanya Weimar Bauhaus üniversitesinde Rainer Gump ve Jürgen Ruth danışmanlığında, üç mimarlık, beş mühendislik öğrencisinin üniversite kampüsü içerisinde yapmış oldukları güneş bacası deneysel çalışması Almanya'nın en büyük güneş bacası olarak tanıtılmaktadır. Bacasının yüksekliği ise 12 m dir. İçerisinde bulunan türbin bir generatöre ve generatör ise bir akümülatör grubuna bağlıdır. Bu

sayede üniversite kampüsünde bulunan temiz enerji binasının etrafında ve binadaki led lambalar beslenmektedir (Bauhaus-Universitaet Weimar 2008).



**Şekil 2.4.** Bauhaus Üniversitesi güneş bacası(Bauhaus-Universitaet Weimar, Almanya 2008), İran Shahid Bahonar Üniversitesi' nin kurduğu güneş bacası sistemi(Shahid Bahonar University of Kerman 2005).

İran'daki Shahid Bahonar University of Kerman dan Mohammad Rahnama'nın gerçekleştirdiği bir sistem Şekil 2.6'de görülmektedir. Yaklaşık 10 kW güç üretmesi öngörülmüştür.

Gerçekleştirilen bu prototipler haricinde, yine tamamen deneysel amaçlı olarak Berlin Teknik ve Ekonomi Yüksek Okulu' nda Şekil 2.7 de görülen güneş bacası sistemi ile çalışmalar yapılmıştır.



**Şekil 2.5.** Berlin Teknik ve Ekonomi Yüksek Okulu' nda kurulan güneş bacası sistemi.

Süleyman Demirel Üniversitesi kampüsünde bir grup araştırmacı, DPT destekli yapmış oldukları güneş bacası deneysel çalışmasında güneş bacası ile elektrik üretimi ve sisteminin performans artırılmasına yönelik iyileştirme yöntemleri araştırılmıştır.

Güneş bacasının üzerinde yapılan çeşitli deneme ve iyileştirme yöntemleri sonucunda elde edilen veriler daha önceki yıllarda alınan veriler ile kıyaslanmıştır. Bu deneme ve iyileştirme çalışmaları arasında zeminden ilave ısıtma ile bacanın daha uzun süreli çalışması, sera alanının artırılarak performansın iyileştirilmesi, zeminin siyah boya ile boyanması, yine zeminin pomza ile kaplanması ile performansın ölçülmesi, baca dilimlerine kapaklar yapılarak performansın incelenmesi, bacanın en yüksek noktasına pülverize su sistemi kurularak performansın incelenmesi aşamaları hayata geçirilmiştir. Bu denenen yöntemler ile güneş bacasının mevcut performans değerleri arttırılmak, gün boyu güneş ışıması ile sağlanan çalışmanın güneş etkisini yitirdiği zamanlarda da düşen çalışma performansının arttırılması amaçlanmıştır. Ayrıca halen doktora çalışması kapsamında devam eden güneş güç kulesi ile elektrik üretimi sisteminin heliostatları baca yakınına konumlandırılarak baca tepesine yerleştirilen bir alıcıya odaklama yapılmış ve hibrid bir sistem ile baca performansı incelenmiştir (Üçgül, İ 2005).



**Şekil 2.6.** SDÜ YEKARUM tarafından gerçekleştirilen güneş bacası görüntüsü (Yekarum, 2008).

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tasarlanan güneş bacası sisteminin kısımları değişik yerlerde imal ettirilerek, satın alınarak, ödünç alınarak önceden bu iş için ayrılan araştırma laboratuvarında toplandı. Laboratuvarda ayrılan kısımda montajları ve testleri yapılmaya başlandı. Bunlardan sera alanının “kollektör” kurulumu ile ilgili demir iskelet boyanarak Şekil 3.1’ de görüldüğü gibi montajı tamamlandı.

Güneş bacası kolektörü iskeleti için 4mmx25mm boyutlarındaki lama demirler kullanılmıştır. Tasarımını oluşturduğumuz kolektörü sanayi sitesinde bir demirci şirketi tarafından yaptırarak laboratuvara monte edilmiştir. Kolektör iskeleti; çapları 40 ve 80 cm olan ve aralarında 50 cm uzunluk bulunan iki adet çember, bu çemberleri birleştiren 8 adet 47cm uzunluğunda lama demir ve üstteki çembere monte edilmiş 8 adet 150cm uzunluğundaki 4mmx25mmx1500mm boyutlarındaki lama demirler kullanılmıştır. Kollektörün sağlamlığı ve kolektör üzerine örtülecek saydam sera naylonunun gergin durabilmesi için 8 adet mevcut 150 cm uzunluğundaki lama demirler çelik telle birbirlerine farklı yerlerinden bağlanmıştır. Güneş bacası kollektör alanı yarıçapı 1,70 m dir. Sera alanının zeminini oluşturmak için laboratuvarda 9,075 m<sup>2</sup> ‘ lik bir dairesel alan kullanılmıştır (Çizelge 3.5).



**Şekil 3.1.** Sera alanının biçimlendirilmesi ve baca kollektör alanının kurulumu.





**Şekil 3.2.** Baca kolektörü için zemin oluşturulmasından ve güneş panelinden bir görüntü.

Baca için kullanılan farklı boyutlarda ve geometrideki çeşitli borular, redüktörler ve kelepçeleri NetFan/Konya şirketinden M. Aydınol tarafından alınarak projede kullanıma sunulmuştur. Sisteme yardımcı olması amacıyla kullanılan güneş paneli de Diyarbakır güneş evinden ödünç alınmıştır (Şekil 3.2). Laboratuvarın yüksekliği 4,50m olduğundan bacanın boyu maksimum 4m' ye kadar çıkarılabilmektedir. Bacanın oluşmasında kullanılan birinci boru 150 cm boyunda 30cm çapında olup bacanın alt kısmını oluşturmak için kullanılmıştır. Bunun üzerine gelen kısımda ise iki adet 100cm boyunda 15cm çaplı borular ise bacanın üst kısmını oluşturmaktadır. Arada bunları birbirine uyuşturan redüktör kullanılmıştır (Şekil 3.5). Baca kısmının baca giriş redüktöründen sonraki yaklaşık 1,5 metrelik kısım 1mm kalınlığında saç malzemeden geri kalan kısımları ise 0,5 mm kalınlığında saç malzemeden oluşmaktadır. Aşağıda bacanın alt ve üst taraflarını oluşturan kısımlar gösterilmiştir (Şekil 3.3).



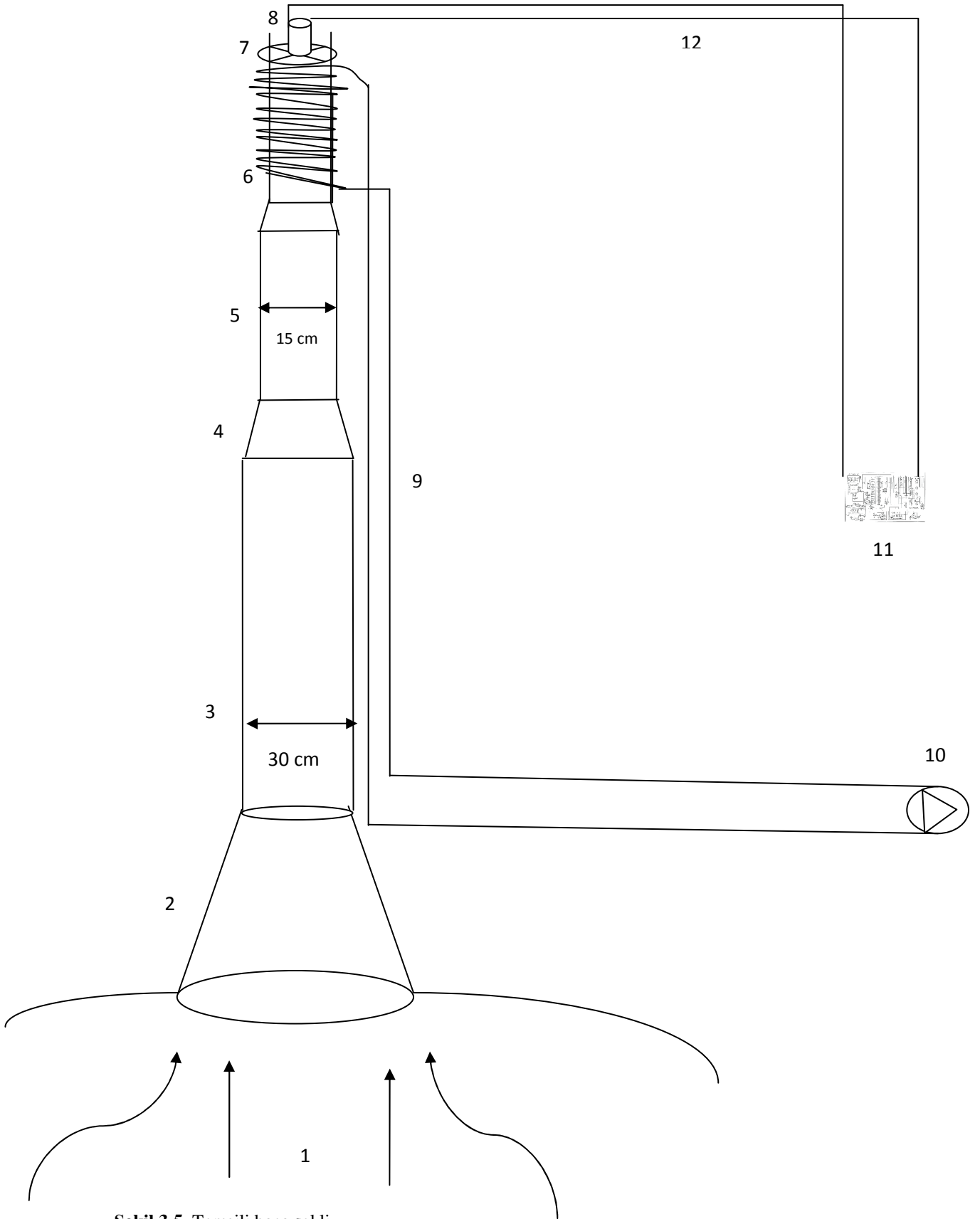
**Şekil 3.3.** Bacanın alt tarafını ve üst tarafını oluşturan kısım

Borular ayrı ayrı olup redüktör ve kelepçeleri ile birlikte birbirine bağlanmıştır. Baca monte edildikten sonra bacanın daha stabil olabilmesi için baca tepesi ip yardımıyla laboratuardaki dikdörtgen prizması şeklindeki boruya, baca ortası da çelik tel ile zemine sabitlenmiştir. Yukarıda gösterilen kısımlarla oluşturan bacalar Şekil 3.4 görülmektedir.



Şekil 3.4. Güneş bacası prototipi-1, Güneş bacası prototipi-2.





Şekil 3.5. Temsili baca şekli

- 1-Sera örtü alanı
- 2-Baca giriş ağızı redüktörü
- 3-150 cm boyundaki bacanın alt kısmı
- 4-Redüktör
- 5-100 cm boyundaki bacanın üst kısmı
- 6-Bakır boru
- 7-Türbin
- 8-Generatör
- 9-Bakır boruya soğuk su taşıyan hortumlar
- 10-Su pompası
- 11-Multimetre
- 12- İletken Tel

Baca kollektör alanı giriş ağızı yüksekliği 30cm olup bu değer bacaya doğru baca merkezinde 50 cm olmaktadır. Bu sayede kolektör içerisinde ısınan havanın yukarı yönlü hareketinde radyal oluşacak sürtünme kayıpları azaltılması amaçlanmaktadır. Güneş bacası prototipinde kolektör geçirgen örtü malzemesi olarak saydam sera naylonu kullanılmıştır. Sistem geçici olarak kullanılacağı için sera naylonu kullanılmıştır. Doğal şartlarda kurulacak bir sistem için cam kullanılması gerekmektedir. Cam sistemin uzun ömürlü olmasını sağlayacaktır. Saydam sera naylonu uzun dalga boyuna sahip ışınımı geçirgen kısa dalga boyuna sahip ışınımı ise absorbe etme özelliğine sahiptir. Aşağıdaki Çizelge 3.2' de, kullanılan güneş bacası prototipi için fiziksel büyüklükler verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** D.Ü. Güneş Bacası Prototipi büyüklükleri

<b>Fiziksel Büyüklük</b>	<b>Sembol</b>	<b>Boyut</b>
Baca yüksekliği	$H_{\text{baca}}$	4 m
Kollektör çapı	$D_{\text{koll}}$	3,40 m
Baca giriş çapı	$R_{\text{bacagiriş}}$	0,36m
Baca çıkış çapı	$R_{\text{bacaçıkış}}$	0,11 m
Baca giriş kesit alanı	$A_{\text{bacagiriş}}$	0,40699m <sup>2</sup>
Baca çıkış kesit alanı	$A_{\text{bacaçıkış}}$	0,037994m <sup>2</sup>
Kollektör girişi açıklık	$h_a$	0,3 m
Kollektör ortalama yükseklik	$h_{\text{or}}$	0,4 m
Kollektör yüzey alanı	$A_{\text{koll}}$	9,075 m <sup>2</sup>
Giriş ağız çevresel kesit alanı	$A_t$	3,2 m <sup>2</sup>

### 3.1. Yapılması Öngörülen Çalışmalar

Sistem elemanlarının bir araya getirilerek güneş bacası prototipinin oluşturulmasıyla sistem üzerinde sıcaklık ve baca tepesine monte edilmiş pervanenin bağlı olduğu motorun ürettiği güç miktarları ölçülmüştür. Ayrıca kollektör alanının artırılması ile yine performansın artacağı öngörülmüştür. Bu amaçla aşağıdaki çalışmaların yapılması düşünülmüştür.

- Baca zemininde daha iyi ısı tutumu için zeminde siyah boru kullanılması.
- Baca performansını arttırmak ve güneş etkisini yitirdikten sonra yada gece boyu da bacanın elektrik enerjisi üretimine devam edebilmesi için kollektör içerisinde kullanılan siyah boruların içine su sistemi kurulması.
- Güneş kollektör alanı kuzeye doğru birinci dilimden üçüncü dilime kadar uzunluğu 1m daha artırılması.

- Sistem elemanlarından biri olan bacanın boyutları değiştirilerek sistem performansına katkısı incelenecek.
- Güneş bacası tepesine bakır boru sarmal olarak yerleştirilerek baca tepesinde, bacanın içine ve girişine göre sıcaklık düşüşü sağlayarak bacanın çekişi artırılması öngörülmüştür.

#### **3.2. Deneysel Çalışmada Kullanılan Cihazlar**

Çalışma sırasında yapılan tüm deneylerde kullanılan cihazlar aşağıda belirtilmiştir.

- 1 adet Art Power Mini 2000 model konverter
- 1 adet Sarex marka sıcaklık ölçümü için TPM-10 termometre
- 1 adet UNI-T marka sıcaklık ölçümü için UT60-G sıcaklık sensörü
- 1 adet UNI-T marka güç ölçümü için UT60-G dijital multimetre (Şekil 3.6)
- 1 adet LA 90 model Lorentz marka 90 Watt monokristal güneş paneli
- 1 adet su pompası (5lt/dak.)
- 1 adet yiğit marka güç depolamak için jel tipi akü (12V, 60A)
- 1 adet Kumtel marka kolektörün ısınmasına yardımcı ayarlanabilir ayaklı 2000 Watt elektrik sobası
- 2 adet Maxon marka generatör ve diğer generatörler (Şekil 3.7).



Şekil 3.6. Dijital multimetre



Şekil 3.7. Deney sırasında kullanılan elektrik makinaları

Deneylerde verilerin daha sağlıklı olması için ve alınan verilerin çeşitlendirilmesini sağlamak amacıyla sayıca fazla ve farklı noktalarda sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Ayrıca bu yüksek lisans tezine yardımcı olması amacıyla Dübap

desteğiyle UT60-G sıcaklık sensörü alımları yapılmıştır. Alınan sıcaklık sensörleri veri kaydedici ünitelere bağlanmıştır. Bu ünitelerde ölçülen verileri bilgisayar ortamına kaydetmek için UT60-G Interface program-Ver1.01 den yararlanılmıştır.

90 Watt'lık monokristalin güneş panelinden elde edilen elektrik enerjisi jel tipi aküde depolanıp converter kullanılarak su pompasının çalışması sağlanmıştır. Kollektörün güney tarafı laboratuvarın güney tarafının güneş almasından dolayı iyi ısınmakta fakat kuzey tarafında gölge olmaktadır. Bunun için kollektörün kuzey tarafı elektrikli soba ile ısıtılarak ısı dengesi sağlanmıştır. Ayrıca laboratuvardaki mevcut 3 adet kalorifer peteklerindeki ısının sisteme kazandırılması için üzerleri saydam sera naylonuyla kollektöre doğru kapatılmıştır. Aşağıdaki Şekil 3.8 kalorifer peteklerindeki ısıdan yararlanabilmek için kurulan düzeneği göstermektedir.



Şekil 3.8. Kalorifer peteklerindeki ısıdan faydalanma.

### 3.3. Yapılan Çalışmalar ve Deneyler

Yapılan tüm performans arttırmaya yönelik yöntemlere referans oluşturması için 15.10.2010 tarihinde prototipin oluşturulmasıyla güneş bacası kollektör sıcaklığı, baca tepesi sıcaklığı ve motorun ürettiği güç miktarları gibi parametrelerin ölçümü yapıldı.

Güneş bacası kollektör zemini ısı tutum özelliği artırılması için siyah boru döşendikten sonra 19.03.2011 tarihinde, daha önce yapılan ölçümlerin hepsi tekrarlanmıştır.

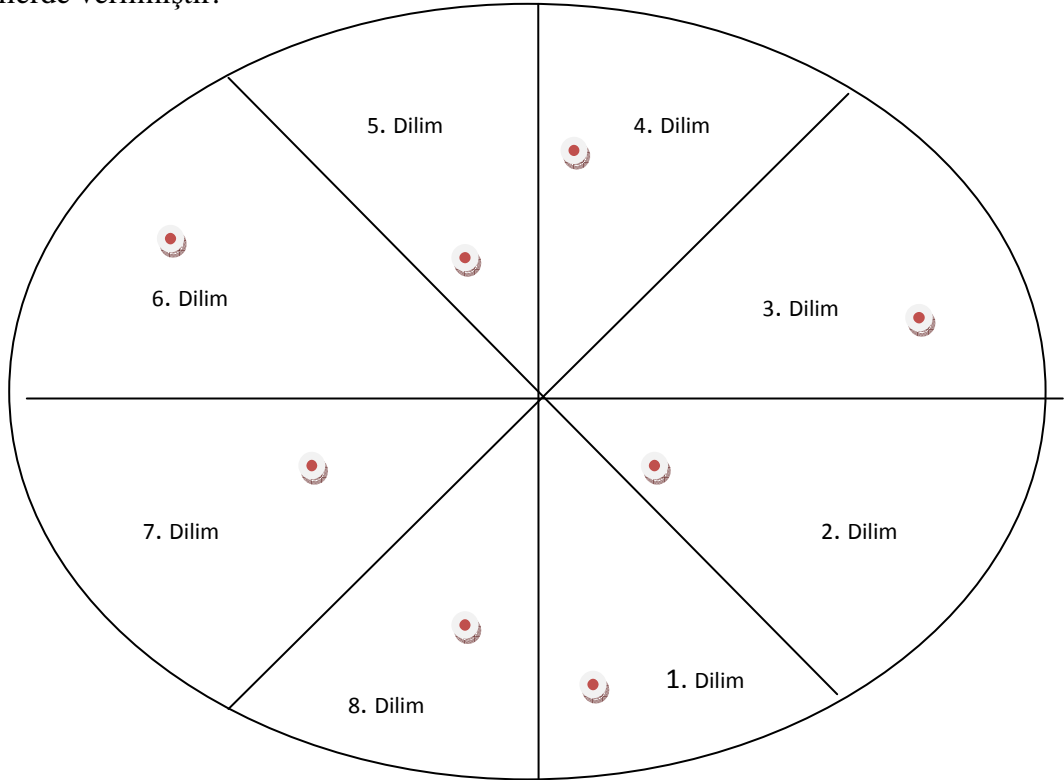
Sadece zemine siyah boru uygulaması yapıp sonuçlar alındıktan sonra güneş bacası sisteminde gün boyunca daha az ısı kazanan kuzey yönündeki kollektör dilimlerine baca içerisinde homojen ısı oluşumunu sağlamak için elektrikli soba uygulaması yapılmıştır. Ayrıca baca çıkış noktasında bacadan çıkan hava üzerinde soğutucu etki yapması için geliştirilen bakır boru ile soğuk su sistemi uygulanmıştır. Bu uygulamalardan sonra 10.04.2011 tarihinde sıcaklık ve motorda oluşan güç miktarları gibi ölçümler alınmıştır. Güneş paneliyle oluşturulan hibrid sistem üzerine 11.04.2011 tarihinde tekrar deneyler yapıp ölçüm sonuçları alınmıştır.

14.04.2011-16.04.2011 tarihleri arasında ise güneş bacasının mevcut kollektör alanı artırma çalışması yapıp, sistemin performansına etkisini araştırmak için generatörün ürettiği güç değerleri gün içerisinde kayıt altına alınmıştır.

17.04.2011-15.05.2011 tarihleri arasında ise güneş bacası prototipi-1 ile yapılan çalışmaların tümü güneş bacası prototipi-2 üzerinde tekrarlanmıştır.

### 3.4. Ölçüm Noktaları

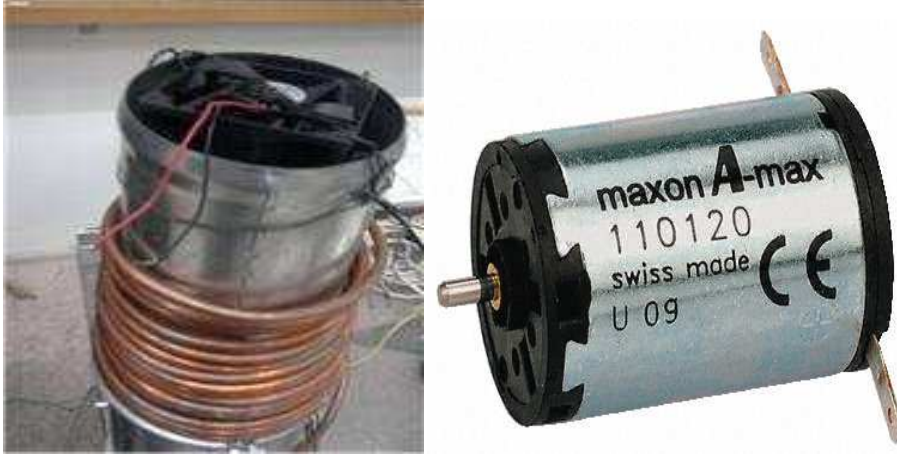
Deneyler esnasında kollektörde sensörlerin ölçüm yaptığı konumlar aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Şekil 3.9. Sıcaklık sensörlerinin güneş bacası zemininde ölçüm yaptığı noktalar.

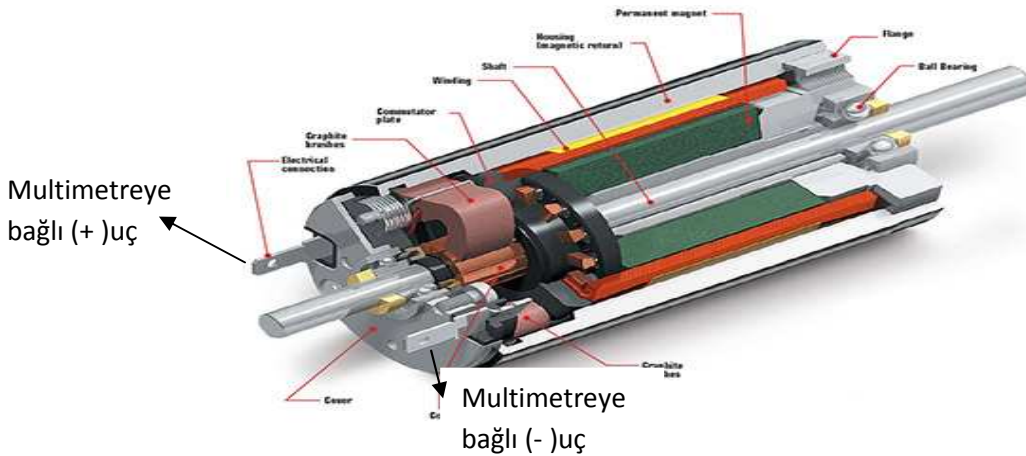
Kollektör içerisinde ölçüm için kullanılan sensörlere ait yerleşim şekilleri yukarıda Şekil 3.10' de görülmektedir.

Baca içerisinde oluşan hava akımının üreteceği güç miktarlarının ölçülebilmesi için bacayla aynı eksenli olacak ve hava akımına dik yerleştirilmiş pervanenin baca tepesindeki konumu Şekil 3.10' de gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Bacanın tepesine yerleştirilmiş pervane ve pervaneye bağlı generatör.

Generatörlerde elektromanyetik indüksiyon ile elektrik enerjisi üretilir. Oldukça basit bir çalışma yöntemi vardır. Elektromanyetik indüksiyon ile elektrik enerjisi üretilmiş olur. Küçük oyuncak arabalardaki elektrik motoruna benzer bir sistemdir. İçinde mıknatıslar bulunur. Bu mıknatısların ortasında da ince tellerle sarılmış bir bölüm bulunur. Pervane şaftı döndürdüğü zaman motor içindeki bu sarım bölgesi, etrafındaki mıknatısların ortasında dönmeye başlar. Bunun sonucunda da alternatif akım (AC) oluşur (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Generatörün iç tasarımı.



### 3.5. Gerçekleştirilen Deneysel Çalışma

#### 3.5.1. Kollektör Zeminine Siyah Boru Döşenmesi

Kollektör zemininin ısı tutum kapasitesinin arttırmak amacı ile yapılması öngörülen çalışmalardan biri olan zemine siyah boru döşenmesi için yaklaşık 50 metre siyah hortum kullanarak yapılmıştır. Siyah boru ile zemin ısı absorpsiyon özelliği artırılmıştır. Zemine siyah boru döşenmesi işlemi teorikte kolay ancak pratikte uygulanması oldukça zor olan bir işlemdir. Bunun sebebi ise kollektör örtüsü altında kalan alan içerisinde çalışmanın zor olmasıdır. Gün boyu sıcaklıkların yüksek olması sebebiyle boru döşenmesi akşam saatlerinde gerçekleştirilmiştir. Zemine siyah boru döşenmesi işleminden hemen sonra 20.03.2011 tarihinde bir günlük ölçüm yapılmıştır. Aşağıda Şekil 3.12.' de yapılan ölçümlerin siyah boru uygulanmadan önceki hali ile siyah boru uygulandıktan sonraki halleri karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



Şekil 3.12. Sağda siyah boru uygulaması solda önceki halde alınan ölçüm görüntüsü.

#### 3.5.2. Kolektör İçi Zeminine Sıcak Su Uygulanması

Güneş bacası prototipi üzerinde siyah boru uygulaması yapıp 20.03.2011 tarihinde istenen parametrelerin ölçümleri alındıktan sonra öngörülen ve yukarıda bahsedilen baca kollektör alanı içerisi sıcak su sisteminin uygulaması yapılmıştır.

Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında güneşin etkisini yitirdiği ve akşam ile gece durumlarında güneş bacasının performansında düşüşlerin olduğu bilinmektedir. Literatürde teorik olarak yapılan çalışmalarda azalan güç üretiminin artırılması için, güneş bacasının enerji üretiminin devamlılığını sağlamak ve performansını arttırmak için kollektör içerisinde toprağa göre daha iyi ısı tutumuna sahip olan sistemde kapalı çevrim olarak kullanılması düşünülmüştür. Gündüz gördüğü ışınım ile aldığı ısının günün ilerleyen saatlerinde sıcaklık farkından dolayı dışarı verip kollektör içerisinde ek ısı kaynağı elde edileceği belirtilmiştir.

Uygulanan sistemde kollektör içerisinde zemine uygulanacak su sistemi için ekonomik, yüksek sıcaklıklara dayanıklı, sistem dizaynından kaynaklanan sisteme uygulanabilirliği için kolay şekil alabilen, en az dönüş aralığına sahip flexible, sürtünme kayıplarının az olduğu, tarla sulamalarında kullanılan uzun ömürlü borular kullanılmıştır. Bu borular esnek yapısı ile küçük aralıklarla döşenebilmekte geniş sıcaklık çalışma aralığına sahip ve ısı verime artı sağlamaktadır. Aşağıdaki Şekil 3.13 'te sisteme uygulanması istenen boruların zemine döşenmesi görülmektedir. Bu sıcak su borularına temin edilen su, dışarıdaki balkona konulan istenilen kapasitedeki bir düzlem kolektör veya aynı çaptaki uzun hortum sistemleriyle temin edilerek sera altı sıcaklık daima kontrol altında tutulabilir. Bu mümkün olmadığı takdirde ısıtma alternatif yöntemlerle sağlanabilir. Örneğin, laboratuvar içi veya sera altı bölgesi yani bacanın giriş ucu bölgesi, yapay güneş yerine geçen ısıtıcılar ile ısıtma sağlanabilir.



**Şekil 3.13.** Siyah su hortumunun zemine döşenmiş haline örnek.

Güneş bacasında performans artırıcı yöntem olarak literatürde öngörülen bu sistem, yapılan bu yüksek lisans tezinde güneş bacası ile güneş panellerinin hibrid kullanımıyla biraz daha geliştirilerek, literatüre yeni bir katkı sağlaması düşünülmüştür.

Boruların zemine yerleştirilmesinden sonra boruların yerinden oynadığı görülmüş ve bunun için boruların yere sabitlenemeyeceği için birbirlerine bağlanmaları öngörülmüştür. Çelik, bükülebilir tel yardımıyla borular birbirine bağlanmış ve bu sayede sabit kalabilmeleri sağlanmıştır. Bu arada güneş bacasında su sistemine ısı sağlayacak, ek olarak kullanılacak gün ısı platformu, güneş kollektörlerinin sisteme dahil edilmesi öngörülmüştür. Ancak finans kaynaklarının yetersiz olmasından böyle bir sistemden vazgeçmek zorunda kalınmıştır. Sisteme sıcak su sağlamak için önceden ısıtılmış su, su pompası yardımıyla borulara aktararak boruların sıcak su dolmasıyla beraber borunun ucu tıpayla kapatılarak sıcak suyun siyah borular içinde kalması sağlanmıştır.

### **3.5.3. Güneş Bacası Tepesine Soğuk Su Sistemi Kurulması**

Güneş bacası kollektör zeminine siyah boru ile sıcak su uygulaması yapıldıktan sonra yine güneş bacasının performansını artırıcı yöntem olarak düşünülen güneş bacası tepesinin soğutulması yöntemi için sistem bakır boru ile prototipe eklendi. Normalde güneş bacası sistemlerinde baca tepe noktasından çıkan havanın sıcaklığı dış ortam sıcaklığına eşit kabul edilir (Zhou ve ark 2009). Burada baca performansının artırılması için baca çekişinin iyi olması gerekir, onun için ise baca girişi ile baca çıkışı arasında sıcaklık farkının artırılmasını sağlamak amacıyla baca tepesinde bakır boru ile soğuk su sistemi kullanılmıştır. Soğuk su sistemi ile baca girişi ile baca çıkışındaki sıcaklık farkı artmış olacak, sıcaklık farkının fazlalığı baca içerisinde akış halinde olan havaya hız kazandıracaktır. Aşağıda Şekil 3.14 'de bakır boru ile soğuk su sistemi görülmektedir.



**Şekil 3.14.** Baca tepesindeki soğutucu bakır borunun görüntüsü.



**Şekil 3.15.** Baca tepesinin soğutulması.

Şekil soğuk su sisteminde kullanılan su önceden oluşturulmuş buz kalıplarının su dolu kovaya bırakılıp bir süre bekledikten sonra suyun soğuyup bacanın tepesine gönderilmesiyle sağlanmıştır. Soğuyan suyun baca tepesine gönderilmesi için su pompası kullanılmıştır. Su pompasının çalışabilmesi içinde gerekli elektrik enerjisi laboratuvarımızda bulunan güneş panelinin ürettiği elektrik enerjisinin jel tipi aküde depolanarak konverter yardımıyla sağlanmıştır (Şekil 3.17). Proje kapsamında alınan

konverter 12 voltluk jel tipi aküdeki direkt akımı 220 voltluk alternatif akıma çevirerek su pompasının çalışmasını sağlamıştır (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Su pompası resmi.



Şekil 3.17. Converter resmi.

#### 3.5.4. Güneş Bacası Kollektör Alanının Arttırılması

Performans artırıcı yöntemlerden biri olan kollektör alanı artırımının sağlanabilmesi için kollektör geçirgen malzemesi olarak kullanılan saydam sera naylonu sera dilimleri genişliğinde kesilip hava akışını engellemek için özel yapıştırıcı ile sera alanına monte edilmiştir. Güneş bacası sera alanı ile yeni olarak eklenecek sera alanı arasında hava kaçışını engellemek için özel yapıştırıcı kullanılmıştır. Bu durum Şekil 3.13' de görülmektedir.

Ek kollektör alanı yapım aşamasında yapılan sera alanı büyütmesi 1m' dir. Yarıçapı 1,7m olan kollektörün yarıçapı 2 m' ye çıkarılmıştır. Ek kollektör alanı aşağıdaki Şekil 3.18' deki gibi oluşturulmuştur.



**Şekil 3.18.** Kollektör alanının arttırılması.

Ek kollektör alanı inşası ile 15.05.2011 tarihine kadar baca içerisinde hava hızı değerlerine göre multimetre de ölçülen değerler alınmış ve kaydedilmiştir. Laboratuvarımızdaki prototip için kollektör alanı arttırılması kuzey yönündeki 1-inci ve 8-inci dilimlerine uygulanmıştır. Aslında güneş bacası sisteminin daha verimli olabilmesi için performans artışında daha iyi değerlerin elde edilebilmesi için tüm kollektör dilimlerine aynı şekilde uygulanması gerekmektedir. Ama laboratuvarımızın buna elverişli olmaması nedeniyle sadece iki dilim alanının arttırılmasıyla deneyimizi gerçekleştirmiş olduk.

#### **3.5.5. Farklı Boyutlardaki Bacaların Kullanılması**

Deneyimizde iki farklı güneş bacası prototipi oluşturulmuştur. Ama deney laboratuvarında yapıldığı için ve laboratuvar yüksekliğini değiştirmek mümkün olmadığından bacaların yükseklikleri aynı kalmıştır.

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Yapılan deney çalışma günleri 15.10.2010, 19.03.2011-04.04.2011, 05.04.2011-09.04.2011, 10.04.2011-13.04.2011, 14.04.2011-16.04.2011, 16.04.2011, 17.04.2011-15.05.2011 dir. Yapılan ölçümlerin konumlandırılması materyal metod bölümünde belirtildiği gibidir. Gün içerisinde güneş ışımalarının etkisini yitirmesi ile güneş bacasında oluşan hava hızı düşüşleri dolayısıyla güç düşüşlerini önlemek amacıyla çeşitli performans artırıcı yöntemler bu çalışmada uygulanmıştır. Deney esnasında alınan ölçümlerde sera sıcaklığı, baca tepesi sıcaklık, ve multimetre de okunan veriler onar dakikalık aralıklarla kaydedilmiş ortalama değerlerdir. Piyasa araştırması ve taslak çizimlerle beraber yaklaşık on ay gibi bir zamanda oluşturulan güneş bacası prototipi üzerinde 15.10.2010 tarihinde yapılması öngörülen deneyler yapılmadan sadece güneş bacası elemanları ile yapılan deneyler sonucu alınan ölçümler Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1' de grafik halinde gösterilmiştir. Güneş bacası sistemi elemanlarıyla yapılan çalışma sonuçlarına göre sistem üzerinde yapılması öngörülen çalışmalar belirlenmiştir. Çalışmalar sonunda alınan ölçümler, güneş bacası elemanlarıyla yapılan deney sonuçlarına göre karşılaştırılmıştır. Deneyde baca çıkış kısmına yerleştirdiğimiz generatöre bağlı türbini baca içerisinde oluşan hava akımı ile döndürmekle güç elde edilmiştir. Bu güç aşağıdaki bağıntı ile ifade edilmektedir. Pervanenin dönmesiyle oluşan güç iletken tel yardımıyla bir ucu kontrollü çalıştırılabilen generatöre diğer ucu ise multimetre ye bağlanarak ölçülebilmektedir(Şekil 3.9 ve 3.13)

$$P = (1/2) \rho A V r^3$$

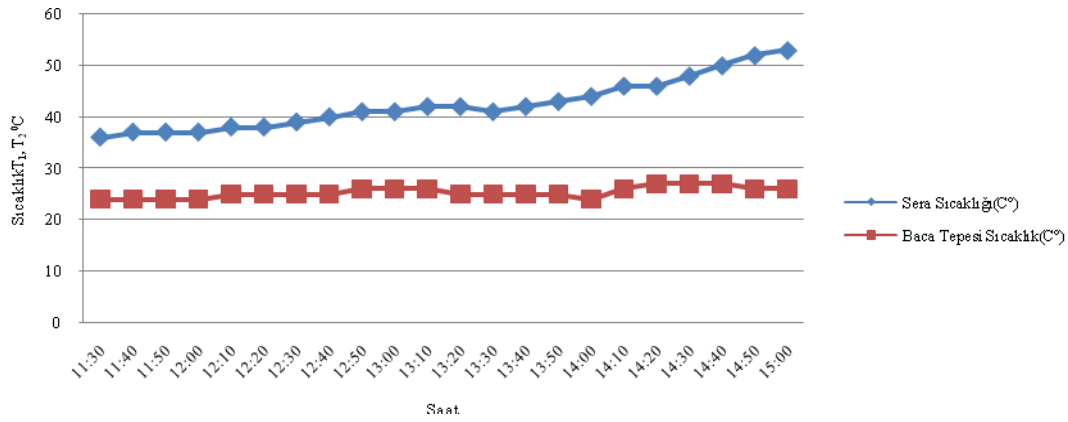
Burada,  $P$  (watt biriminde) güç,  $A$  pervanenin taradığı yüzölçümü ( $m^2$ ) ( $A = \pi R^2$ ,  $R$  pervane yarıçapı) ve  $V_r$  de (metre/saniye biriminde ) rüzgâr hızıdır.  $1 \text{ m/s} = 3.6 \text{ km/saat}$  olarak yazabiliriz. Burada  $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$  havanın deniz seviyesindeki yoğunluğudur.

Kollektör alanı içerisinde ölçülen sıcaklık değerleri, baca tepesinde ölçülen sıcaklık değerleri ve multimetre de ölçülen minimum maksimum değerler Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1 de verilmiştir.

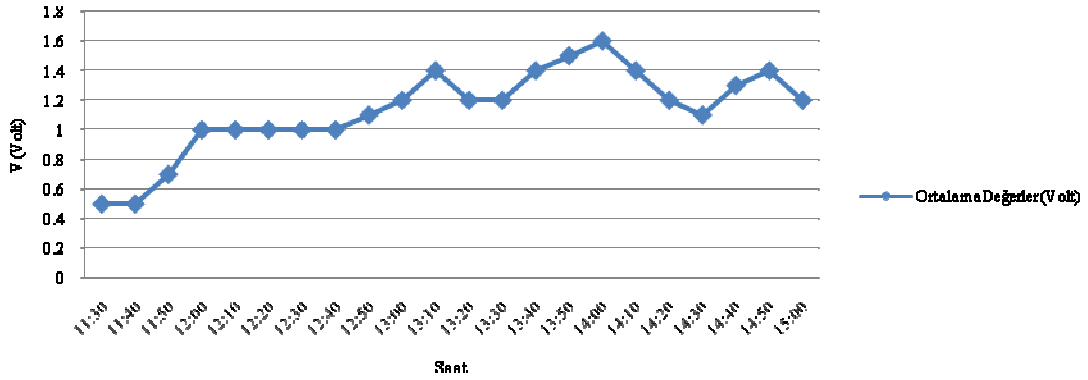


**Çizelge 4.1.** 15.10.2010 tarihinde 11:00-15:00 saatleri arasında yapılan deneylerde 10' ar dakikalık aralıklarla alınan ölçümlerin gösterilmesi

Saat	Sera Sıcaklığı(T <sub>1</sub> )	Baca Tepesi Sıcaklık(T <sub>2</sub> )	Ortalama Değerler(Volt)
11:30	36	24	0,5
11:40	37	24	0,5
11:50	37	24	0,7
12:00	37	24	1
12:10	38	25	1
12:20	38	25	1,1
12:30	39	25	1
12:40	40	25	1
12:50	41	26	1,1
13:00	41	26	1,2
13:10	42	26	1,4
13:20	42	25	1,2
13:30	41	25	1,2
13:40	42	25	1,4
13:50	43	25	1,5
14:00	44	24	1,6
14:10	46	26	1,4
14:20	46	27	1,2
14:30	48	27	1,1
14:40	50	27	1,3
14:50	52	26	1,4
15:00	53	26	1,2







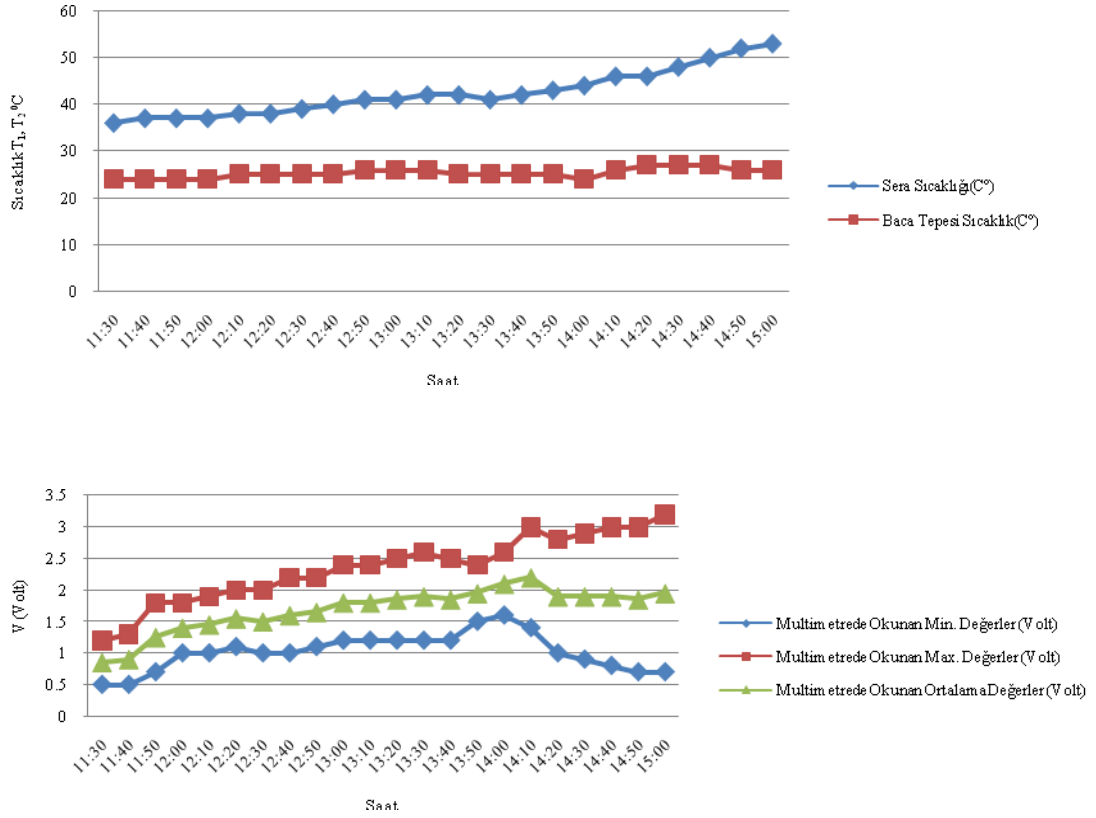
**Şekil 4.1.** 15.10.2010 baca tepesi ve sera sıcaklığı ile multimetre de okunan değerlerin değişim grafiği.

Grafikler sıcaklık değerleri ve multimetre de okunan değerler olarak iki farklı şekilde gösterilmiştir. Yukarıda görüldüğü üzere 15.10.2010 tarihinde yapılan deney esnasında 11:30 ile 15:00 saatleri arasında kollektörde ölçülen sıcaklıklar ve baca tepesinde bulunan generatöre bağlı olan multimetre de okunan değerlerdir. Baca tepesi soğutulmadığı için baca tepesi sıcaklığının dış ortam sıcaklığına eşit olduğu görülmektedir. Sistem elemanları bir araya getirildikten sonra yapılan ilk ölçümde alınan sonuçlardır. Sonuçlara göre yapılmasını öngördüğümüz çalışmaları sırasıyla yaparak değişen değerleri kaydettik. Tabi 2010 yılının ekim ayında yaptığımız ilk ölçümlerden sonra kış ayı içerisinde 2011 yılının mart ayına kadar yapılması öngörülen çalışmalar üzerinde teorik olarak çalışılmıştır.

Ölçülen değerler Çizelge 4.2. de verilmiştir. Şekil 4.2 de 19.03.2011 ile 04.04.2011 tarihlerindeki güneş bacası zeminine siyah boru sıcak su uygulaması yapıldıktan sonra alınan ölçümlerin değişim grafiğidir.

**Çizelge 4.2.** 19.03.2011-04.04.2011 tarihleri arasında deney esnasında ölçülen sera sıcakları, baca tepesi sıcaklık değişimleri ve multimetre de ölçülen maksimum, minimum değerler ve bunların ortalama değerleri

Saat	Sera Sıcaklığı(T <sub>1</sub> )	Baca Tepesi Sıcaklık(T <sub>2</sub> )	Multimetrede Okunan Değerler (Volt)		
			Min.	Max.	Ortalama
11:30	36	24	0,5	1,2	0,85
11:40	37	24	0,5	1,3	0,9
11:50	37	24	0,7	1,8	1,25
12:00	37	24	1	1,8	1,4
12:10	38	25	1	1,9	1,45
12:20	38	25	1,1	2	1,55
12:30	39	25	1	2	1,5
12:40	40	25	1	2,2	1,6
12:50	41	26	1,1	2,2	1,65
13:00	41	26	1,2	2,4	1,8
13:10	42	26	1,2	2,4	1,8
13:20	42	25	1,2	2,5	1,85
13:30	41	25	1,2	2,6	1,9
13:40	42	25	1,2	2,5	1,85
13:50	43	25	1,5	2,4	1,95
14:00	44	24	1,6	2,6	2,1
14:10	46	26	1,4	3	2,2
14:20	46	27	1	2,8	1,9
14:30	48	27	0,9	2,9	1,9
14:40	50	27	0,8	3	1,9
14:50	52	26	0,7	3	1,85
15:00	53	26	0,7	3,2	1,95

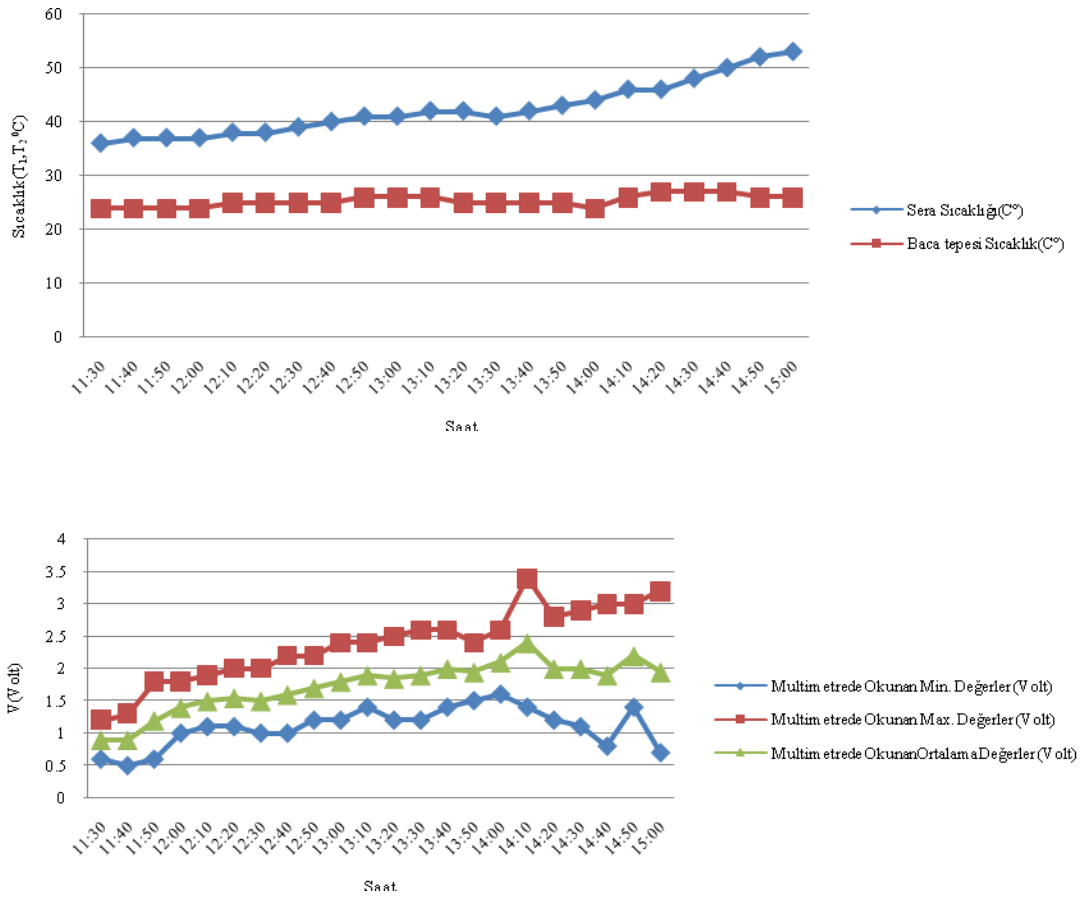


**Şekil 4.2.** 19.03.2011 ile 04.04.2011 sera ve baca sıcaklığı ile multimetre de okunan maksimum, minimum ve bunların ortalaması değerlerin değişim grafiği.

Baca zeminine siyah boru döşenmesinden sonra alınan ölçümlerde kollektör sıcaklığının giderek arttığı görülmektedir. Ölçümlerimiz 11:30 ile 15:00 saatleri arasında olduğundan grafikte 15:00' ten sonraki sıcaklık değerleri görülmemektedir. Aslında saat 15:00' ten sonra sıcaklık değerlerinin biraz daha arttığı ve saat 17:00 dan sonra belli bir süre sabit kaldığı gözlenmiştir. Baca zeminine siyah boruların döşenmesiyle zeminin siyah renkte olması sağlanmış ve içerisinden geçirilen sıcak su zeminin absorpsiyon katsayısını arttırmış uzun süre zeminin sıcak kalması sağlanmıştır. Baca zeminine siyah boru döşenmesinden sonra boruların içerisine pompa vasıtasıyla sıcak su göndererek kapalı bir sistem oluşturulmuş, güneş bacası zeminin sıcaklığı artırılmış ve multimetre de okunan değerlerde artma olduğu gözlenmiştir. Çizelge 4.3 de okunan değerler verilmiş ve Şekil 4.3 te grafiklerle gösterilmiştir.

**Çizelge 4.3.** 05.04.2011-10.04.2011 tarihleri arasında deney esnasında ölçülen sera sıcaklığı, baca tepesi sıcaklık ve multimetre de okunan maksimum, minimum değerler ve bunların ortalama değerleri

Saat	Sera Sıcaklığı(T <sub>1</sub> )	Baca Tepesi Sıcaklık(T <sub>2</sub> )	Multimetrede Okunan Değerler (Volt)		
			Max.	Min.	Ortalama
11:30	36	24	0,6	1,2	0,9
11:40	37	24	0,5	1,3	0,9
11:50	37	24	0,6	1,8	1,2
12:00	37	24	1	1,8	1,4
12:10	38	25	1,1	1,9	1,5
12:20	38	25	1,1	2	1,55
12:30	39	25	1	2	1,5
12:40	40	25	1	2,2	1,6
12:50	41	26	1,2	2,2	1,7
13:00	41	26	1,2	2,4	1,8
13:10	42	26	1,4	2,4	1,9
13:20	42	25	1,2	2,5	1,85
13:30	41	25	1,2	2,6	1,9
13:40	42	25	1,4	2,6	2
13:50	43	25	1,5	2,4	1,95
14:00	44	24	1,6	2,6	2,1
14:10	46	26	1,4	3,4	2,4
14:20	46	27	1,2	2,8	2
14:30	48	27	1,1	2,9	2
14:40	50	27	0,8	3	1,9
14:50	52	26	1,4	3	2,2
15:00	53	26	0,7	3,2	1,95



**Şekil 4.3.** 05.04.2011 ve 10.04.2011 sera ve baca tepesi sıcaklığı ile multimetre de okunan maksimum, minimum değerler ve ortalama değerlerinin değişim grafiği.

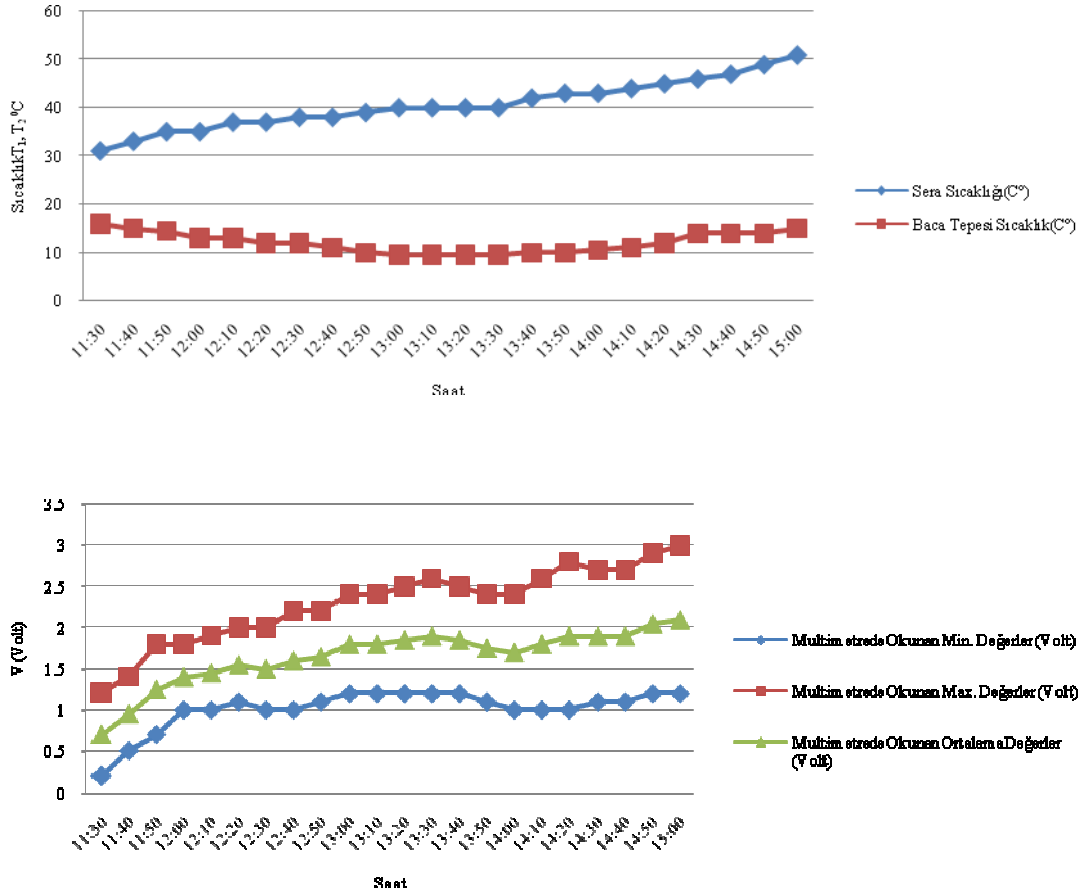
Şekilden de görüldüğü gibi baca tepesi sıcaklığı soğuk su sisteminin daha kurulmamış olmasından dolayı oda sıcaklığına eşit ölçülmektedir. Zemin sıcaklığı 11:30 ile 15:00 saatleri arasında sadece siyah boru uygulandığındaki zemin sıcaklığına eşit olduğu yaklaşık olarak görülmektedir. Sadece siyah boru varken zemin sıcaklığı saat 17:00' a doğru azalmaya başlarken sıcak su uygulaması ile kapalı bir sistemin oluşturulmasıyla zemin sıcaklığının saat 19:00' larda azalmaya başladığı görülmüştür. Bu sonuç güneş battıktan sonrada sistemin çalışmaya devam edeceğini göstermektedir. Daha uzun ve kalın sıcak su depolama boruları kullanılarak bu süre saat 24:00 a doğru uzatılabilir. Buradan teoriyle deneysel çalışmamızın uyuştugu söylenebilir (Zhou vd, 2009).

10.04.2011 tarihinden sonra 14.04.2011 tarihine kadar baca zeminine döşenmiş siyah borular alınmadan baca tepesine soğuk su sistemi monte edilerek deneyler

yapılmıştır. Deneyde saat 10:00 da baca tepesi soğutulmaya başlanmış ve saat 11:00 den sonra alınan ölçümler kaydedilmiştir. Yapılan deneylerde alınan ölçümler Çizelge 4.4 ve grafik şeklinde Şekil 4.4 'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.4.** 10.04.2011-14.04.2011 tarihleri arasında deney esnasında ölçülen sera sıcaklığı, baca tepesi sıcaklık, multimetre de okunan maksimum, minimum değerler ve bunların ortalama değerleri

Saat	Sera Sıcaklığı( $T_1$ )	Baca Tepesi Sıcaklık( $T_2$ )	Multimetrede Okunan Değerler (Volt)		
			Min.	Max.	Ortalama
11:30	31	16	0,2	1,2	0,7
11:40	33	15	0,5	1,4	0,95
11:50	35	14,5	0,7	1,8	1,25
12:00	35	13	1	1,8	1,4
12:10	37	13	1	1,9	1,45
12:20	37	12	1,1	2	1,55
12:30	38	12	1	2	1,5
12:40	38	11	1	2,2	1,6
12:50	39	10	1,1	2,2	1,65
13:00	40	9,5	1,2	2,4	1,8
13:10	40	9,5	1,2	2,4	1,8
13:20	40	9,5	1,2	2,5	1,85
13:30	40	9,5	1,2	2,6	1,9
13:40	42	10	1,2	2,5	1,85
13:50	43	10	1,1	2,4	1,75
14:00	43	10,5	1	2,4	1,7
14:10	44	11	1	2,6	1,8
14:20	45	12	1	2,8	1,9
14:30	46	14	1,1	2,7	1,9
14:40	47	14	1,1	2,7	1,9
14:50	49	14	1,2	2,9	2,05
15:00	51	15	1,2	3	2,1



**Şekil 4.4.** 10.04.2011 ve 14.04.2011 sera ve baca tepesi ile multimetre de okunan maksimum, minimum ve bunların ortalama değerlerinin değişim grafiği.

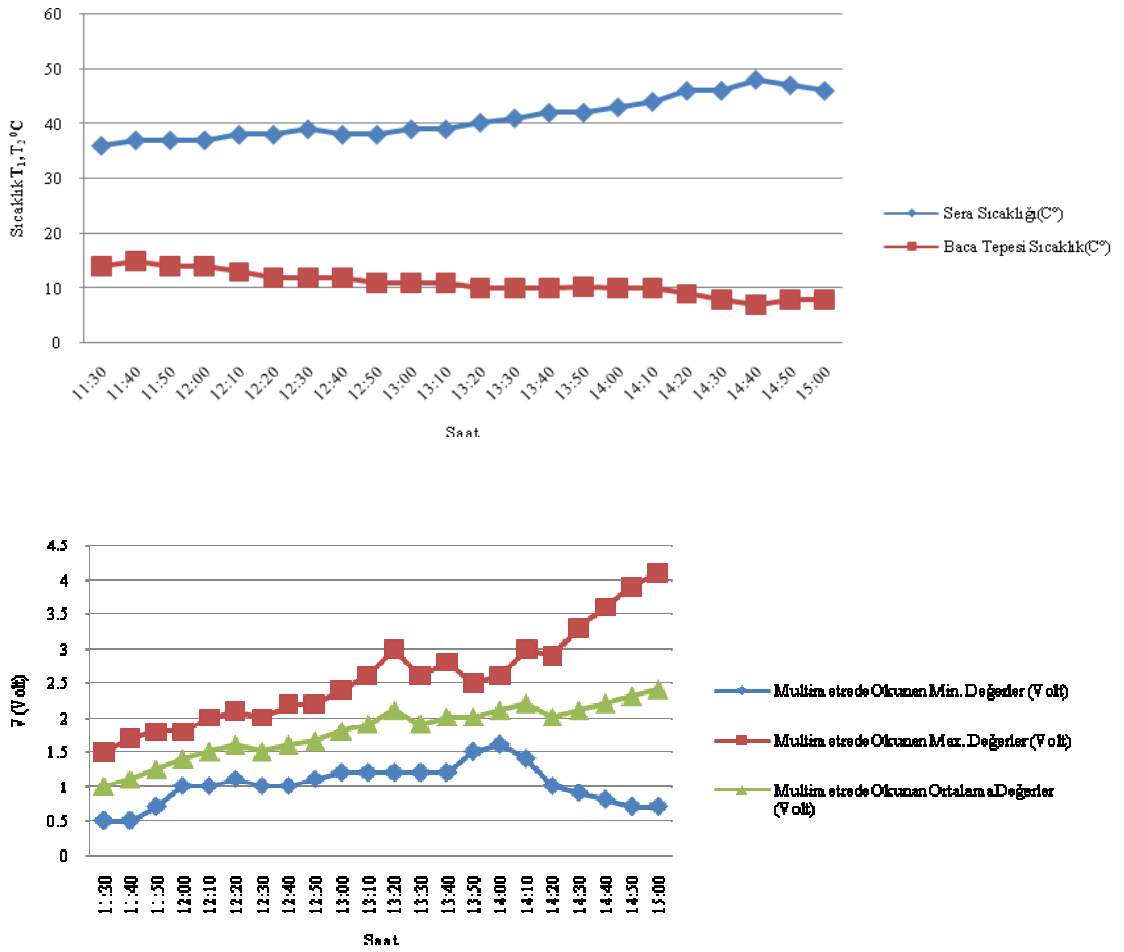
Baca tepesinin soğutulmasıyla baca tepesi sıcaklığın  $8^{\circ}\text{C}$ ' ye kadar düştüğü gözlenmiştir. Baca tepesi sıcaklık ile zemin sıcaklığı arasındaki fark arttıkça multimetre de okunan değer de artmaktadır. Üç gün boyunca yapılan deneyde multimetre de okunan maksimum ve minimum değerler kaydedilmiş ve bunların ortalama değerleri hesaplanmıştır. Baca tepesi sıcaklığın belli bir değerden sonra tekrar yükselmesi ortam sıcaklığının giderek artmasıyla baca tepesinin soğumasını sağlayan buzların eriyerek suyun ısınmasından kaynaklanmaktadır. Sisteme soğuk su sağlayan suyun bulunduğu kabın sisteme yakın olması bacanın tepesine suyu götüren boruların kısa olmasından kaynaklanmaktadır. Baca tepesine soğuk su sisteminin kurulmasıyla sıcaklık farkı artırılmış bu sayede baca içerisinde akış halinde olan havaya hız kazandırılmıştır. Bacanın tepesine monte edilmiş motora bağlı pervanenin dakikada daha fazla dönmesiyle ve bunun sonucu multimetre de okunan değerlerin artmasıyla havanın

hızının arttığını söyleyebiliriz. Multimetre de okunan değerlerde biraz daha artış olmasını bekliyorduk ama baca yüksekliğinin daha fazla arttırılamaması sıcak soğuk farkının ne kadar fazla olursa olsun baca yüksekliğinin önemli olduğunu bize göstermiş oldu. Baca tepesinin soğutulmasıyla multimetre de okunan değerlerde %10'luk bir artış olduğu gözlenmiştir. 15.04.2011 tarihinden 05.05.2011 tarihine kadar deneyimiz güneş bacası kollektör alanının arttırılmasıyla devam etti. Alınan ölçümler Çizelge 4.5. de verilmiş ve grafik halinde Şekil 4.5' de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.5.** 15.04.2011-05.05.2011 tarihleri arasında deney esnasında ölçülen sera sıcaklığı, soğutulması sağlanan baca tepesi sıcaklık değişimleri, multimetre de okunan maksimum, minimum değerler ve bunların ortalama değerleri

Saat	Sera Sıcaklığı(T <sub>1</sub> )	Baca Tepesi Sıcaklık(T <sub>2</sub> )	Multimetrede Okunan Değerler (Volt)		
			Max.	Min.	Ortalama
11:30	36	14	0,5	1,5	1
11:40	37	15	0,5	1,7	1,1
11:50	37	14	0,7	1,8	1,25
12:00	37	14	1	1,8	1,4
12:10	38	13	1	2	1,5
12:20	38	12	1,1	2,1	1,6
12:30	39	12	1	2	1,5
12:40	38	12	1	2,2	1,6
12:50	38	11	1,1	2,2	1,65
13:00	39	11	1,2	2,4	1,8
13:10	39	11	1,2	2,6	1,9
13:20	40,2	10,1	1,2	3	2,1
13:30	41	10,1	1,2	2,6	1,9
13:40	42	10,1	1,2	2,8	2
13:50	42	10,3	1,5	2,5	2
14:00	43	10	1,6	2,6	2,1
14:10	44	10	1,4	3	2,2
14:20	46	9	1	2,9	2
14:30	46	8	0,9	3,3	2,1
14:40	48	7	0,8	6	2,2
14:50	47	8	0,7	6	2,3
15:00	46	8	0,7	4,1	2,4





**Şekil 4.5.** 15.04.2011 ve 05.05.2011 sera ve baca tepesi ile multimetre de okunan maksimum, minimum ve bunların ortalama değerlerinin değişim grafiği.

Laboratuvar şartlarında deneyimiz gerçekleştiği için ve alanın dar olmasından dolayı kollektör alanının sadece iki diliminin artırılmasıyla yapılan bu çalışmada ölçülen değerlerin çok fazla değişmediği görülmüştür. Aslında bu beklediğimiz bir sonuçtu. Kollektör alanının artırılması daha fazla sıcak havanın hapsedilmesine ve bu hapsedilmiş hava moleküllerinin yükselmek istemesiyle kinetik enerjilerinin artması beklenmiştir. Güneş bacası kollektör alanının artırılmasıyla sistemde %7' lik bir fark gözlenmiştir. Tüm bu çalışmalar 05.05.2011 tarihinden 20.05.2011 tarihine kadar güneş bacası prototipi-2 üzerinde uygulanmış ve ölçülen değerlerde çok fazla farkın olmadığı gözlenmiştir. Bu sonuç bize güneş bacasında baca yüksekliğinin önemli bir parametre olduğunu göstermiştir.

### 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada laboratuvar şartlarında güneş bacası prototipi oluşturularak sistem performansını etkileyen parametreler belirlenerek sistem performansının artırılmasına yönelik çalışmalar incelenmiştir. Bu amaçla sistem üzerinde sırasıyla aşağıdaki çalışmalar yapılmıştır: Baca kollektör zeminine siyah boru döşenmesi. Kollektör içi zemin üzeri sıcak su sistemi uygulanması. Baca tepesine bakır boru ile soğuk su sistemi uygulaması. Kollektör alanı artırım uygulaması. Güneş bacası ile güneş panelleri sistemlerinin bir araya getirilerek hibrid sistem uygulamasının yapılması.

Yapılan çalışmalardan bir tanesi olan baca kollektör zeminine siyah boru döşenmesi neticesinde kollektör iç sıcaklığında artış gözlenmesine rağmen sistem performansında bir artış gözlenmemiştir. Bunun nedeni kollektöre giren hava sıcaklığı artmış olup, hava debisinin düşük kalmasıdır. Baca kollektör zeminine döşenen siyah boruların içerisine pompa vasıtasıyla sıcak su gönderilmesi neticesinde zeminin siyah boru döşenmesi sonucu ile karşılaştırıldığında akışkan hareket halinde olmadan sistem performansında % 6,5 artış sağlanmıştır. Baca tepesine bakır boru ile monte edilen soğuk su sistemi baca performansında %9' luk bir artış sağlamıştır. Aslında bu değer baca yüksekliğinin artırılmasıyla daha yüksek olabilirdi. Kollektör alanının artırılması baca performansına bir miktar katkıda bulunmuştur. Tam verimin alınamamasının sebebi kollektör dilimlerinin hepsinin yeterince arttırılamamasındandır. Ayrıca sistem siyah borular ve sıcak su uygulaması ile birlikte gece periyotlarında da etkin olarak çalışmıştır. Bacanın akşam bile düşük kapasitede verimli bir şekilde çalışmaya devam etmesini sağlamıştır. Güneş bacası ile güneş panellerinin bir arada uygulanarak hibrid bir sistem oluşturulmasıyla sistem için gerekli enerji panellerde elde edilen enerjinin akülere depolanarak kullanılmasıyla verime büyük bir katkı sağlamıştır.

Verimliliğin düşük olmasının büyük sebeplerinden biri baca giriş ağzında akışın yukarı yönlü hareketini kolaylaştırmak için akış düzenlemesinin yapılmamasıdır.

Yapılan çalışma; ülke enerji açığının azaltılmasına yönelik çabalara bir örnek teşkil etmekte ve yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilginin artmasına katkı sağlamaktadır. Konu ile ilgili yeterince yerli çalışma ve uygulamanın olmadığı literatüre de bir katkı sağlayacağı açıktır. Bölgemizin güneş bakımından zengin olmasından dolayı güneş bacası sistemi daha büyük ölçekte doğa şartlarında uygulanarak enerji

açığının azalmasına bir katkı sağlanabilir. Ayrıca alternatif enerji kaynaklarını kullanarak enerji eldesi uygulamaları sayesinde hem dışa bağımlılık azaltılabilir hem de insanın çevreye göstermesi gereken saygı arttırılabilir.

Yapılan teorik hesaplamalar ve deneysel çalışmalar sonucunda; yapay enerji kaynaklarından (güneşten) gelen ışınım şiddeti arttıkça toplayıcı seranın alt kısmındaki zemin ve iç hava sıcaklıklarının arttığı zemin sıcaklığının öğleden sonra nispeten kararlı bir yapıya kavuştuğu görülmüştür. Ve bunun etkisi ile sistem üzerine gönderilen yapay güneş ışınlarının kesilmesinden sonra bile düşük kapasitede çalışmasını sürdürdüğü görülmüştür.

$$\eta_{koll} = \frac{m\Delta T c_p}{GA_{koll}} = \frac{\Delta t c_p V_k A_k g_{koll}}{GA_{koll}}$$

$$g_{koll} = 1,1614 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{koll} = 0,56 \text{ m/sn}$$

$$A_{koll} = 0,4 \text{ m}^2$$

$$C_p = 1005 \text{ j/kgK}$$

$$\eta_{koll} = 0,48$$

$$\Delta t = 38 - 28 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$A_{koll} = 9,075 \text{ m}^2$$

$$G = 600 \text{ W/m}^2$$

$$\eta_{baca} = \frac{gHgb}{t_0 C_p}$$

$$g = 1,0931 \text{ kg/m}^3$$

$$H_{gb} = 4 \text{ m}$$

$$\eta_{baca} = 0,0013$$

$$C_p = 1005 \text{ J/kgK}$$

$$t_0 = 300 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$\eta_{sistem} = \eta_{baca} * \eta_{koll} = 0,000624$$

Baca veriminin çok düşük çıkmasının sebebi verim için kullandığımız teorik formülün baca boyuyla doğru orantılı olmasıdır. Aslında literatürdeki çalışmalarda sera sıcaklığı ile baca tepesi sıcaklık arasındaki sıcaklık farkı çok önemsenmemektedir. Bizim çalışmamız laboratuvar şartlarında olduğundan ve baca yüksekliğini 4m' den fazla

arttıramadığımızdan ama buna karşılık baca tepesini soğutarak sera sıcaklığı ile sıcaklık farkı arttırılmış olduğundan aslında bacanın verimi üstteki sonuçtaki değer kadar küçük değildir. Deney sonuçları yorumlandığında güneş bacası elektrik üretim gücünün direkt olarak bölge güneş verilerine, toplayıcı sera alanının büyüklüğüne ve baca yüksekliğine bağlı olduğu görülmüştür. D.Ü. güneş bacası güç üretiminin güneş ışınımının iklimsel değişimine göre aylık yaklaşık toplam enerji miktarının yaklaşık 3 ila 12 kWh arasında olduğu tespit edilmiştir. Daha büyük maddi kaynaklı projelerde, baca yüksekliği 250 m-1000 m ve büyük sera alanına sahip (500 m -3000 m çaplarında), 100 kW dan 100 MW a kadar değişen güçlerde elektrik üretimi yapabilen güneş bacası sistemleri geliştirilebilir.

## 6. KAYNAKLAR

Arslan T., Aydınol M. Electric Generation by Solar Power Chimney (Model Study). 2<sup>nd</sup> Int. Conf. Nuclear&Renewable Energy Resources, Gazi Üniversitesi, 2010, Ankara. S, 967-972.

Aydınol M., Arslan T. Güneş bacası yardımıyla laboratuvar şartlarında elektrik üretimi (Model Çalışma). I.Uluslararası Katılımlı Kamu-Sanayi İşbirliği Sempozyumu ve Mermencilik Şurası (UDUSIS), Dicle Üniversitesi, 2010, Diyarbakır. S, 539-543.

Aydınol M., 2003. Güneş Enerjisi İle Damıtık Su Elde Edilmesi, Güneş Enerjisi Sistemleri Sergisi ve Sempozyumu.2003. Mersin Makine Mühendisleri Odası S, 117-128.

Bernardes, M.A., Voss, A., Weinrebe, G., 2003. Thermal and technical analyses of solar chimneys, Solar Energy, 75, S, 511-524.

Bernardes, M.A., 2004. Technische, ökonomische und ökologische Analyse von Aufwindkraftwerken, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart, 230s. Stuttgart.

Bernardes, M.A., Theodor, W. V. B., Kröger, D. G. 2009, Analysis of some available heat transfer coefficients applicable to solar chimney power plant collectors. Solar Energy, Volume83, 267-275.

Dai, Y.J., Huang, H.B., Wang, R.Z., 2003. Case study of solar chimney power plants in Northwestern regions of China. Renewable Energy, S, 1295-1304.

Devlet Meteroloji İşleri Genel Müdürlüğü, 2010. Erişim:  
Erişim Tarihi:14.03.2009

Florida University, 2005. Solar Energy and Energy Conversion Laboratory. Erişim:  
<http://seecl.mae.ufl.edu>. Erişim Tarihi: 10.04.2011.

Fluri, T.P., Backström, T., W., V., 2008. Performance analysis of the power conversion unit of a solar chimney power plant. Solar Energy, S, 999-1008.

Fluri, T., P., Pretorius J.P., Van Dyk C., Von Backström T.W., Kröger D.G., Van Zijl, G.P.A.G., 2009. Cost analysis of solar chimney power plants. Solar Energy. S, 246-256.

Güven,Ş.Y., Üçgül,İ., Şenol,R., 2004. Güneş Enerjisi Isıl Uygulamaları ve Güneş Kulelerinin İncelenmesi. Haziran 2004, Cilt 45, Sayı: 533,Ankara,S, 17-28.

J.A. Duffie, W.A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Process. John Wiley&Sons  
Bauhaus Universitaet Weimar, 2008. Erişim: <http://www.uni-weimar.de/>.

Erişim Tarihi: 14.03.2011.

J.F. Manwell, J.G.McGowan, A.L.Rogers, Wind Energy Explained “Theory, Design and Application, J.Wiley&Sons Ltd., 2008.

Kara, Ö., 2002. Yükselen hava akımlı rüzgar türbinleri İzmir uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir. 81.

Ketlogetswe, C., Fiszdon, J. K., Seabe, O. O., 2008. Solar chimney power generation project—The case for Botswana. Renewable and Sustainable Energy Reviews, S, 2005-2012.

Koyun, A., Üçgül, İ., Acar, M., 2005. Güneş Bacası İle Elektrik Üretim Sisteminin Tasarımı, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları /Enerji Yönetimi Sempozyumu, 03-04 Haziran 2005, Kayseri.

Koyun, A., 2006. Güneş bacası ile enerji üretiminin incelenmesi. Doktora Tezi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta. 142.

Ming T., Liu W., Pan Y., Xu G., 2008. Numerical analysis of flow and heat transfer characteristics in solar chimney power plants with energy storage layer. Energy Conversion and Management. V49, S, 2872-2879.

Nizetic, S., Ninic, N., Klarin, B., 2008. Analysis and feasibility of implementing solar chimney power plants in the Mediterranean region. Energy Volume 33, S, 1680-1690.

Pasumarthi, N., Sherif, S.A., 1998. Experimental and theoretical performance of a demonstration solar chimney model Part I: Mathematical model development. International Journal Energy Research, 22, 277-288.

Petela, R., 2009. Thermodynamic study of a simplified model of the solar chimney power plant. Solar Energy, V94, S, 94-107.

SBP, Schlaich Bergermann und Partner, 2006. Erişimi: <http://www.sbp.de>

Erişim Tarihi: 15.03.2011

Schlaich, J., 1995. The Solar Chimney. Edition Axel Menges, Stuttgart. S, 55.

Schlaich, J., Partner., 2004, Das Aufwindkraftwerk – Wasserkraftwerk der Wüste. Nova Acta Leopoldina NF 91, Nr. 339, S.117-141

Süleyman Demirel Üniversitesi, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi, 2008. Erişim: <http://yekarum.sdu.edu.tr>. Erişim Tarihi: 06.09.2010.

U.S. Department of Energy, 2008. İnternet sitesi:

[http://www.eere.energy.gov/power/pdfs/solar\\_tower.pdf](http://www.eere.energy.gov/power/pdfs/solar_tower.pdf) . Erişim Tarihi: 18.10.2010.

Üçgöl, İ., 2005. Güneş Bacası ile Elektrik Enerjisi Üretilmesi.

V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Bildiriler kitabı. S 227-231.

Zhou, X., Yang, J., Xiao, B., Hou, G., 2007. Simulation of a pilot solar chimney thermal power generating equipment. *Renewable Energy*, V32, S1637-1644.

Zhou, X., Yang, J., Xiao, B., Hou, G., Xing, F., 2009. Analysis of chimney height for solar chimney power plant. *Applied Thermal Engineering*, Volume 29, S178–185.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Tayfun ARSLAN

Doğum Yeri ve Yılı: AYDIN, 1985

Medeni Hali: Bekar

Yabancı Dili: İngilizce, Almanca

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise: 1999-2003, Aydın Lisesi Y.D.A.L.

Lisans: 2004-2008, Dicle Üniversitesi, Fizik

Çift Anadal: Dicle Üniversitesi, Matematik

Yüksek Lisans: 2008-2011, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı

Sempozyum ve Kongreler:

V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu(YEKSEM) 19-21 Haziran 2009, Diyarbakır

2<sup>nd</sup> International Conference on Nuclear & Renewable Energy Resources(NURER) 04-07 July 2010, Gazi Üniversitesi

Turkish Physical Society 26<sup>TH</sup> International Physics Congress 27-27 September 2009, İstanbul Üniversitesi

Turkish Physical Society 27<sup>TH</sup> International Physics Congress 14-17 September 2010, İstanbul Üniversitesi

Odtü Fizik Topluluğu Enerji Kaynakları ve Uygulamaları Kış Okulu 08-12 Şubat 2010, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

1. Uluslar arası Katılımlı Kamu-Üniversite-Sanayi İşbirliği Sempozyumu ve Mermercilik Şurası 2010, Dicle Üniversitesi