TC

İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI ÇAPLARDA KANAT MODELLERİ İLE GÜNEŞ BACASI ENERJİ SİSTEMİNDEN ELEKTRİK ÜRETİM VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

YASİN İÇEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK VE ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

MALATYA

Haziran 2012

Tezin Başlığı :Farklı Çaplarda Kanat Modelleri İle Güneş Bacası Enerji Sisteminden Elektrik Üretim Verimliliğinin İncelenmesi

Tezi Hazırlayan : Yasin İÇEL

Sınav Tarihi : 20.06.2012

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Elektrik – Elektronik Mühendisliği Ana Bilim DalındaYüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jürisi Üyeleri (ilk isim jüri başkanı, ikinci isim tez danışmanı)

Yrd. Doç. Dr. M. Emin TAĞLUK (Jüri Başkanı)

Prof. Dr. M. Salih MAMİŞ (Danışman)

Doç. Dr. Müslüm ARKAN

İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. Asım KÜNKÜL

Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum "Farklı Çaplarda Kanat Modelleri İle Güneş Bacası Enerji Sisteminden Elektrik Üretim Verimliliğinin İncelenmesi" başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Yasin İÇEL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI ÇAPLARDA KANAT MODELLERİ İLE
GÜNEŞ BACASI ENERJİ SİSTEMİNDEN
ELEKTRİK ÜRETİM VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

Yasin İÇEL

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

68 + ix sayfa

2012

Danışman: Prof.Dr. M.Salih MAMİŞ

Güneş Bacası Enerji Santrali üç temel bileşenden oluşur: güneş kolektörü, baca ve türbin. Kolektörün altındaki hava sera etkisi ile ısınır, ısınan havanın yoğunluğu azalır ve kolektörün merkezindeki bacaya doğru yükselir. Böylece baca girişine konulan türbinden elektrik üretilir.

Bu çalışmada, Adıyaman Üniversitesi yerleşke alanı içine kurulan 15 m yüksekliğinde 0.8 m çapında baca ve üzeri 0.004 m kalınlığında saydam cam döşenerek, maksimum 27 m çapında kolektöre sahip Güneş Bacası Enerji Santral sisteminden ölçümler alınmıştır. Bu amaçla günün belirli saatlerinde baca içindeki hava akış hızı ve sıcaklığı, ortam sıcaklığı, ortam rüzgâr hızı, kollektörün sera etkisi ile ısınan zemin sıcaklığı, kollektör altındaki sıcaklık ve hava hızı, farklı çaplarda türbinlerin devir sayısı ve Adıyaman güneş ışınım değerleri ölçülerek değerlendirilmiştir.

Yapılan bu çalışmada güneş ışınımı, çevre sıcaklığı, baca yüksekliği ve çapının, kolektörün altındaki zeminin güneş ışınım emilim oranı sistemin verimlilik performansını etkileyen parametreler olduğu belirlenmiştir. Türbin montajının yapılacağı noktada sıcaklık ve hava hızının en yüksek olduğu görülmüş, ayrıca 0.8 m çaplı 3 kanatlı türbin modelinin sistem için en verimli model olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda Güneş Bacası Enerji Santralinin Adıyaman için bir alternatif enerji kaynağı olabileceği neticesine varılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Güneş enerjisi, Güneş Bacası Enerji Santrali, kanat modelleri, verimlilik.

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF EFFICIENCY OF PRODUCTION ELECTRICTY IN SOLAR CHIMNEY POWER PLANTS USING DIFFERENT WING MODELS

Yasin İÇEL

İnönü University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Depertment of Electrical-Electronics Engineering

68 + ix pages

2012

Supervisor: Prof.Dr. M.Salih MAMİŞ

Solar Chimney Power Plants (SCPP) consist of three main components: solar collector, chimney and turbine. Air under the collector is heated by the greenhouse effect, the air density is reduced and the air flows toward the chimney located at the center of the collector. Thus, electricity is produced at the turbine mounted at the entrance of the chimney.

In this study, measurements have been carried out on the Solar Chimney Power Plant (SCPP) system built at Adiyaman University Campus area, with specifications 15 m in height, 0.8 m in diameter of chimney, 0.004 m thick transparent glass floor and a collector having maximum of 27 m in diameter. For this purpose, air flow rate and temperature in the chimney, ambient temperature, ambient air velocity, surface temperature of collector, air flow rate and temperature under the collector, revolutions per minute (RPM) of the turbine with different diameter and solar radiation values at Adiyaman are measured at certain times of the day.

It is found that solar radiation, environmental temperature, height and diameter of chimney, solar radiation absorption rate of ground under the collector are the parameters that affect the efficiency and performance of the system. It is also observed that temperature and air velocity at the point where the turbine assembly is located are maximum. It is concluded that Solar Chimney Power Plant (SCPP) can be considered as alternative energy sources for Adiyaman.

KEYWORDS: Solar power, Solar Chimney Power Plants, wing models, efficiency.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının gerçekleşmesinde yardımlarını esirgemeyen, çalışmalarımda bana daima yol gösteren, değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Mehmet Salih MAMİŞ'e;

Güneş enerjisi konularında ve özellikle güneş bacası enerji santrali konusunda her türlü yardım ve desteklerini gördüğüm Adıyaman Üniversitesi Öğretim Üyelerinden Sayın Yrd.Doç.Dr. Abdulcelil BUĞUTEKİN'e;

Tüm hayatım boyunca olduğu gibi yüksek lisans çalışmalarım süresince de benden desteğini esirgemeyen değerli eşim Öğr.Grv. Sema İÇEL'e, ayrıca daima sevgileriyle yanımda olan çocuklarım Yusuf Can ve Saadet Belinay'a teşekkür ederim.

Bu araştırma projesi, Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (ADYÜBAP) 13543 nolu proje ve Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Adıyaman Bölge Müdürlüğü tarafından desteklenmiştir.

Yasin İÇEL

İÇİNDEKİLER

	ÖZET ……..……..	i
	ABSTRACT……..	ii
	TEŞEKKÜR …….	iii
	İÇİNDEKİLER ……	iv
	ŞEKİLLER DİZİNİ ……..	v
	ÇİZELGELER DİZİNİ ……	vii
	SİMGELER VE KISALTMALAR ……..	viii
1.	GİRİŞ ……...	1
1.1.	Araştırmanın Amacı …….	9
2.	KAYNAK ÖZETLERİ ……	10
3.	GÜNEŞ BACASI ELEKTRİK SANTRALİ TASARIMI…..…...	15
3.1.	Güneş Bacası Elektrik Santral Yapıları ……..……..	15
3.1.1.	Kollektör……	19
3.1.2.	Baca ……..	20
3.1.3.	Türbin ……...	21
3.2.	Matematiksel Model …….	23
3.3.	Sistemin Kurulması …….	28
3.3.1.	Zeminin Hazırlanması ……..	29
3.3.2.	Bacanın Hazırlanması …….…….	33
3.3.3.	Kollektörün Hazırlanması ……	36
3.3.4.	Türbin ve Jeneratör ……...	38
3.4.	Ölçüm Sistemi ……..	43
3.5.	Ölçüm İşlemleri ……	46
4.	ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA ……..	49
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER …….	64
6.	KAYNAKLAR…….	65
ÖZGEÇMİŞ…….		68

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Parabolik oluk elektrik santrali prensip şeması……	6
Şekil 1.2	İspanyada bulunan güneş termik kule elektrik santrali……..	7
Şekil 3.1	Güneş bacası sisteminin çalışma prensibi……..	16
Şekil 3.2	Güneş bacası sistemi için enerji dönüşüm aşamaları…….	16
Şekil 3.3	Güneş bacası sistemi enerji akış diyagramı……...	18
Şekil 3.4	Kollektöre gelen güneş ışınımı……..	19
Şekil 3.5	Su doldurulmuş siyah tüpler kullanılan ortamda ısı depolama prensibi……..	20
Şekil 3.6	Manzaranes prototipinde kullanılan türbin……	22
Şekil 3.7	Avustralya Enviromission solar baca santralinde kullanılan 32 adet türbin…….	22
Şekil 3.8	Güneş bacası sisteminin şematik diyagramı……..	28
Şekil 3.9	Hazırlanan özel zeminin şematik diyagramı……..	30
Şekil 3.10	Güneş bacası sistemin zemin yapımını gösteren fotoğraf; Toprak zemin…….	30
Şekil 3.11	Güneş bacası sistemin zemin yapımını gösteren fotoğraf; Alüminyum folyolu cam yünü……...	31
Şekil 3.12	Güneş bacası sistemin zemin yapımını gösteren fotoğraf; Çakıl serilmesi……...	31
Şekil 3.13	Güneş bacası sistemin zemin yapımını gösteren fotoğraf; İnce kum serilmesi…….	32
Şekil 3.14	Güneş bacası sistemin zemin yapımını gösteren fotoğraf; Cam kırıklarının serilmesi……..	32
Şekil 3.15	Güneş bacası sistemin zemin yapımını gösteren fotoğraf; Asfalt zemin……...	33
Şekil 3.16	Güneş bacası sistemi için hazırlanan ana huni ve iç huni…..	34
Şekil 3.17	Güneş bacası sistemi için hazırlanan taşıyıcı ünite……	34
Şekil 3.18	Hazırlanan Baca……..……...	35
Şekil 3.19	Bacanın ana huni üzerine konması……...	35
Şekil 3.20	Güneş bacası sistemi güneş kollektörünün taşıyıcı metal profil aksamı……..	36
Şekil 3.21	Güneş bacası sistemi güneş kollektörünün camlarının montajı……...	37
Şekil 3.22	Güneş bacası sistemi güneş kollektörü hava girişini kontrol eden kanatçık yapı……..	37
Şekil 3.23	NACA Kanat Profil Örnekleri……...	38
Şekil 3.24	Güneş bacası sisteminde kullanılan türbinler (r = 0,4 m).....	40
Şekil 3.25	Güneş bacası sisteminde kullanılan türbinler (r = 0,6 m)…..	40
Şekil 3.26	Güneş bacası sisteminde kullanılan jeneratör……..….	41
Şekil 3.27	Güneş bacası sisteminde kullanılan jeneratörün iç huni üzerine montajı……...	42
Şekil 3.28	Güneş bacası enerji santral prototipi bitmiş hali…..……..	42
Şekil 3.29	Anemometre……...	43
Şekil 3.30	İnfrared Termometre……..	44
Şekil 3.31	Foto-Laser Tip Dijital Takometre……..	44
Şekil 3.32	CMP21 Pyranometer……..	45
Şekil 3.33	Pt100 Termokupl……...	45

Şekil 3.34	Güneş bacası sisteminde hava hızı ve hava sıcaklıklarının ölçüm noktaları……..	46
Şekil 3.35	Güneş bacası sisteminde türbin girişi ve çıkışı hava sıcaklıkları, hava hızları ve türbin devir sayısının ölçüm noktaları…….	47
Şekil 4.1	Güneş bacası sistemin de belirlenen noktalarda ve yükselliklerde zemin, kolektör sıcaklık dağılımı ve hava hızı değişimi……...	49
Şekil 4.2	Güneş bacası sistemi de belirlenen noktalarda ve yükselliklerde bacanın merkezindeki havanın sıcaklık dağılımı ve hava hızı değişimi……...	50
Şekil 4.3	Güneş bacası sistemin de belirlenen noktalarda ve yüksekliklerde baca içindeki saatlik hava hızı (m/s) değişimi……..	51
Şekil 4.4	Adıyaman İli güneş ışınım değerleri (27 Temmuz 2011)…..	52
Şekil 4.5	Güneş bacası sistemi 0,8 m çaplı 1 kanatlı türbin için, çıkış gücü ile hava hızları arasındaki ilişki…….	55
Şekil 4.6	Güneş bacası sistemi 0,8 m çaplı 2 kanatlı türbin için, çıkış gücü ile hava hızları arasındaki ilişki…….	56
Şekil 4.7	Güneş bacası sistemi 0,8 m çaplı 3 kanatlı türbin için, çıkış gücü ile hava hızları arasındaki ilişki…….	57
Şekil 4.8	Güneş bacası sistemi 0,8 m çaplı 4 kanatlı türbin için, çıkış gücü ile hava hızları arasındaki ilişki…….	58
Şekil 4.9	Güneş bacası sistemi 0,8 m çaplı 5 kanatlı türbin için, çıkış gücü ile hava hızları arasındaki ilişki…….	59
Şekil 4.10	Güneş bacası sistemi 0,8 m çaplı farklı kanat sayılı türbinler için, çıkış gücü ile hava hızları arasındaki ilişki….	62
Şekil 4.11	Güneş bacası sistemi 0,8 m çaplı farklı kanat sayılı türbinler için, çıkış gücü ile türbin hızı arasındaki ilişki….	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1	Kişi başına yıllık elektrik enerjisi tüketimi……	2
Çizelge 1.2	Bazı bölgeler ve bazı ülkeler itibariyle dünyadaki toplam enerji tüketimi (MTEP)……..	2
Çizelge 1.3	Türkiye'nin enerji üretimi ve talebi (MTEP) (2010)…….	3
Çizelge 1.4	Dünya enerji tüketim dağılımı……...	4
Çizelge 1.5	Dünyada kurulu güneş termik kule elektrik santralleri……..	7
Çizelge 1.6	Odaklı sistemler ve güneş bacası için bazı parametreler…..	8
Çizelge 3.1	Güneş bacası sisteminin fiziksel parametreleri……..	29
Çizelge 3.2	Güneş bacası sisteminde kullanılan jeneratörün temel parametreleri……..	41
Çizelge 4.1	Güneş bacası sistemi için değişik kanat modelli türbinler için belirlenen noktalardaki saatlik devir sayısı…….	53
Çizelge 4.2	Güneş bacası sistemi için değişik kanat modelli türbinler için türbin girişi saatlik hava hızı……...	54
Çizelge 4.3	Güneş bacası sistemi 0,8 m çaplı 1 kanatlı türbin için ölçüm değerleri…….	55
Çizelge 4.4	Güneş bacası sistemi 0,8 m çaplı 2 kanatlı türbin için ölçüm değerleri…….	56
Çizelge 4.5	Güneş bacası sistemi 0,8 m çaplı 3 kanatlı türbin için ölçüm değerleri…….	57
Çizelge 4.6	Güneş bacası sistemi 0,8 m çaplı 4 kanatlı türbin için ölçüm değerleri…….	58
Çizelge 4.7	Güneş bacası sistemi 0,8 m çaplı 5 kanatlı türbin için ölçüm değerleri…….	59
Çizelge 4.8	Güneş bacası sistemi için kullanılan türbin modelleri için ölçüm değerleri……..	60
Çizelge 4.9	Güneş bacası sistemi için kullanılan türbin modellerinin kıyaslanması……...	61

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

α	Termal difüzivite [m^2/s]
β	Hacim sabiti [1/K]
ρ	Yoğunluk (kg/m^3)
ρ_c	Baca hava yoğunluğu (kg/m^3)
ρ_h	Hava yoğunluğu (1,225 kg/m^3)
ρ_{koll}	Kollektör hava yoğunluğu (kg/m^3)
η_{baca}	Baca verimi (boyutsuz)
η_{koll}	Kollektör verimi (boyutsuz)
η_{plant}	Sistem verimi (boyutsuz)
$\eta_{türbin}$	Türbin verimi (boyutsuz)
Q_{solar}	Güneş enerjisi (w)
$\dot{V}$	Hacimsel debi
A_c	Baca girişi (türbin konulan) alanı (m^2)
A_{koll}	Kollektör alanı (m^2)
A_r	Türbin kanatlarının taradığı kesit alanı (m^2)
c_p	Özgül ısı katsayısı [J/kg.K]
C_{pBetz}	Betz katsayısı
E_k	Kinetik enerji (J)
g	Yer çekimi ivmesi (m/s2)
G_h	Güneş ışınım şiddeti (W/m^2)
H_t	Baca yüksekliği (m)
m	Havanın kütlesel debisi (kg/s)
P_{elk}	Elektriksel güç (W)
P_{max}	Maksimum güç (W)
P_{mek}	Mekanik güç (W)
p_d	Dinamik basınç (Pa)
p_s	Statik basınç (Pa)
p_{tot}	Kollektör çıkış basıncı (Pa)
$V_{baca,max}$	Baca maksimum hava hızı (m/s)
V_{koll}	Kollektör altı hava hızı (m/s)
V_r	Türbin girişi ortalama hava hızı (m/s)
T_0	Çevre sıcaklığı (^0C)

Kısaltmalar

MTEP	Milyon ton petrol eşdeğeri
PJ	Peta (katrilyon) joule
D	Kollektör Çapı
r	Huni yarıçapı
H	Kollektör Çıkışının Zemine Göre Yüksekliği
H_p	Kollektör Uç Açıklığı
C_d	Baca çapı
H_c	Baca yüksekliği
H_g	Özel Depolayıcı Zemin Yüksekliği
H_h	Huni yüksekliği
B	İç Huninin Taban Genişliği ve Yüksekliği
C_2	Türbinin Zeminden Yüksekliği

1. GİRİŞ

Enerjinin bugün sahip olduğumuz medeniyetin temel taşlarından ve ekonomik, sosyal kalkınmanın önemli bileşenlerinden biri olduğu ve gelişmişliğin bir göstergesi olarak yaşam standartlarının yükseltilmesinde hayati bir rol oynadığı bilinmektedir. Sürdürülebilir bir kalkınmanın sürekli ve kaliteli bir enerji arzıyla mümkün olacağı da bilinen bir diğer husustur. Dünya nüfusunun hızla artması, sanayileşmenin ve globalleşmenin de buna paralel olarak hızlanması, dünya enerji ihtiyacını da giderek arttırmaktadır. Günümüz modern bilgi toplumunun; teknoloji, sanayi, ulaşım, iletişim gibi hayatın vazgeçilmez parçaları haline gelmiş her faaliyet için ihtiyaç duyduğu enerji, bugün en kıymetli ve en önemli bir kaynak haline gelmiştir [1].

Sürdürülebilir kalkınmanın enerjiyle olan bağlantısı, çok uzun bir süre boyunca enerjinin tüketicilere güvenli biçimde sunulması ekseninde ele alınmış, enerji-kalkınma ilişkisi bu çerçeve içinde değerlendirilmiştir. Ancak, halihazırda en önemli enerji kaynağı olan fosil yakıtların (kömür, petrol, doğalgaz) gittikçe ve süratle azalmakta oluşu, diğer yandan bu kaynakların yarattığı çevresel problemler, hem bu kaynakların rasyonel ve ekonomik biçimde kullanımı olgusunu, hem de enerji verimliliği kavramını gündeme getirmiş, sürdürülebilir kalkınmayla ilgili çalışmalara bu konuların dahil edilmesi sonucunu doğurmuştur [2].

Dünya nüfusundaki hızlı artış ve artan yaşam kalitesine bağlı olarak, 2050 yılına kadar dünya enerji ihtiyacı da yaklaşık 3 katına çıkacaktır. Ancak artan bu enerji ihtiyacı günümüz konvansiyonel enerji kaynakları ile yeterince karşılanamamaktadır. Bunun en büyük nedeni dünya enerji üretiminin yaklaşık % 85'inin fosil kaynaklara dayanmasıdır [3].

Çizelge 1.1'de verilen kişi başına yıllık enerji tüketimi incelendiğinde Türkiye'de kişi başına yıllık enerji tüketiminin dünya ortalamasından yüksek olduğu ancak gelişmiş ülkelere göre daha düşük olduğu görülecektir.

Çizelge 1.1 Kişi Başına Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi [4]

ÜLKELER	**KİŞİ BAŞINA TÜKETİM (kWh)**
Dünya Ortalaması	**2.500**
Gelişmiş Ülkeler Ortalaması	**8.900**
ABD	**12.322**
Türkiye	**3.099**

Çizelge 1.2'de Türkiye ve diğer bazı ülkelerdeki yıllık enerji tüketimlerinin kıyaslanması verilmiştir. Türkiye'de yıllık enerji tüketiminin gelişmiş ülkelerden çok düşük olduğu görülmektedir.

Çizelge 1.2 Bazı Bölgeler ve Bazı Ülkeler İtibariyle Dünyadaki Toplam Enerji Tüketimi (MTEP) [2]

Yıllar							
Ülke	**1990**	**1998**	**1999**	**2005**	**2010**	**2015**	**2020**
Amerika	2121	2383	2446	2712	2913	3116	3297
Kanada	275	305	316	346	374	398	422
İngiltere	234	251	250	269	282	295	308
Almanya	373	357	352	387	400	412	428
Fransa	222	256	258	282	296	309	328
Çin	681	890	803	1080	1388	1734	2127
Japonya	452	541	547	578	609	640	671
Türkiye	50	76	74	85	99	113	127

Enerji tüketiminin tam olarak karşılanamaması, enerji üretimi ve tüketimi arasındaki açığın hızla artmasına neden olmaktadır. Bu durumda da öncelikle ülkemizde artan enerji ihtiyacını karşılamak için yenilenebilir enerji kaynaklarından daha etkin ve rasyonel bir biçimde faydalanılması gerekir [4].

Çizelge 1.3 incelendiğinde Türkiye için enerji üretiminin tüketimi karşılayamadığı ve enerji açığının yüksek olduğu görülecektir.

Çizelge 1.3 Türkiye'nin Enerji Üretimi ve Talebi (MTEP) (2010) [4]

Kaynaklar	**Linyit+ Asfaltit**	**Taş Kömür**	**Odun+ Bitki**	**Petrol**	**Doğalgaz**	**Yenilenebilir Enerji**	**Toplam**
Enerji Üretimi	16.012	1.511	4.558	2.671	625	7.116	32.493
Enerji Talebi	15.846	17.686	4.558	29.221	34.907	7.116	109.266
Üretimin Talebi Karşılama Oranı	% 100	%8,5	%100	%9,1	%1,8	%100	%29,7

Ayrıca, geleneksel enerji üretim yöntemleri günümüzde çevre kirliliğinin başlıca nedenidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının diğer bir avantajı da enerji üretimi esnasında çevreye çok az zarar vermesidir. Başta kömür ve petrol olmak üzere kullanılan yakıtların yanması sonucu oluşan ve atmosfere verilen SO_x, NO_x ve toz gibi kirletici emisyonlarla beraber sera etkisi yaratarak küresel ısınma ve iklim değişikliklerine neden olan CO_2 emisyonları çevreyi olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle ısıl değerleri düşük, kül ve kükürt içerikleri yüksek olan kalitesiz yerli linyit kömürlerin kullanılması, hava kirliliğini daha da artırmaktadır [5].

Fosil yakıt kaynaklarının çoğunluğu sanayileşmiş ülkeler tarafından kullanılmaktadır. Bu ülkelerin sahip oldukları kaynaklar ve nüfusları daha az olmasına rağmen kullandıkları kaynak miktarı çok fazladır. ABD dünya fosil yakıt kaynaklarının yaklaşık %35'ini kullanmaktadır [6]. Bu olumsuz etkiler yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasının önemini artırmaktadır. Bugün gelişmiş veya gelişmekte olan ülkeler kendi olanakları içinde değişik enerji kaynaklarının kullanılmasına yönelmektedir. Dünyada petrol kaynaklarının 2050 yılında, doğal gaz kaynaklarının 2070 yılında ve kömür kaynaklarının ise 2150 yılında tükenmesi beklenmektedir. Bu nedenle enerji üretiminde fosil yakıtların kullanılması gerek çevre kirliliği, gerekse artan fiyatlar nedeniyle ekonomik olmaktan çıkacaktır [7].

Özellikle 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizinden itibaren, bu enerji kaynaklarına yönelik araştırma-geliştirme faaliyetlerinde ve bunların enerji kaynağı olarak kullanımında büyük bir artış gözlenmektedir. Hatta 2050'li yıllarda, dünya toplam enerji tüketiminin %50'sini, yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin oluşturacağı tahmin edilmektedir [8].

Yenilenebilir enerji kaynağı denilince, dünya döndükçe ve canlılar yaşadığı sürece var olan hiç bitmeyecek olan enerji kaynağı anlaşılır. Yenilenebilir enerji kaynaklarını esas olarak aşağıdaki şekilde sınıflandırmak mümkündür:

- Güneş enerjisi
- Rüzgar enerjisi
- Jeotermal enerji
- Hidrolik enerjisi
- Biyoenerji
- Hidrojen enerjisi
- Okyanus enerjisi

Mevcut yenilenebilir enerji kaynakları, teorik olarak bütün dünya enerji ihtiyacını karşılayabileceği öngörülmüştür [5].

Küresel enerji talebi yakın gelecekte artmaya devam edecektir. Çizelge 1.4 incelendiğinde fosil kaynaklı yakıtların kullanımının artan dünya nüfusu ve enerji ihtiyacı ile aynı oranda arttığı görülebilecektir [3].

Çizelge 1.4 Dünya Enerji Tüketim Dağılımı (PJ = 10^{15} Joule) [3]

	1925	**1938**	**1950**	**1960**	**1968**	**1980**	**2002**
Katı Yakıtlar	36,039	39,856	46,675	58,541	67,830	77,118	100,395
Sıvı Yakıtlar	5,772	11,017	21,155	43,921	79,169	117,112	147,480
Doğal Gaz	1,406	2,930	7,384	17,961	33,900	53,736	95,543
Hidroelektrik Enerji	0,293	0,674	1,260	2,520	3,868	6,358	9,421
Nükleer Enerji	0	0	0	0	0,176	2,461	9,714
Toplam	**43,51**	**54,477**	**76,474**	**122,943**	**184,943**	**256,785**	**362,553**

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının başında hidrolik enerji, güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi gelmektedir. Güneş en büyük enerji kaynağımızdır. Güneşten dünya yüzeyine yıllık $3,9 \times 10^{24}$ J = $1,08 \times 10^{18}$ kWh enerji yayılmaktadır. Bu oran dünya toplam enerji ihtiyacının ve kullanılabilir enerji kaynaklarının yaklaşık 10.000 katıdır. Diğer bir ifade ile dünyaya gelen güneş ışınımının on binde birini kullanabilirsek bütün insanoğlunun enerji talebi karşılanabilecektir [3].

Güneşin ışınım enerjisi, yer ve atmosfer sistemindeki fiziksel oluşumları etkileyen başlıca enerji kaynağıdır. Dünyadaki madde ve enerji akışları güneş enerjisi sayesinde mümkün olabilmektedir. Rüzgâr, deniz dalgası, okyanusta sıcaklık farkı ve biyokütle enerjileri, güneş enerjisinin değişim geçirmiş biçimleridir. Güneş enerjisi, doğadaki su döngüsünün gerçekleşmesinde de rol oynayarak, akarsu gücünü yaratmaktadır. Fosil yakıtların da, biyokütle niteliğindeki materyallerde birikmiş güneş enerjisi olduğu kabul edilmektedir [9].

Güneş enerjisi günümüzde konut ve iş yerlerinin ısıtılması-soğutulması, yemek pişirme, sıcak su temin edilmesi ve yüzme havuzu ısıtılmasında, tarımsal teknolojide sera ısıtılması ve tarım ürünlerinin kurutulmasında, sanayide, güneş ocakları-fırınları-pişiricileri, deniz suyundan tuz ve tatlı su üretilmesi, güneş pompaları, güneş pilleri, güneş havuzları, ulaşım-iletişim araçlarında, sinyalizasyon ve otomasyonda, elektrik üretiminde kullanılmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmak için özellikle 80'li yıllardan itibaren birçok yöntemler geliştirilmiştir. Bilhassa güneş enerjisinden faydalanmak konusunda oldukça ileri adımlar atılmış olmasına rağmen, henüz istenilen seviyeye ulaşılamamıştır.

Güneş enerjisinden elektrik üretimi direkt ve indirekt olarak iki ayrı yöntemle gerçekleştirilir. Direkt yöntem kapsamında fotovoltaik, termoelektrik ve termoiyonik çeviriciler yer alır. Güneş enerjisinin indirekt biçimde elektriğe dönüştürülmesi ise, güneşten yaralanılarak üretilen buhar ve bunu değerlendiren bir buhar güç çevrimi ya da güneş enerjisiyle elde edilen hidrojen ve bunun kullandığı termik elektrik üreteci ve yakıt pili olmaktadır.

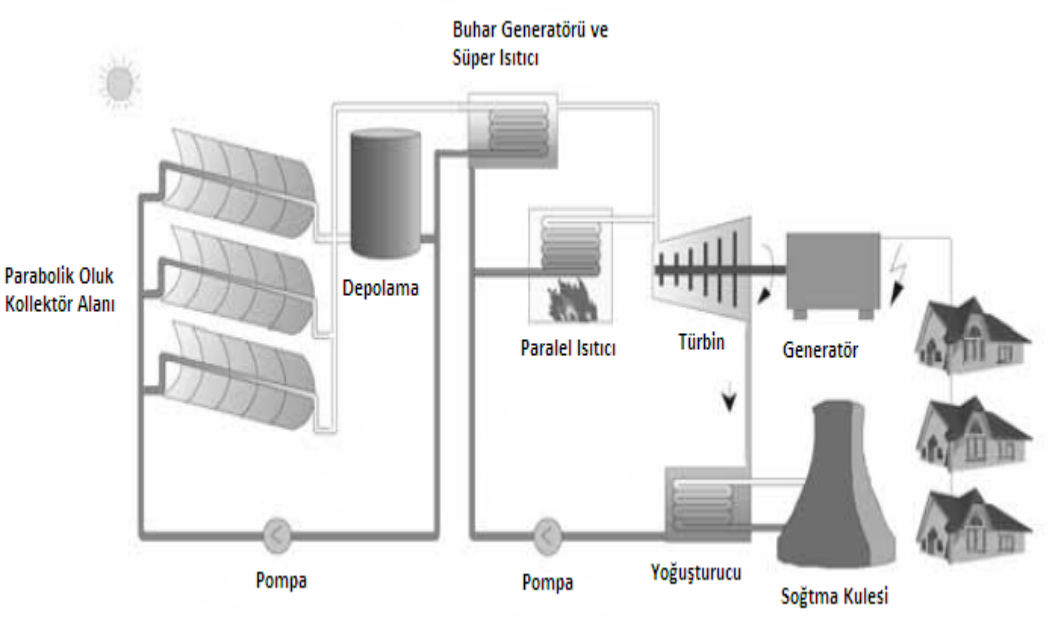
Güneş elektrik santralleri PV (fotovoltaik) tipi ve termik elektrik olarak ikiye ayrılmaktadır.

Elektrik üretimi için Güneş Termik Santrallerin kullanılması aşağıdaki yöntemlerle yapılmaktadır:

- Parabolik Oluk Elektrik Santralleri
- Güneş Termik Kule Elektrik Santralleri

- Güneş Ocak Sistemleri
- Parabolik Çanak/Motor Güneş Elektrik Santralleri
- Güneş Bacası Elektrik Santralleri

Parabolik oluk elektrik santralleri ticari olarak kurulan ilk santrallerdir. 1984 ve 1991 yılları arasında Kaliforniya'da toplam gücü 354 MW olan dokuz parabol oluklu bir güneş enerjisi santrali kurulmuştur [3]. Parabolik Oluk elektrik Santrallerinin çalışma prensip şeması Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1 Parabolik Oluk Elektrik Santrali Prensip Şeması [3]

Güneş Termik Kule Elektrik Santralleri, yüzlerce hatta binlerce yönlendirilmiş ayna ve kuleden meydana gelmektedir. Buradaki hafif eğimli aynalara heliostatik adı verilir. Kulenin üst kısmına odaklanan aynalar yardımı ile buradaki ısı 1000 °C ve üstüne çıkar. Sıcak hava veya erimiş tuz dan elde edilen buhardan türbin ve jeneratör yardımı ile elektrik enerjisi ele edilir. Bu santrallerin örnekleri ABD, İspanya ve İsrail'de bulunmaktadır.



Şekil 1.2 İspanyada bulunan Güneş Termik Kule Elektrik Santrali [3]

Çizelge 1.5 Dünyada Kurulu Güneş Termik Kule Elektrik Santralleri [10,11]

Proje	**Ülke**	**Güç (MW)**	**Isı Transfer Akışkanı**	**Depolama Ortamı**	**İşletme Tarihi**
SSPS	İspanya	0,5	Sıvı Sodyum	Sodyum	1981
EURELİOS	İtalya	1	Buhar	Nitrat tuz/su	1981
SUNSHİNE	Japonya	1	Buhar	Nitrat tuz/su	1981
Solar One	Amerika	10	Buhar	Yağ/Kaya	1982
CESA-1	İspanya	1	Buhar	Nitrat tuz	1983
MSEE/CatB	Amerika	1	Nitrat eriyiği	Nitrat tuz	1984
THEMİS	Fransa	2,5	Hi-tec. tuz	Hi-tec. tuz	1984
SPP-5	Rusya	5	Buhar	Su/buhar	1986
TSA	İspanya	1	Hava	Seramik	1993
Solar Two	Amerika	10	Nitrat eriyikli tuz	Nitrat tuz	1996
Solar Spire	İsrail	0,25	Hava	--	2000

Diğer bir sistem ayna kullanılarak yapılan güneş ocağı sistemidir. Bu sistemde eğimli bir alana yerleştirilen her biri 54 m çapında heliostatik aynalar kullanılmaktadır. Aynaların odaklanması ile 4000 °C den fazla ısı elde edilmektedir. Odeillo (France), Almería (Spain) ve Cologne (Germany) da bu sistem örnekleri bulunmaktadır.

Parabolik Çanak/Motor Güneş Elektrik Santrallerinde kilowatt mertebesinde elektrik elde edilmektedir. Stirling motorlar ile kontrol edilen iki eksenli çukur aynalar güneş ışığını takip ederek maksimum verim elde edilir. Ayna odaklaması ile 650 °C ısı elde edilir.

Güneş Bacası Elektrik Santrallerinin bir uygulamasında 1000 m yüksekliğinde kule ve 5000 m çapında cam veya şeffaf plastik malzeme ile kaplı kolektör çatı bulunmaktadır. Kollektör altında ısınan havanın bacadan yukarı hareket etmesi sonucu elde edilen hava akımından elektrik üretilmesi prensibiyle çalışmaktadır [3].

Güneşten elektrik elde etmenin diğer bir yöntemi olan güneş pilleri veya daha yaygın isimleriyle fotovoltaik piller, üzerlerine düşen güneş ışınımını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren düzeneklerdir. İlk güneş pili, 1954 yılında, ABD'de, Bell Laboratuarlarında geliştirilmiştir [12].

Çizelge 1.6'da bazı güneş enerji sistemlerinin karşılaştırması verilmiştir:

Çizelge 1.6 Odaklı sistemler ve güneş bacası için bazı parametreler [10]

	Parabolik Silindirik	**Güç Kulesi**	**Çanak/Motor**	**Güneş Bacası**
Güç Kaynağı	Merkezi	Merkezi	Lokal/Merkezi	Merkezi
Kapasite	30 – 100 MW	30 – 400 MW	10 kW – 50 MW	30 – 200 MW
Çalışma Modu	Şebeke bağlantılı	Şebeke bağlantılı	Şebeke bağlantılı / Şebekeden bağımsız	Şebeke bağlantılı
Alan Gereksinimi	18 m^2 / kW	21 m^2 / kW	20 m^2 / kW	200 m^2 / kW
Tipik verim (%)	13-15	13-15	15-17	0,7-1,1
İşletme Sıcaklığı (°C)	350	560	800	50

1.1. Araştırmanın Amacı

Bu çalışmada temel amaç, güneş enerjisinden ısıl yöntemlerle elektrik enerjisi üretim yöntemlerinden birisi olan güneş bacası elektrik santrali prototipini çeşitli yönlerden incelemek ve Adıyaman şartlarında güneş bacası elektrik santralinin uygunluğunu analiz etmektir.

Yapılan çalışma dört temel ölçme ve değerlendirme esasına dayanarak gerçekleştirilmiştir:

1. Kurulan prototip güneş bacası sisteminde sıcaklık, hava hızı ve güneş ışınımının ölçülmesi,
2. Güneş bacası sistemine konulacak farklı çap ve kanat sayılı türbin modellerinin dönme hızına bağlı olarak elektrik enerji potansiyelinin ölçülmesi,
3. Güneş bacası sitemleri için uygun türbin modelinin tespit edilmesi,
4. Adıyaman bölgesi iklim şartlarında güneş bacası elektrik santrali modelinin incelenmesi.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Güneş bacası fikri ilk olarak 1931 yılında Alman araştırmacı Hanns Günther tarafından ortaya atılmıştır [13,14,15]. Robert E. Lucier, 1975'in başlarında güneş bacası sistemi için Amerika, Kanada, Avustralya ve İsrail bölgeleri için patent almıştır. 1978 ile 1981 yılları arasında patentin süresi dolmuştur. Daha sonra Güneş bacası 1970'li yılların sonralarına doğru Prof. Dr. Jörg Schlaich tarafından tasarlanmış ve 1978 yılında ise konsept bir güneş bacası modellemesi Prof. Dr. Jörg Schlaich tarafından dizayn edilmiştir [13]. 1980 yılı başlarında Alman hükümeti ve İspanyol elektrik şirketi tarafından desteklenen bir prototip İspanya Manzanares civarında inşa edilmiştir. Tasarım ve teorik çözümlenmesi 1980 yılında başlatılmış olunup devreye alma çalışmaları 3 yıl sürmüştür. Prototip 122 m kollektör yarıçapına sahip, 194.6 m yükseklik ve 10 m çapında bacaya sahipti. Sistemin ulaştığı en yüksek çıkış gücü 1982 yılının Temmuzdan Eylüle kadar olan süre zarfında 41 kW olmuştur [13,14]. Daha sonraki yıllarda dünya çapında birçok araştırmacı güneş bacası sistemi üzerinde inceleme yapmaya başlamıştır.

Amerikalı bilim adamı Krisst 1983 yılında evinin avlusunda 10 W gücünde güneş bacası sistemi inşa etmiştir. Bu sistemin kollektör çapı 6m ve baca yüksekliği 10m'dir [13,14].

Kreetz 1997'de zemine döşenen su depolama sistemlerinin güneş bacasının gücüne etkisini zamana bağlı olarak incelemiştir [5,13].

Nizetic ve arkadaşları, Akdeniz ada ülkelerinde güneş bacası kullanımının çevresel ve enerji kaynakları bakımından kurulum ve çalıştırılmasının analizini yapmış fizibilitesini oluşturmuşlardır [13,16]. Model olarak seçtikleri bölgede meteorolojik verileri kullanarak, 550 m yüksekliğinde bacaya sahip, 1250 m 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 karşılaştırması yapılmıştır. Akdeniz bölgesi ülkeleri için güneş bacası sisteminden elektrik elde etmenin maliyetinin diğer enerji kaynaklarından yüksek olduğu tespit edilmiştir.

1997 yılında Florida Üniversitesi kampüs alanında inşa edilen güneş bacası elektrik santralinde enerji üretim uygulama modelinde teorik ve deneysel incelemeler başarıyla gerçekleştirilmiştir [14].

Pasumarthi ve Sherif 1998'de, güneş bacasının hem teorik hem de deneysel olarak performans karakteristiklerini incelemiştir [5,17]. Ortam havasının sıcaklığı, güç çıkışı gibi parametrelerin etkisini incelemek için matematiksel bir model geliştirilmiştir. Ayrıca üç farklı kollektör tipi incelenmiştir. Kollektör altındaki hava sıcaklığı, farklı uzaklıklarda, her üç farklı kollektör tipi için ayrı ayrı ölçülmüş ve sonuçlar tablolar ve grafikler halinde verilmiştir.

Gannon 2000'de, sistem kayıpları ve kollektör performansı düşünülerek güneş bacası çevrim analizi yapmıştır [13]. Sistem kayıpları olarak sürtünme kayıpları, sistem, türbin ve kinetik enerji kayıpları düşünülmüştür.

Backström ve Gannon 2000'de, baca yüksekliği, sürtünme kaybı gibi parametrelere bağlı olan termodinamik değişkenlerin hesaplanabilmesi için tek boyutlu sıkıştırılabilir akış için bazı yaklaşımlar geliştirmiştir [13]. Fiziksel model olarak ise 1500 m'lik baca yüksekliğine, 160 m baca çapına ve 4 km kollektör çapına sahip bir sistem düşünülmüştür. Bu bacada, basınç değişimin, akışkan sürtünme kayıplarının, yüzey alanı değişiminin, mach sayısına olan etkisi incelenmiştir.

John Gannon 2002'de, kollektör modelini ve türbini ayrıntılı bir şekilde incelemiştir. Gannon kollektör için ısı denklemini çıkarmış ve burada 5 W/m^2 K değerinde sabit bir ısı iletim katsayısı kullanmıştır [5,18]. Bu değer ile 2000 m kollektör çapına sahip bir güneş bacası hesaplanmıştır. Ayrıca zemin sıcaklığının maksimum 168 ^{0}C'ye ulaştığı sonucuna varmıştır. Zemin sıcaklığının bu denli yüksek olmasının nedeni, ısı depolama sisteminin bulunmaması ve sabit bir ısı iletim katsayısının kullanılmasıdır.

Bernardes ve arkadaşları 2003'de çıkış gücü ile tesis boyutları ve çevresel bazı faktör etkileri arasındaki ilişkileri kullanarak güneş bacası çıkış gücünün analitik ve nümerik modelleri üzerinde çalışmalar, analizler ve yayınlar yapmıştır [19]. Bu çalışmalar, baca yüksekliğinin, türbindeki akış basıncının, kolektör çapının ve optik özelliklerinin güneş bacası dizaynında önemli parametreler olduğunu göstermiştir.

Bu çalışmalardan esinlenerek kurulan bir nümerik model simülasyonuyla büyük ölçekli güneş bacası enerji üretim tesisinin kolektör yüksekliği ve çatı şekline göre performans değerleri kolaylıkla incelenebilmiştir [20].

Schlaich ve arkadaşları 2005 yılında, güneş bacası güç sistemlerinin dizaynının teorik prensiplerini içeren güzel bir çalışma yayınlamıştır [21]. Bu çalışmaya göre tesis şu ana parçalardan oluşmaktadır: kolektör, güneş bacası ve türbin ile elektrik üreten jeneratörden oluşan mekanik parçalar.

Bilgen ve Rheault 2005 yılında, yüksek bölgelerde güç üretimi için bir güneş bacası sistemi dizayn etmişler ve bu sistemin performansı değerlendirilmiştir [22]. Aylık ortalama meteorolojik ve termodinamik çevrime dayalı olarak matematiksel bir model ve MATLAB programında bazı kodlar geliştirmişlerdir. Kanada'nın Ottowa bölgesinde kurulu, 5 MW nominal güce sahip güç üreten sistemin termal performansı incelenmiştir. Dağın tepesindeki bir düzlüğe kollektör kurulmuş ve doğal baca sistemi tasarlanmıştır. Daha sonra küçük bir baca ve düşey eksenli bir türbin eklenmiştir.

Ninic ve arkadaşları 2006 yılında yapmış oldukları bir çalışmada kolektör altındaki hava çevre havanın nemine ve hava basıncına bağlı olarak değişiklik göstermektedir [23].

Pretorius and Kröger 2006 yılında hassas türbin girişindeki hava akımı, kolektörü oluşturan camların kalitesi ve çeşitli kirlilik tiplerinin güneş bacası güç tesislerinin performansını geniş bir skalada etkilediğini gösteren sıcak hava transfer eşitliklerini elde etmişlerdir [24].

Xinping ve arkadaşları 2007'de, bir simülasyon uygulamasıyla güneş bacası güç sisteminin performansının geliştirilmesi için matematik modeli geliştirmiştir [25]. Bu simülasyon ile değişik güneş ışınım miktarı, kolektör alanı ve baca yüksekliğine bağlı olarak çıkış gücünün ne olacağı belirlenebilmektedir. Kolektör altındaki hava akımının ölçülmesi ve diğer faktörler kıyaslanarak güneş bacasının performansı değerlendirilebilir.

Tingzhen ve arkadaşları tarafından 2008 yılında türbin ile birleştirilmiş komple bir sistem olarak çalışan güneş bacası enerji santrali için nümerik bir simülasyon oluşturulmuştur [13,26]. Sistem üç ana bölümden oluşmuştur: kolektör, baca ve türbin. Her bir bölüm için ayrı ayrı matematiksel modeller kurulmuştur. Matematiksel model karşılaştırma yapılabilinmesi için deneysel bir örnek üzerine uygulanmıştır. Burada İspanya'daki prototip ele alınmıştır. Matematiksel model sonuçları üç kanatlı türbin için çözümlendirilmiştir. 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 için %50'dir. Ayrıca bu veriler geliştirilmiş büyük çapta kurulması düşünülecek güneş bacası sistemleri için bir referanstır.

Zhou 2009'da, yaptığı çalışmada güneş bacası sistemleri için yararlanılacak maksimum baca yüksekliği ile maksimum güç elde edilmesinde kullanılacak sistemin optimum baca yüksekliği değerlerinin teorik olarak matematik modellemesini yapmıştır [13,27]. Yapılan çalışmada ilk yapılan model olan İspanya Manzanares güneş bacası elektrik santrali prototipi ölçüleri esas alınmıştır. Buna göre optimal baca yüksekliği olarak 615 m seçildiği takdirde maksimum çıkış gücü 102.2 kW olmaktadır. 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 arttırılması için seçilen maksimum baca yüksekliği ile maksimum güç için seçilen optimum baca yüksekliği kollektör alanının arttırılması ile artış göstermektedir.

Zhou vd. 2009'daki başka bir çalışmalarında, güneş bacası içerisine giren karşılıklı akış halinde olan havanın baca içerisinde yükselmesini üç boyutlu nümerik simülasyon sistemi ile modellemiştir [13,28]. Yapılan bu çalışmada parametrik performansı içeren statik basınç, statik sıcaklık, yoğunluk, akış içerisinde bulunan bağıl nem alanı 750 m karşıt düzlem geometrisinde simüle edilmiştir.

Güneş bacası enerji üretimi ile ilgili olarak çeşitli yerlerde uygulama prototipleri kurulmuştur.

Kulunk tarafından İzmit'te inşa edilen sistem, baca yüksekliği 2 m baca çapı 0.07 m kolektör alanı 9 m^2 olup 0.14 W elektrik üretilmiştir [29].

Çinin kuzeybatı bölgesinde Dai ve arkadaşları, 200 m yükseklik ve 10 m çaplı baca ve 196.270 m^2 lik kolektör alanına sahip güneş bacası enerji santralinden, aylık 110-190 kW elektrik enerjisi üretilmektedir [30].

1982 yılında Prof.Dr. Schlaich'ın, Alman Araştırma ve Teknoloji Bakanlığı tarafından yaklaşık 3,5 milyon USD ile finanse edilen bir proje kapsamında İspanya'nın Manzaranes bölgesinde prototip çalışması gerçekleştirilmiştir [31]. Bu prototipin; baca yüksekliği 194.6 m, baca çapı 10 m, kollektör çapı 244 m, nominal çıkış gücü 50 kW dır.

1997 yılında Padki ve Sherif tarafından, Amerika Florida Üniversitesi Enerji Servisi'nin desteklediği bir proje kapsamında Florida bölgesinde de bir prototip çalışması gerçekleştirilmiştir [5]. Baca yüksekliği 7,92 m, kollektör çapı 9,15 m, baca giriş çapı 2,28 m ve baca çıkış çapının ise 0,61 m olması nedeniyle deneysel amaçlı bir sistem olduğu söylenebilir.

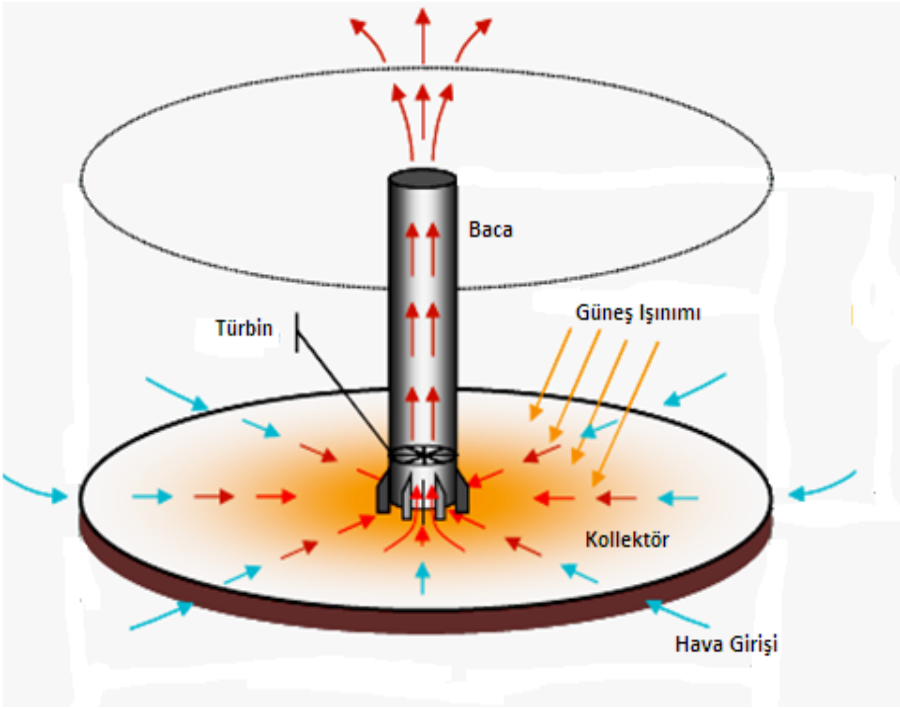
3. GÜNEŞ BACASI ELEKTRİK SANTRALİ TASARIMI

3.1. Güneş Bacası Elektrik Santral Yapıları

Güneş bacası sistemi için yapılan ilk tanımlamalardan biri 1931 yılında Alman yazar Hanns Gunther'e aittir. 1975 yılı başlarında Robert E. Lucier A.B.D., Kanada, İsrail ve Avustralya'da geçerli olmak üzere ilk patent başvurusunu yapan kişi olarak tarihe geçmiştir. Sonrasında ise 1980 yılında bir inşaat mühendisi olan Prof.Dr. Jörg Schlaich, Rudolf Bergerman ve arkadaşları önderliğinde İspanyanın Madrid kenti yakınlarında Manzanares adı altında bir güneş bacası prototipini geliştirmişlerdir [5,13]. 1989 yılına kadar başarıyla çalışan sistem, yaklaşık 50 kW güç üretim kapasitesine sahipti. Bu prototip hem güneş bacası fikrinin gerçekleştirilebilirliği açısından hem de bu konuda daha sonraki çalışmalara kaynak olacak ölçüm sonuçlarının alınması açısından başarılı sonuçlar vermiştir [5].

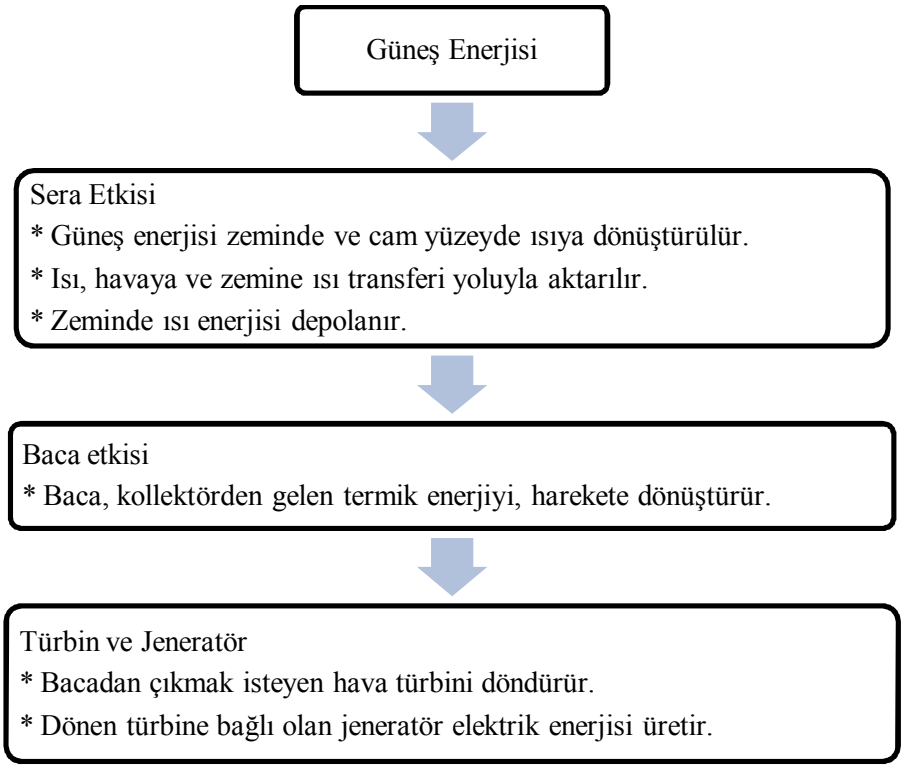
Güneş bacası sisteminde üç temel prensip bulunmaktadır. Bunlar; sera etkisi, yoğunluk ve sıcaklık farkıyla oluşan baca çekişi ve kinetik enerjidir. Sistem dairesel ya da dairesel kesite yakın bir kesitte oluşmuş sera alanından ve bu alanın merkezine konumlandırılmış bacadan oluşmaktadır. Dairesel cam kollektör altında bulunan hava, kollektör yüzeyine gelen güneş ışınımı sayesinde ısınır. Isınan hava, dış ortamdaki soğuk hava ile arasında oluşan yoğunluk farkından dolayı, kolektörün merkezine doğru hareket eder. Kollektör merkezinde bulunan dikey baca yardımıyla havanın çekişi hızlanır ve hava üst ucu açık olan baca tarafından dış ortama atılır. Hızı artarak bacaya yönelen hava, bacanın giriş bölgesinde bulunan türbini döndürür ve türbine bağlı olan jeneratör yardımıyla elektrik enerjisi elde edilmiş olur. Bu çevrim güneş ışınımı ne kadar büyükse o kadar hızlı bir şekilde gerçekleşir. Baca aynı zamanda kollektör altındaki havayı emdiği için, açık bulunan kollektör yanlarından sisteme tekrar hava girer. Böylece sürekli bir çalışma sağlanmış olmaktadır [5,13,32].

Şekil 3.1'de güneş bacasının temel çalışma prensibi verilmiştir.



Şekil 3.1 Güneş bacası sisteminin çalışma prensibi [15]

Şekil 3.2'de güneş bacası sistemi için enerji dönüşüm aşamaları verilmiştir.



Şekil 3.2 Güneş bacası sistemi için enerji dönüşüm aşamaları [33]

Güneş bacası sistemi temelde bir rüzgâr türbini şeklinde çalışsa da rüzgâr türbinlerinde yaşanan rüzgâr yoksa enerjide yoktur problemi güneş bacası sistemlerinde yaşanmaz. Çünkü güneş oldukça cam sera içerisindeki hava ısınıp baca içerisinden harekete geçecektir. Ayrıca sistemdeki hava akımı sürekli sabit olduğu için klasik rüzgâr türbinlerinde kullanılan rüzgâr akımının hangi yöne nereye doğru olduğunu belirlemeye yarayan karmaşık ve pahalı sistemlere gerek yoktur. Uygun büyüklükte kullanılacak baca altı sera alanı (kolektör) ve baca yüksekliği ile 150-200 MW güç üretilebilir. Böylece doğaya zarar vermeden birkaç nükleer santralin üreteceği enerji sağlanmış olur.

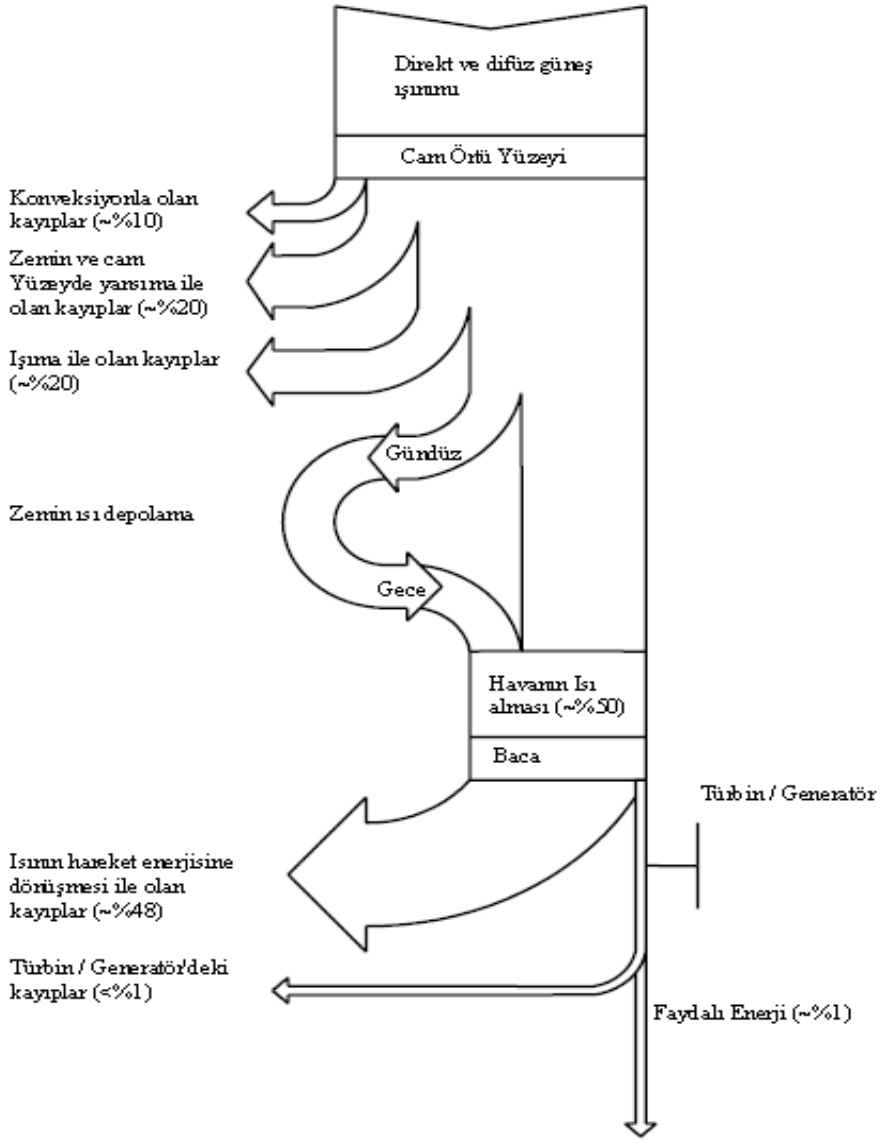
Güneş bacası bu özellikleri ile diğer enerji kaynaklarına göre bazı avantajlar sağlar [5,13,32,34]. Bunlar;

- Kollektör güneş ışınımının tamamını kullanır. Sistem kapalı havalarda dahi difüz ışınımlardan yararlanarak çalışır.
- Baca zemini bir ısı absorblayıcı olarak işlev görür ve aldığı enerjiyi 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 jeneratör 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.

Güneş bacasından elde edilen güç, gelen güneş miktarıyla, baca yüksekliğiyle ve kollektör alanı ile doğru orantılıdır. Aynı güç; yüksek baca ve nispeten küçük kollektör alanı veya daha kısa baca ve daha büyük bir kollektör alanı ile de elde edilebilir.

Şekil 3.3 bir güneş bacasındaki enerji akışını göstermektedir. Gözle görülür güneş ışınımının büyük bir kısmı cam kollektörden geçerek zemine ulaşır ve zemin bu enerjinin bir kısmını tekrar geri yansıtır. Aynı şekilde bu ışın da tekrar kollektör

tarafından absorbe edilir. Zemin ve kollektör yüzeylerinde oluşan bu farklı sıcaklıklar, kolektör kenarlarındaki açıklardan giren taze havaya iyi bir ısı transferi sağlar. Gün boyu gelen güneş ışınımı enerjisinin büyük bir bölümü zeminin alt kısımlarına doğru iletilir, zeminde depolanır ve gece tekrar yukarıdaki havaya doğru aktarılır. Böylece 24 saat boyunca kesintisiz bir çevrim elde edilmiş olur.



Şekil 3.3 Güneş bacası sistemi enerji akış diyagramı [5,34]

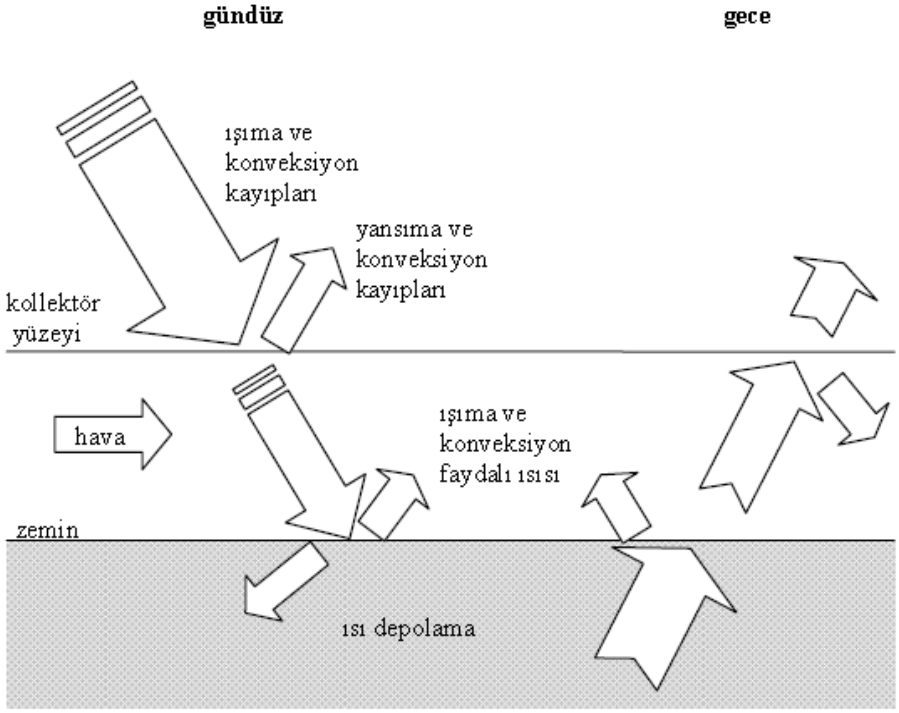
Güneş bacası sisteminin en büyük dezavantajı yüksek güç üretim sistemleri düşünüldüğünde büyük düzlem alanlara ihtiyaç duymaktadır. Güneş bacaları için en uygun coğrafi alanlar çöller ve rüzgâr enerjisinin az olduğu ve yeterli düzeyde sıcak hava ve yüksek ışınım değerlerine sahip olan Akdeniz, Afrika, Ortadoğu ülkeleridir.

Bunun yanında topladıkları güneş enerjisinin düşük bir oranını kullanır. Anlaşılacağı gibi çalışma verimleri düşüktür. Ancak basit yapısı ve kurulum maliyeti dışında fazla bir maliyet gerektirmemesi yönüyle bu dezavantajlar ortadan kalkar [13,32].

3.1.1. Kollektör

Yerden belirli bir yükseklikte üzeri cam veya şeffaf geçirgen bir malzeme ile kaplı olup güneş ışınlarını seradaki havaya aktaran kısımdır. Kollektör yüzeyi güneş ışınlarını ortama aktardığı gibi sera zemininden yansıyan ışınları tekrar ortama yansıtacak özelliğe sahiptir. Kollektör dış uçlardan başlayarak ortadaki bacaya doğru belirli bir eğim ile yükselen bir yapıya sahiptir. Böylece uç kısımlardan sera ortamına alınan hava bacaya doğru yönlendirilmiş olur.

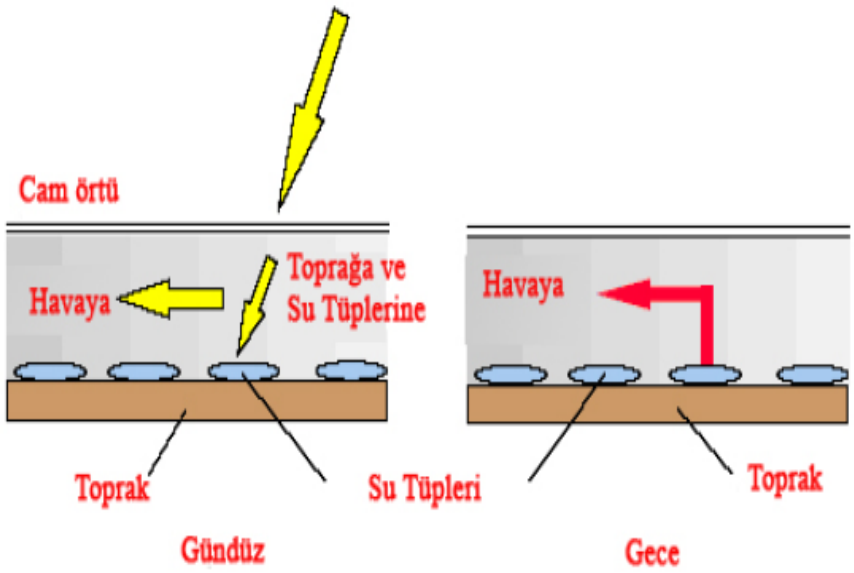
Kollektör üzerine gelen güneş ışınlarının çok az bir kısmı yansır, küçük bir kısmı kolektörü oluşturan malzeme tarafından absorbe edilir büyük çoğunluğu ise kollektör yüzeyinden geçerek zemin tarafından emilip depolanır. Gece zeminde depolanan ısı tekrardan ortama verilerek enerji dönüşümü devam eder. Şekil 3.4'de kollektöre gelen güneş ışınım durumu gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Kollektöre gelen güneş ışınımı [4,34]

Kollektör yüzey alanı ile sistemin üreteceği enerji doğru orantılı bir değişim gösterir. Bu nedenle kollektör alanının büyük seçilmesi enerji üretimini etkileyecektir.

Güneş ışınımının olmadığı gece saatlerinde de güneş bacasının çalışmasının devam etmesini sağlamak için bazı ek düzenekler kullanılabilir. Bunun için kollektör zeminine, içi su dolu hortum ya da borular döşenebilir. Hortum içerisindeki bu su gündüz ısınır ve bir miktar ısı enerjisi depolar. Depolanan bu enerji, güneş ışınının olmadığı gece tekrar kollektör altındaki havaya aktarılır ve sera içindeki havanın sıcaklığının düşmesi engellenmiş olur. Şekil 3.5'de su doldurulmuş tüpler kullanıldığında sera ortamında meydana gelen ısı depolama prensibi görülmektedir.



Şekil 3.5 Su doldurulmuş siyah tüpler kullanılan ortamda ısı depolama prensibi [13,31]

3.1.2. Baca

Kollektör alanının ortasında bulunan güneş bacası enerji santralinin esas güç üreten kısmıdır. Kollektör altında ısınan havanın çekimini yaparak enerji üretimi sağlar. Kollektör altında ısınan havanın bacadan yukarı çıkması kollektör altındaki havanın sıcaklık artışı ve baca hacmi ile doğru orantılı olarak değişir, büyük güneş bacası elektrik santrallerinde baca içindeki hava hızı 15 m/sn olabilmektedir.

Teorik olarak maksimum verim kollektörde oluşan sıcaklık farkına bağlıdır. Buna da baca yüksekliği etkendir. Baca verimi, türbin ve kollektör verimleri ile karşılaştırılırsa düşük kalır. Bunun için baca yüksekliği olabildiğince büyük seçilmelidir. Yüksek baca inşası zor görünse de günümüzde Kanada'da 553 m yüksekliğinde televizyon kulesi bulunurken Çin Halk Cumhuriyetinde ise 2009 yılının son çeyreğinde inşası biten 610 m yüksekliğinde televizyon kulesi yapılmıştır. Japonya'da ise 2000 m yüksekliğinde gökdelenlerin inşası için projeler düşünülmektedir [13].

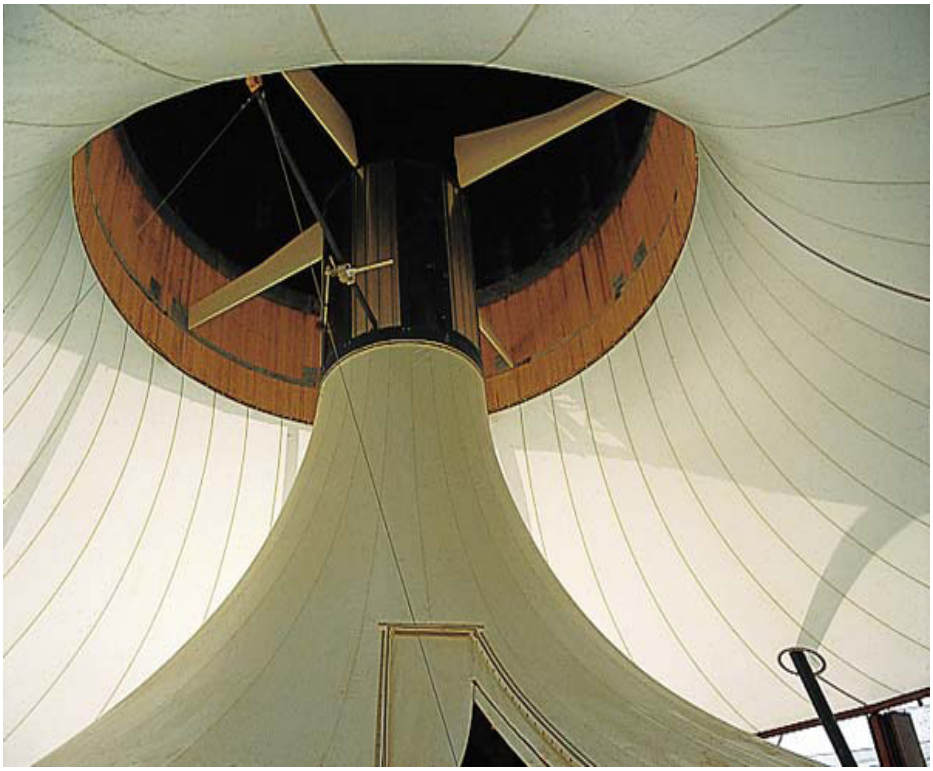
Çok yüksek baca inşaatları için en güvenli yöntemlerden biri de donatılı ankastre betonarme bacalardır. Betonarme bacaların ekonomik ömürleri çok yüksektir. Yüksek baca yapılmayacaksa ya da materyal olarak çelik kullanılacak ve baca inşaatı yapılacaksa çelik tellerle gerdirerek destek verilmelidir [13].

3.1.3. Türbin

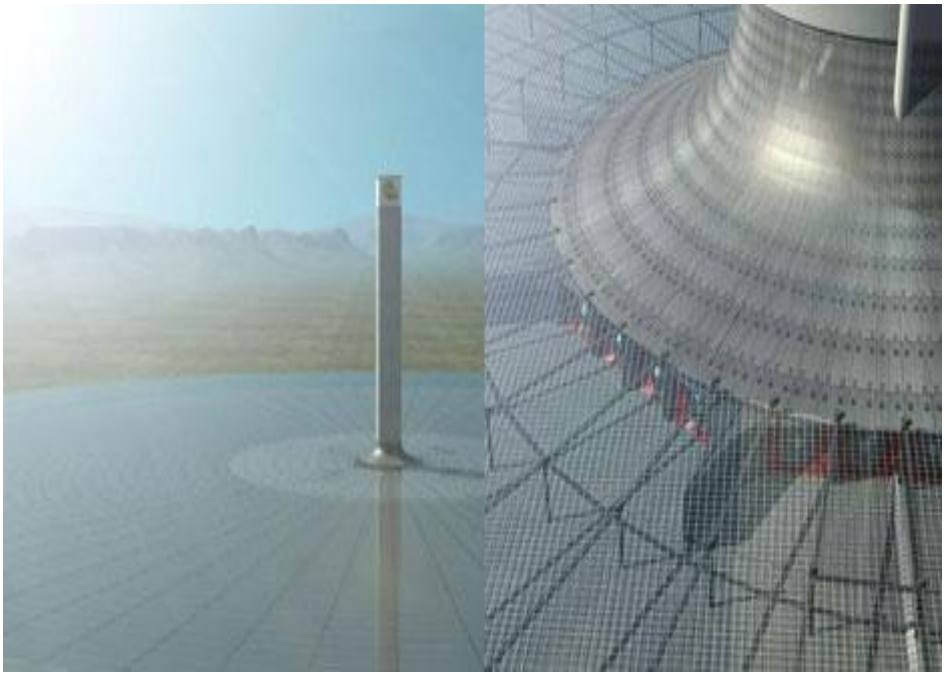
Türbin güneş bacası sistemlerinde hava akımı içinde bulunan kinetik enerjiyi mekanik enerjiye dolayısıyla da elektrik enerjisine dönüştüren kısımdır. Güneş bacası enerji santrallerinde kullanılan türbinler rüzgar türbinlerinde olduğu gibi hız kademeli değil, basınç kademeli rüzgar turbo jeneratörleri gibi çalışırlar. Bu tip türbinlerdeki güç yoğunluğu hız kademeli türbine göre oldukça yüksektir. Aynı çapa sahip olması durumunda yaklaşık 10 katlık bir güç farkı vardır.

Türbinin girişinde ve çıkışındaki hava hızı hemen hemen eşittir. Elde edilen güç türbinden geçen hava miktarına ve basınç düşüm miktarına bağlıdır. Türbinler normalde bacanın alt kısmına yani bacanın dirsek kısmının alt tarafına yerleştirilirler [5].

Büyük güç sistemlerinde birden fazla türbin kullanılacak ise türbinler kollektör ile baca birleşim yerine yatay eksenli olarak yerleştirilebilir.



Şekil 3.6 Manzaranes prototipinde kullanılan türbin [5]



Şekil 3.7 Avustralya Enviromission solar baca santralinde kullanılan 32 adet türbin [14]

3.2 Matematiksel Model

Güneş bacalarında temel değişkenlerin, güç üretimine olan etkisi ve bağımlılıkları aşağıda verilmiştir. Güneş bacalarının güç üretimi P'yi hesaplamak için güneş girdisi kolektörün, bacanın ve türbin ile ilgili verimler sırasıyla çarpılır [15,36]:

$$P = \dot{Q}_{solar} \cdot \eta_{koll} \cdot \eta_{baca} \cdot \eta_{türbin} = \dot{Q}_{solar} \cdot \eta_{sistem} \quad (3.1)$$

Güneş bacasına giren solar enerji $\dot{Q}_{solar}$ global yatay ışınımı (radyasyon) G_h ve kolektör alanının A_{koll} çarpımı olarak yazılabilir [15,36].

$$\dot{Q}_{solar} = G_h \cdot A_{koll} \quad (3.2)$$

Baca, kolektörün ürettiği ısı akışını kinetik (konveksiyon akımı) ve potansiyel enerjiye (türbindeki basınç düşümü) çevirir. Bu yüzden kolektördeki ısı artışından dolayı oluşan havadaki yoğunluk farkı itici güç olarak çalışır. Kolektörün tabanın da ısınan hava atmosfere bacanın tepesinden verilir bundan dolayı hava akımı kaldırma kuvveti kazanır. Çevreyle bacanın tabanındaki (kolektör çıkışı) basınç farkı Δp_{tot} şu şekilde hesaplanır [15,36]:

$$\Delta p_{tot} = g \cdot \int_0^{H_t} (\rho_a \cdot \rho_c) \cdot dH \quad (3.3)$$

Burada;

g : Yerçekimi ivmesi

H_t : Baca (tower) yüksekliği

ρ_a : Çevre hava yoğunluğu

ρ_c : Baca içi hava yoğunluğu

Böylece Δp_{tot} baca yüksekliği ile doğru orantılı olarak artar.

Basınç farkı Δp_{tot} sürtünmeden oluşan kayıpları ihmal ederek statik ve dinamik bileşenlerin toplamından bulunabilir [15,36]:

$$\Delta p_{tot} = \Delta p_s + \Delta p_d \tag{3.4}$$

Statik basınç farkı türbinde düşer ancak dinamik bileşen hava akımının kinetik enerjisini tanımlar. $\Delta p_s = 0$ iken toplam basınç farkı ve havanın debisi göz önüne alınırsa akımdaki P_{tot} [32,36]:

$$P_{tot} = \Delta p_{tot} \cdot V_{baca,max} \cdot A_{koll} \tag{3.5}$$

Burada;

$V_{baca,max}$: Baca içindeki maksimum akım hızı
A_{koll} : Kolektör alanını göstermektedir.

Buradan da baca için verim aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\eta_{baca} = \frac{P_{tot}}{Q} \tag{3.6}$$

Asıl basınç farkının statik ve dinamik bileşenlere ayrılması türbinin üretmeye başladığı enerjiye bağlıdır. Türbinsiz bacanın içinde maksimum akım hızı $V_{baca,max}$ elde edilir ve tüm basınç farkı havayı hızlandırır ve böylece kinetik enerjiye dönüşür [32,36]:

$$P_{tot} = \frac{1}{2}\, m\, V_{baca,max}^2 \tag{3.7}$$

Boussinesq denklemi kullanarak serbest aktarımda elde edilen hız [32,36];

$$V_{baca,max} = \sqrt{2.g.\, H_t\, .\, \frac{\Delta T}{T_0}} \tag{3.8}$$

Bu ifadede;

H_t : Baca (tower) yüksekliği

T_0 : Çevre sıcaklığı

ΔT : Çevre sıcaklığından kollektör çıkışı (baca girişi) sıcaklığa kadar artışı göstermektedir.

Yukarıdaki denklemler kullanılarak baca verimi şu şekilde ifade edilebilir;

$$\eta_{baca} = \frac{g.H}{c_p.T_0} \tag{3.9}$$

Kollektör verimi;

$$\eta_{koll} = \frac{\dot{Q}}{A_{koll}.G} \tag{3.10}$$

Burada; Q kollektör çıkışındaki güç, A_{koll} kollektör yüzey alanı, G ise kollektör yüzeyine gelen anlık toplam güneş ışınımını göstermektedir.

$$\dot{Q} = \dot{m} . c_p . \Delta T \tag{3.11}$$

$$\dot{m} = \rho_{koll} . V_{koll} . A_{koll} \ (\rho_{koll} = T_0 + \Delta T) \tag{3.12}$$

Buna göre kollektör verim denklemi aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\eta_{koll} = \frac{\rho_c.V_c.A_c.c_p.\Delta T}{A_{koll}.G} \tag{3.13}$$

Kollektördeki ısı denkliği ise şu şekilde yazılır:

$$Q = \propto . A_{koll} . G - \beta . \Delta T . A_{koll} \tag{3.14}$$

Elde edilen bu denklem (3.10) denklemine yazılırsa kollektör verimi için ikinci bir eşitlik elde edilir.

$$\eta_{koll} = \propto - \frac{\beta . \Delta T}{G} \tag{3.15}$$

Denklem (3.13) ve denklem (3.15) bir birine eşitlenip hava hızı V_c çekilirse:

$$V_c = \frac{\propto . A_{koll} . G - \beta . \Delta T . A_{koll}}{\rho_c . A_c . c_p . \Delta T} \tag{3.16}$$

elde edilir. Denklem (3.6) dan P_{tot} çekilip, Q yerine yazılırsa toplam güç için aşağıdaki denklem elde edilir.

$$P_{tot} = \frac{g . H}{c_p . T_0} \rho_c . c_p . V_c . \Delta T . A_c \tag{3.17}$$

Ayrıca hacimsel debi için;

$$\dot{V} = V_t . A_t$$

eşitliği yazılırsa, denklem (3.5)

$$P_{türbin} = \dot{V} . \Delta p_{türbin} \tag{3.18}$$

haline gelir.

Bu denklem elektrik sistemlerindeki P = U.I denklemindeki akım ve gerilimin çarpılmasıyla elde edilen güç ifadesine benzemektedir. Buradaki I, hacimsel debiye ve U ise $\Delta p_{türbin}$ terimine karşılık gelmektedir. $\Delta p_{türbin}$ 'nin sıfır olduğu durumda elde edilen güç sıfır olur.

Diğer taraftan $\Delta p_{türbin} = \Delta p_{top}$ olduğunda ise boşta çalışma ortaya çıkar. Bu iki durum arasında $P_{türbin}$ maksimum bir değer alır. Bu durumda hava hızı aşağıdaki şekilde ifade edilir [5];

$$V_{t,max} = \sqrt{\frac{2}{3} . \frac{\Delta p_{türbin}}{\rho_t}} \tag{3.19}$$

Buna göre, maksimum bir güç elde etmek için, tüm basınç farkının 2/3'ünün türbinde düşmesi gerekir. Böylece türbinden elde edilecek mekanik güç [5];

$$P_{mek} = \frac{2}{3} \eta_{baca} . \eta_{koll} . A_{koll} . G \tag{3.20}$$

Bu denklemde verim ifadeleri yerine yazıldığında;

$$P_{mek} = \frac{2}{3} \frac{g . H}{c_p . T_0} . \left(\propto - \beta . \frac{\Delta T}{G} \right) . A_{koll} . G \tag{3.21}$$

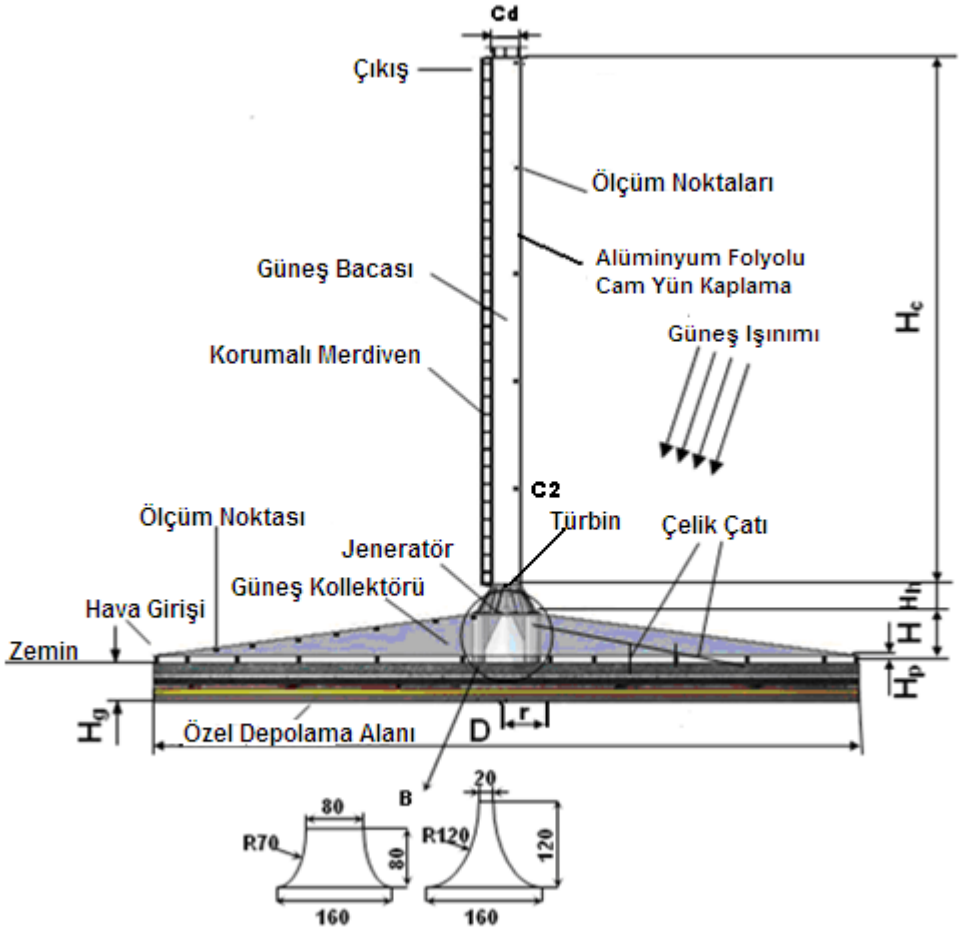
elde edilir. Buradan elde edilen mekanik güç türbin verimiyle çarpılarak sistemden elde edilecek elektrik gücü aşağıdaki gibi hesaplanabilir [5]:

$$P_{elk} = P_{mek} . \eta_{türbin} \tag{3.22}$$

3.3. Sistemin Kurulumu

Araştırmanın yapılabilmesi için Mart 2009'da Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu bölgesinde 38° 11° – 37° 25° kuzey enlemi ile 39° 14° – 37° 31° doğu boylamı üzerinde yer alan, 669 rakımlı Adıyaman ilinde, Adıyaman Üniversitesi yerleşke alanı içinde günün tüm saatlerinde güneş gören ve çevresi açık alan seçilerek kurulmaya başlanan sistem, Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenen proje ile Haziran 2010'da güneş bacası enerji santral prototipi kurulmuştur. Ayrıca prototip imalatı aşamasında TPAO Adıyaman Bölge Müdürlüğünden destek alınmıştır.

Şekil 3.8'de Adıyaman Üniversitesi kampüs alanına kurulan güneş bacası sisteminin şematik diyagramı ve Çizelge 3.1'de sistemin fiziksel parametreleri verilmiştir.



Şekil 3.8 Güneş bacası sisteminin şematik diyagramı [35]

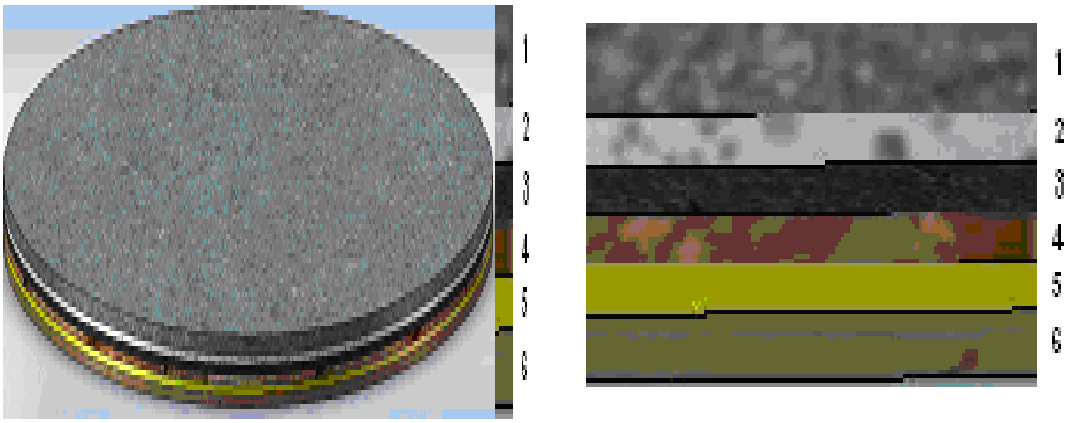
Çizelge 3.1 Güneş Bacası Sisteminin Fiziksel Parametreleri

Parametre	**Sembol**	**Değer (m)**
Kollektör Çapı	D	27
Huni Yarıçapı	r	1.1
Kollektör Çıkışının Zemine Göre Yüksekliği	H	1.35
Kollektör Uç Açıklığı	H_p	0.05
Baca Çapı	C_d	0.8
Baca Yüksekliği	H	15
Özel Depolayıcı Zemin Yüksekliği	H_g	0.5
Huni Yüksekliği	H_h	0.8
İç Huninin Taban Genişliği ve Yüksekliği	B	1.6-0.8
Türbinin Zeminden Yüksekliği	C_2	2.15

3.3.1. Zeminin Hazırlanması

Güneş bacasının gündüz performansı, güneş ışınımı ve çevre sıcaklığından dolayı maksimum değerlerdedir. Gece çevre sıcaklığının hızla düşmesi ile kolektörün altındaki sıcak havanın düşmesi performansı çok hızlı bir şekilde düşürmektedir.

Bu yüzden gece güneş bacasının performansını devam ettirebilmesi için gündüz güneş ışınımını absorbe edip ısı olarak depolayacak bir zemine ihtiyaç olduğundan aşağıda şematik diyagramı, imalat bilgileri ve resimlerle gösterilen özel zemin hazırlanmıştır [36].

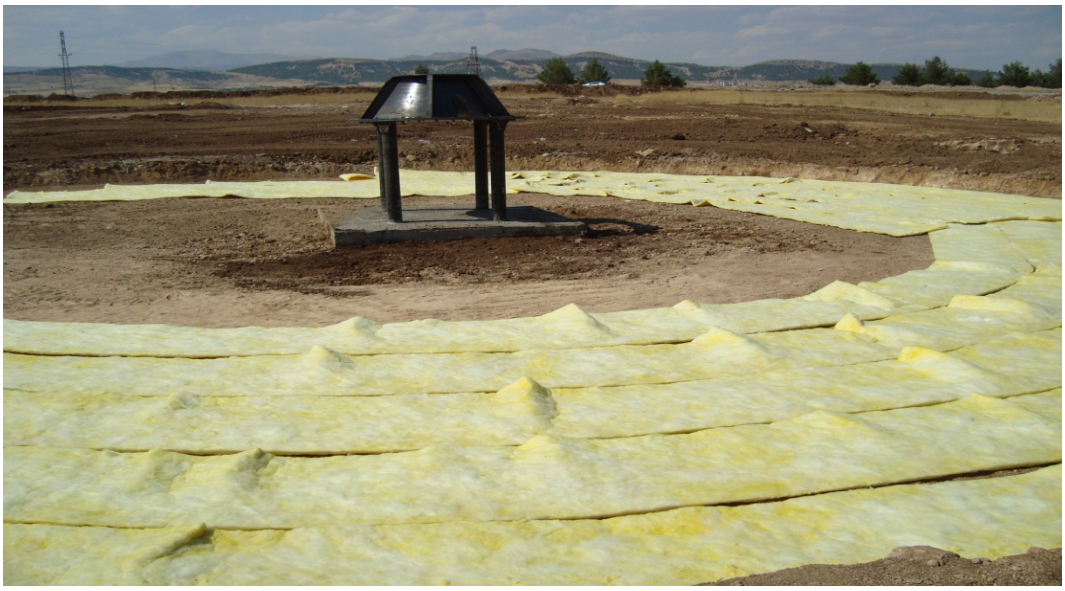


Şekil 3.9 Hazırlanan özel zeminin şematik diyagramı (1.asfalt 2.cam parçaları 3.ince kum 4. çakıl, 5. alüminyum folyolu cam yünü 6. toprak zemin

Öncelikle 27 m çapında 0,5 m derinliğinde açılan çukura 0,05 m kalınlığında alüminyum folyolu cam yünü döşenerek, gündüz zemine depolanacak ısının toprağa geçmesi engellenmiştir [36].



Şekil 3.10 Güneş bacası sistemin zemin yapımını gösteren fotoğraf; toprak zemin



Şekil 3.11 Güneş bacası sistemin zemin yapımını gösteren fotoğraf, alüminyum folyolu cam yünü

Daha sonra alüminyum folyolu cam yünü üzerine 0.10 m kalınlığında çakıl, 0.05 m ince kum, 0.05 m (15 ton) cam parçaları, en üst yüzeye ise 0.25 m asfalt döşenerek özel zemin hazırlanmıştır [36].



Şekil 3.12 Güneş bacası sistemin zemin yapımını gösteren fotoğraf; çakıl serilmesi



Şekil 3.13 Güneş bacası sistemin zemin yapımını gösteren fotoğraf; ince kum serilmesi



Şekil 3.14 Güneş bacası sistemin zemin yapımını gösteren fotoğraf; cam kırıklarının serilmesi



Şekil 3.15 Güneş bacası sistemin zemin yapımını gösteren fotoğraf; asfalt zemin

3.3.2. Bacanın Hazırlanması

Güneş bacası sisteminin en önemli kısımlarından olan baca imalatında öncelikle türbin ve jeneratörün monte edileceği ve kollektör altından bacaya doğru yönlendirilen havanın türbinden düzgün bir dağılımla geçip bacaya girmesini sağlamak için 0.07 m kalınlığında metal sac'dan ana huni ve iç huni üretilmiştir. Daha sonra ana huninin taşıyıcı ayaklarla ve baca ile bağlantısını sağlamak için ana huninin alt ve üst kısımlarına 0.2 m kalınlığında flanşlar monte edildi. Ana huninin özel zemin döşemeleri yapılmadan önce toprağa sağlam bir şekilde sabitlenmesini sağlamak için kafes yapı oluşturuldu. En son olarak 0.07 m kalınlığında metal sac'dan yapılmış 15 m yüksekliğinde 0.8 m çapında baca imal edilip ana huni üzerine yerleştirildi. Bacanın iç kısmını düşük sıcaklıkta tutmak için baca çevresi 0.05 m kalınlığında alüminyum folyolu cam yünü ile kaplandı.



Şekil 3.16 Güneş bacası sistemi için hazırlanan ana huni ve iç huni



Şekil 3.17 Güneş bacası sistemi için hazırlanan taşıyıcı ünite



Şekil 3.18 Hazırlanan Baca



Şekil 3.19 Bacanın ana huni üzerine konması

3.3.3. Kollektörün Hazırlanması

Güneş bacası sisteminde güneş ışınımlarının ısıya dönüştürün sera ortamının hazırlanması için kollektör imal edildi. Kollektör taşıyıcı kısımları çevredeki rüzgâr şiddetine dayanıklı olması için 0.04 x 0.04, 0.04 x 0.08 ve 0.02 x 0.02 metal kare ve dikdörtgen profillerden imal edildi. Zemin sıcaklığının kolektörü oluşturan metal profiller tarafından absorbe edilmemesi için metal profiller zeminden yalıtıldı. Güneş kollektörü, Adıyaman ilinin güneş eğim açısına göre 6^0 derece eğimli imal edildi. Kolektörün üst kısmı oluşturulan modellere göre dört aşamada 0.004 m kalınlıktaki cam ile kaplandı. Cam ve profil araları esneklik, sızdırmazlık ve sağlamlık kazandırmak için silikon ile dolduruldu. Kollektörün uç kısımları hava girişini sağlamak için 0.05-0.35 m yüksekliklere göre ayarlanabilen kanatçıklı bir mekanizma ile kapatıldı. Güneş bacasının rüzgara dayanıklılığını arttırmak için baca 4 farklı noktadan zemine çelik halatlar yardımıyla sabitlendi [35].



Şekil 3.20 Güneş bacası sistemi güneş kollektörünün taşıyıcı metal profil aksamı



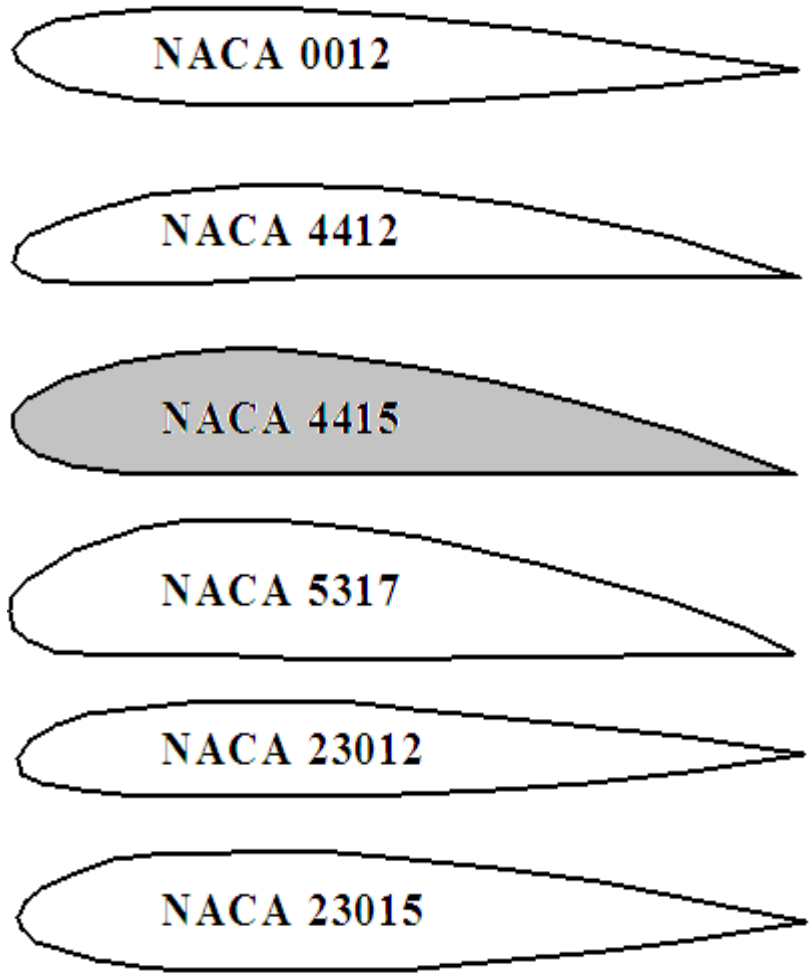
Şekil 3.21 Güneş bacası sistemi güneş kollektörünün camlarının montajı



Şekil 3.22 Güneş bacası sistemi güneş kollektörü hava girişini kontrol eden kanatçık yapı

3.3.4. Türbin ve Jeneratör

Araştırmamızda türbin olmadan yapılan ölçümler sonucunda baca girişine bir adet düşey eksenli özel olarak imal edilmiş rüzgar türbini ve DC jeneratör kullanılmasının uygun olacağına karar verilmiştir. Kanat profillerinin seçiminde "National Advisory Committe for Aeronautics (NACA)" 'in belirlediği esaslar dikkate alınmıştır. Kanat profillerinde kullanılan harfler ve rakamlar NACA' ya göre tanımlanmıştır.



Şekil 3.23 NACA Kanat Profil Örnekleri

Araştırmada kullanmak üzere özel olarak imal edilmiş NACA 4415 kanat profili kullanılmıştır. Kodlamalarda "44" kanat profilini "15" de kanat kamburluğunun, kanat kiriş uzunluğuna olan yüzde oranını göstermektedir [37].

Rüzgâr Türbinin performansına etki eden en önemli faktörler; rüzgâr hızı ve kanatçıkların çapına bağlı süpürme alanıdır. Rüzgâr gücü, rüzgâr hızı arttıkça hızın küpüyle ve çarkın alanıyla doğru oranlı olarak artacaktır. Maksimum enerjiyi sağlayan bağıntı aşağıdaki gibidir;

Rüzgâr içerisindeki kinetik enerji;

$$T = \frac{1}{2} . \rho . A . V_r^3 \tag{3.23}$$

Ancak bu enerjinin belirli bir kısmından kanatçıklar faydalanmaktadır;

$$P_{max} = C_{pBetz} . \frac{8}{27} . \rho . A . V_r^3 \tag{3.24}$$

Bu iki denklemden;

$$C_{pBetz} = \frac{P_{max}}{T} = \frac{16}{27} = 0{,}5926 \tag{3.25}$$

C_{pBetz} : Betz Katsayısı (güç faktörü olup maksimum %59.26 dır. Bu değere Lanchester-Betz limit denir. Bu limit bir rüzgâr türbinin en fazla %59.26 verime sahip olacağını göstermektedir) [37].

Küçük boyutlarda üretim yapılacağından dolayı jeneratör seçiminde, büyük ölçekli rüzgâr türbinlerinde kullanılan dinamolar yerine DC jeneratör kullanılması ön görülmüştür. Güç üretiminde kullanılacak DC jeneratörün avantajları; pratik olması, değişiminin kolaylıkla yapılabilmesi, kanatçıların bağlı bulunduğu mile daha az dönme direnci uygulaması, maliyetinin düşük olması ve akümülatörlere depolanmasının kolaylığıdır.

Adıyaman Üniversitesi kampüs alanında kurulan güneş bacası sistemi için özel olarak tasarlanmış kanat çapı 0.8 m ve 1.2 m olan türbinler imal edilmiştir. Bu türbinlerin kanat sayıları 1, 2, 3, 4, 5 olmak üzere değişik kanat sayılarında tasarlanmış ve her bir model için ölçümler alınmıştır.



Şekil 3.24 Güneş bacası sisteminde kullanılan türbinler (r = 0.4 m)



Şekil 3.25 Güneş bacası sisteminde kullanılan türbinler (r = 0.6 m)

Sistem üzerinde yapılan hava akış hızı, jeneratörün konulacağı alan gibi hesaplamalardan sonra sistem için özel olarak DC jeneratör imalatı yaptırılmıştır. Sistem de kullanılan jeneratörün teknik özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir:

Çizelge 3.2 Güneş bacası sisteminde kullanılan jeneratörün temel parametreleri

Boyut (mm)	**Ağırlık (Kg)**	**Frekans (Hz)**	**Güç (W)**	**Gerilim (V)**	**Akım (A)**	**Devir (RPM)**
85x200x82	3,8	40-80	100 (Max)	35-70 (DC)	4	600-1200



Şekil 3.26 Güneş bacası sisteminde kullanılan jeneratör



Şekil 3.27 Güneş bacası sisteminde kullanılan jeneratörün iç huni üzerine montajı



Şekil 3.28 Güneş bacası enerji santral prototipinin bitmiş hali

3.4. Ölçüm Sistemi

Güneş bacasının sağlıklı ve detaylı bir analizini yapabilmek için mümkün olduğunca çok noktadan deneysel veri alınmıştır. Bu deneysel verileri elde etmek için aşağıdaki ölçüm cihazları kullanılmıştır:

1. Kolektör ve baca içindeki havanın ve ortam sıcaklığını ölçmek için 10 adet -50 – 150 ^{0}C aralığında ve ±0.01 ^{0}C hassasiyetli Pt 100 (Platin rezistanslı termometre sensörü) Termokupl,

2. Kolektör, baca içindeki ve ortam hava hızını ölçmek için 10 adet ±0.01 m/s hassasiyetinde, pervane çapı 50 mm olan 8 kanatlı Homis Anemometre,

3. Zeminin sıcaklığını ölçmek için 5 adet -50 – 750 ^{0}C aralığında ±1 ^{0}C hassasiyetli İnfrared Termometre

4. Türbinin dönüş hızını ölçek için 3 adet 5 – 99.999 RPM ölçüm aralıklı ±0,05 hassasiyetli Foto-Laser Tip Dijital Takometre,

5. Güneş ışınım değerlerini, günlük ve 10 dakika ara ile ölçen ve bu değerleri veri toplayıcı ile kayıt eden CMP21 model Pyranometer kullanılmıştır.



Şekil 3.29 Anemometre



Şekil 3.30 İnfrared Termometre



Şekil 3.31 Foto-Laser Tip Dijital Takometre



Şekil 3.32 CMP21 Pyranometer

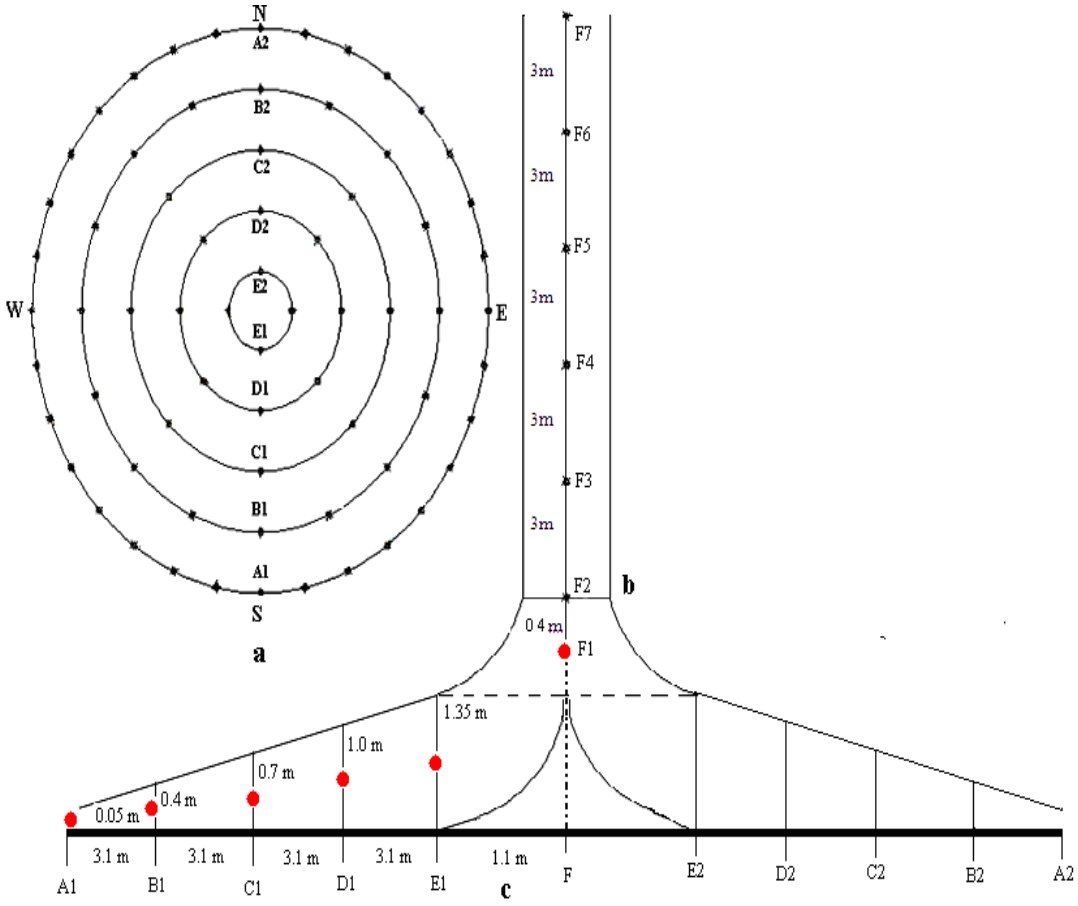


Şekil 3.33 Pt100 Termokupl

3.5. Ölçüm İşlemleri

Kurulan güneş bacası enerji santrali prototipi üzerinde değişik noktalardaki hız, sıcaklık ve türbinin devir hızını incelemek için, Bölüm 3.4'de verilen ölçüm cihazları ile sistemin tüm ünitelerinde çoklu ölçüm noktalarında deneysel ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Güneş bacası siteminde hava hızı ve sıcaklık dağılım ölçüm noktaları şekil 3.34'de görülmektedir.

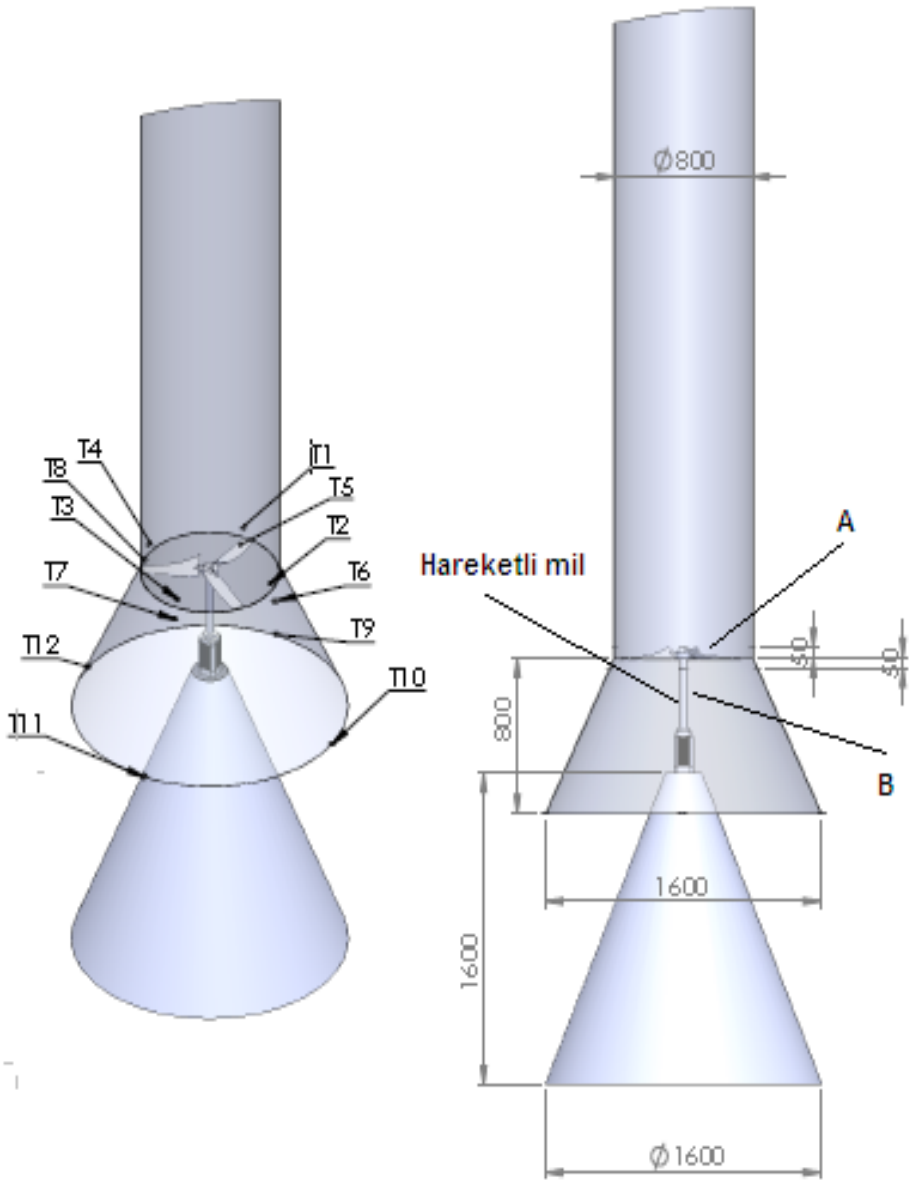


Şekil 3.34 Güneş bacası sisteminde hava hızı ve hava sıcaklıklarının ölçüm noktaları, **a**: zeminin (asfalt) ölçüm noktaları, **b**: bacanın merkezinden ölçülen noktalar ve yükseklikleri, **c**: kolektörün altında ölçüm noktaları ve yükseklikleri [38].

Kollektörün altındaki zemin (asfalt) sıcaklık dağılımı lazer (infrared) termometre ile Şekil 3.34.a'da görülen güney ve kuzey cephelerindeki noktalarda, Şekil 3.34.c'de görülen A, B, C, D, E, F uzaklıklarda (0 m) yükseklikte ölçülmüştür.

Kollektör (sera) altındaki havanın sıcaklık dağılımı ve hava hızı değişimleri Şekil 3.34.a'da görülen güney ve kuzey cephelerindeki noktalarda, Şekil 3.34.c' de görülen A, B, C, D, E, F uzaklıklarda ve yüksekliklerde ölçülmüştür. Bacanın içindeki sıcaklık dağılımı ve hava hızı ölçümleri Şekil 3.34.b'de görülen noktalar ve yüksekliklerde ölçülmüştür.

Güneş bacası sisteminin türbin girişi ve çıkışı hava sıcaklık değişimi, hava hızı ve türbin devir ölçüm noktaları Şekil 3.35'de görülmektedir



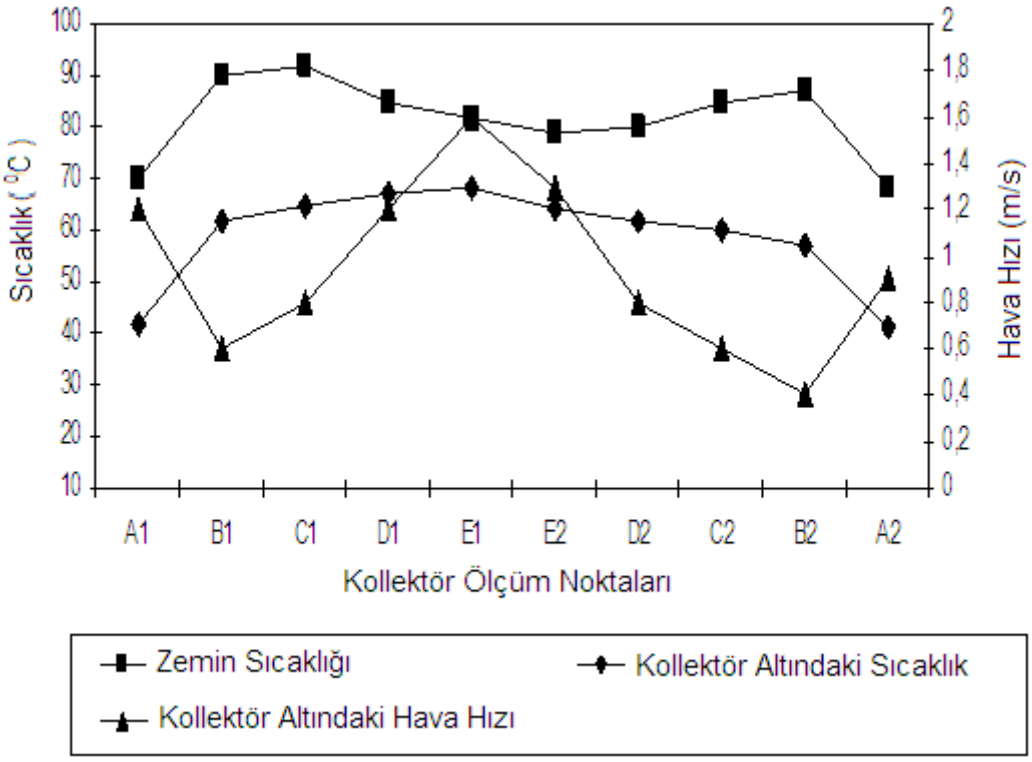
Şekil 3.35 Güneş bacası sisteminde türbin girişi ve çıkışı hava sıcaklıkları, hava hızları ve türbin devir sayısının ölçüm noktaları. A: r = 0.4 m türbin konumu, B: r = 0.6 m türbin konumu.

Özel olarak tasarlanan değişik çap ve kanat sayılı türbinler sırayla iç huni üzerine yerleştirilmiş jeneratör rotor miline monte edilerek türbin girişindeki ve çıkışındaki hava hızları, ortam sıcaklığı ve türbinin devir sayısı Bölüm 3.4'de verilen ölçüm cihazları ile ölçülmüştür. 0.8 m çapındaki değişik kanat sayılı türbinler baca girişine sürtünme olmayacak şekilde monte edilirken, 1.2 m çapındaki türbinleri jeneratöre monte etmeden önce hareketli jeneratör rotor mili ana huni içinde aşağı doğru hareket ettirilerek türbin kanatlarının huni iç yüzeyine sürtünmemesi sağlanmış ve istenen ölçümler bu konumda gerçekleştirilmiştir.

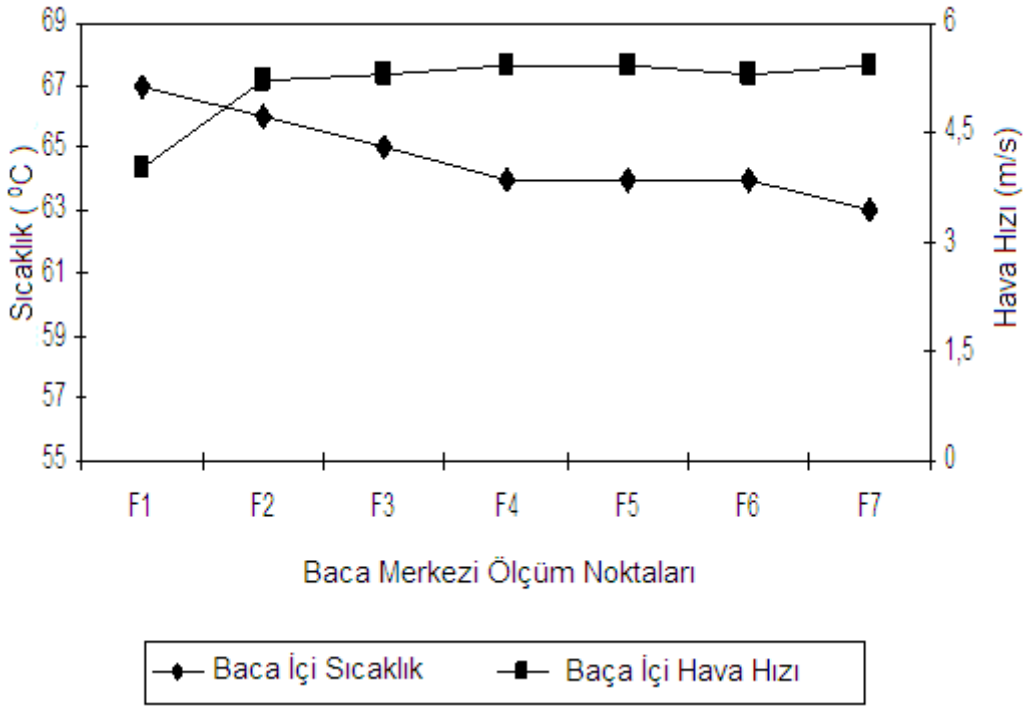
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Güneş bacası sisteminde türbin montajı yapılmadan önce gerçekleştirilen ölçümler 22 Temmuz 2010 ile 31 Temmuz 2010 tarihleri arasında günlük olarak yapılmış elde edilen veriler paralellik gösterdiğinden 26 Temmuz 2010 tarihinde elde edilen veriler kullanılmıştır.

Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de verilen kolektörün, zeminin ve bacanın içindeki sıcaklık ve hava hızı ölçümleri Adıyaman'ın yoğun güneş ışınımının yüksek olduğu saat 13.00'da alınmıştır.

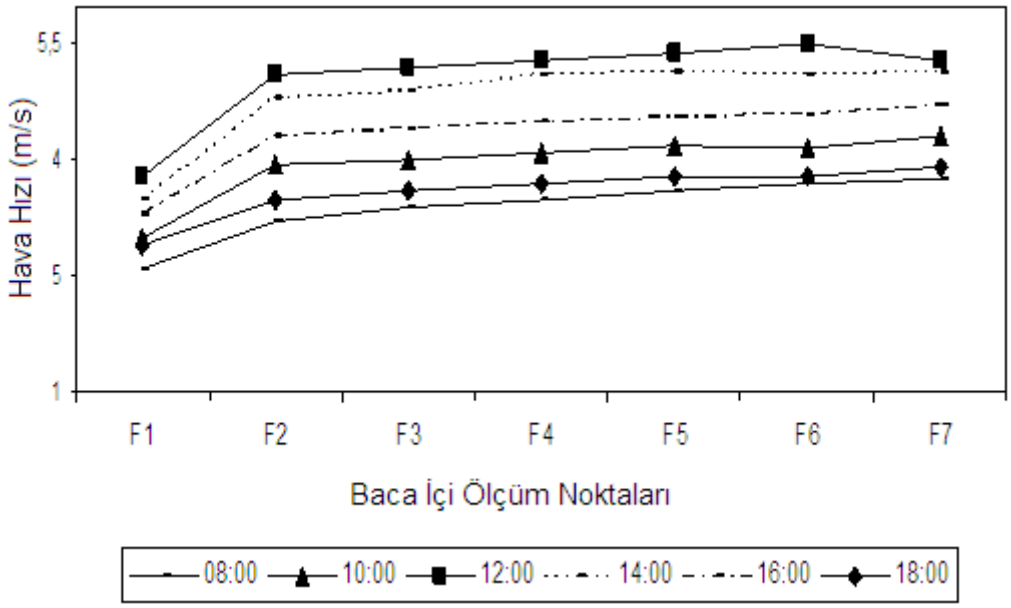


Şekil 4.1 Güneş bacası sistemin de belirlenen noktalarda ve yükselliklerde zemin, kolektör sıcaklık dağılımı ve hava hızı değişimi. (Saat 13:00'da çevre sıcaklığı 41 ^{0}C, çevre hava hızı 1,3 m/s, güneş ışınımı 830 W/m2).



Şekil 4.2 Güneş bacası sistemin de belirlenen noktalarda ve yükselliklerde bacanın merkezindeki havanın sıcaklık dağılımı ve hava hızı değişimi. (Saat 13:00'da çevre sıcaklığı 41 ^{0}C, çevre hava hızı 1,3 m/s, güneş ışınımı 830 W/m2).

Şekil 4.1 kollektör altındaki ve zeminin hava sıcaklığı değişimini vermektedir. Şekil 4.1'de zeminin çok mükemmel bir şekilde güneş ışınımını absorbe ederek ısındığı ve bu ısının bir kısmını, kollektörün giriş kısmından gelen hava akımına ileterek bacaya doğru daha da ısınarak ilerlediği görülmektedir. Güney ve kuzey cephelerindeki sıcaklık dağılımı çok farklılık göstermemekle beraber güney cephesindeki A1-E1 noktalarındaki sıcaklık, kuzey cephesindeki A2-E2 noktalarındaki sıcaklıktan daha fazla olduğu, bu da kollektörün güney cephesindeki eğimin güneş ışınımına daha çok maruz kaldığı, daha fazla güneş ışınımı aldığını ve verimli olduğunu göstermektedir. Kollektör merkezindeki F1 noktasının sıcaklığının en yüksek, A2 noktası hem kuzey cephede olması hem de kollektörün giriş kısmı olduğu için en düşük sıcaklığı göstermektedir. Şekil 4.2'de bacanın giriş ve merkezi, kolektöründe çıkış noktası olan F2 noktasındaki sıcaklık ortam sıcaklığından 25,5 ^{0}C daha fazla olduğu ve F2 noktasında hava akımının hızla yükseldiği görülmektedir. Şekil 4.2'de görüldüğü gibi sıcaklık bacadan yükseldikçe azalmaktadır.



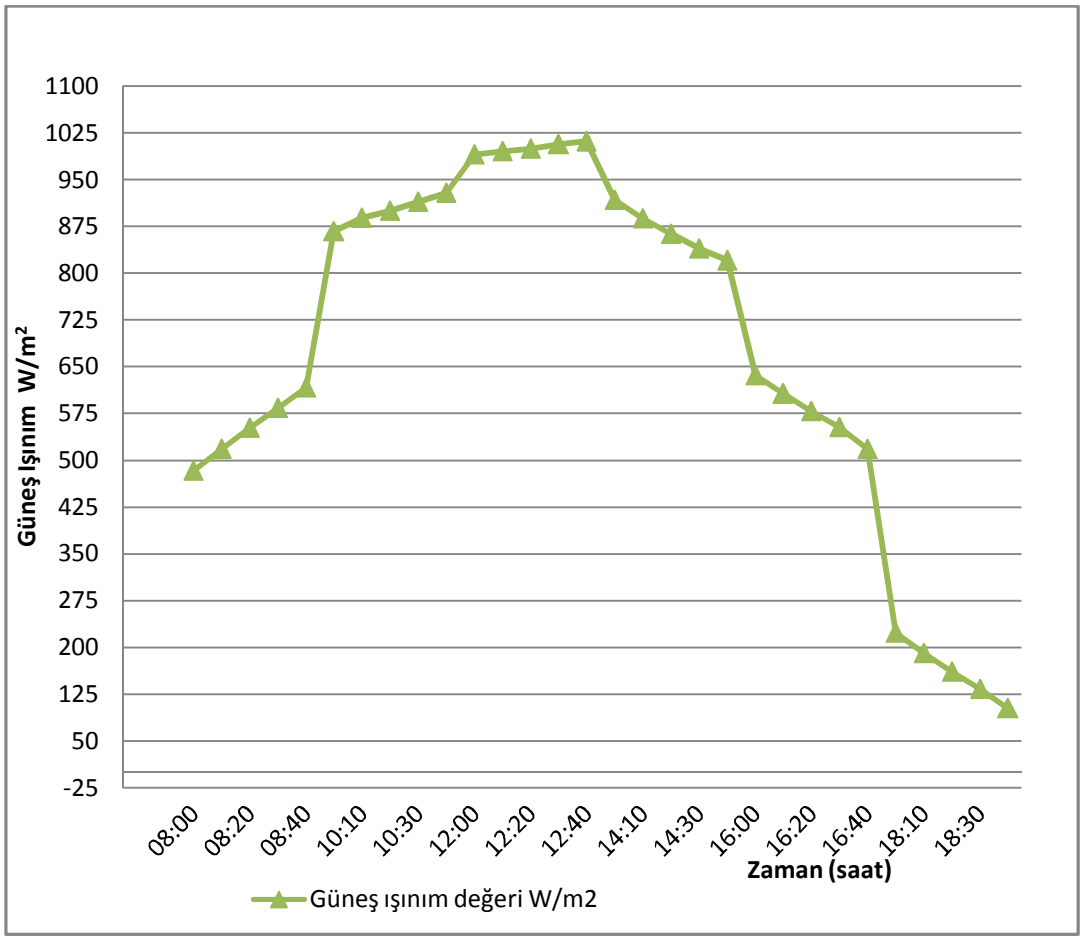
Şekil 4.3 Güneş bacası sistemin de belirlenen noktalarda ve yüksekliklerde baca içindeki saatlik hava hızı (m/s) değişimi.

Şekil 3.34' de verilen bacanın içinde belirlenen nokta ve yüksekliklerde yapılan ölçümlerde kolektörün altındaki sıcaklık yükseldikçe F1 ve F2 noktalarında sıcaklığın maksimum değerlere ulaştığı, F3 - F7 noktalarındaki sıcaklığın yukarı doğru yükseldikçe azaldığı Şekil 4.2'de görülmüştür. Bu durum iki sonuca bağlanmıştır. Birincisi ısınan havanın yukarı yükseldikçe sıcaklığının düşmesi, ikincisi bacanın dış kısmının yalıtımlı olmasıdır.

Şekil 4.3 incelendiğinde, baca içerisindeki hava hızının hunin alt çapının büyük olmasından dolayı (1,2 m) F1 noktasında düşük olduğu ve F2 noktasında baca kesitinin aniden daralmasından dolayı hızla yükseldiği gözlemlenmiştir. Fakat hava akımı F3 – F7 noktalarında çok az bir miktar yükseldiği bununda bacanın iç cephesindeki yüzeyinin pürüzsüz olduğu için sürtünmenin minimum olduğu ve bacanın yüksekliğinden dolayı doğal emiş olduğu gözlemlenmiştir.

Güneş bacası sisteminde türbin montajı yapıldıktan sonra gerçekleştirilen ölçümler 27 – 29 – 31 Temmuz 2011 tarihlerinde günlük olarak yapılmış elde edilen veriler paralellik gösterdiğinden 27 Temmuz 2011 tarihinde elde edilen veriler kullanılmıştır.

Şekil 4.4'de ölçüm alınan güne ait Adıyaman güneş ışınım değerleri verilmiştir.



Şekil 4.4 Adıyaman İli güneş ışınım değerleri (27 Temmuz 2011)

Değişik çapta türbin montajı yapılırken 0.8 m çapındaki türbin Şekil 3.35'deki A konumuna monte edilip Şekil 3.34'deki F2 noktası için ölçümler yapılmıştır. 1.2 m çapındaki türbin Şekil 3.35'deki B konumuna monte edilip Şekil 3.34'deki F1 noktası için ölçümler yapılmıştır.

Çizelge 4.1'de 0.8 m çaplı türbin modellerinin devir sayılarının 1.2 m çaplı türbin modellerinden oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Rüzgar türbinlerinde devir sayısı ile türbin girişindeki hava hızı doğru orantılı olarak değişmektedir. Türbin olmadan yapılan ölçümlerde Şekil 4.3'de baca içerisindeki hava hızının hunin alt çapının büyük olmasından dolayı (1.2 m) F1 noktasında düşük olduğu ve F2 noktasında baca kesitinin aniden daralmasından dolayı hızla yükseldiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.1 Güneş bacası sistemi için değişik kanat modelli türbinler için belirlenen noktalardaki saatlik devir sayısı.

	Türbin Devir Sayısı (rpm)					
Kanat Modeli (çap)	**08:00**	**10:00**	**12:00**	**14:00**	**16:00**	**18:00**
80 cm 1 Kanat	112,5	291	465	388	295,2	80,8
80 cm 2 Kanat	255,5	349,5	435	466,5	435	205,9
80 cm 3 Kanat	**294,6**	**437,4**	**525**	**586**	**488,5**	**289,8**
80 cm 4 Kanat	188,8	254,5	364,5	405	287,8	204,8
80 cm 5 kanat	249	290	424,9	342	369	244,3
120 cm 1 Kanat	0	0	0	0	0	0
120 cm 2 Kanat	10	15	10	10	55	0
120 cm 3 Kanat	55	19	45	85	73,3	35
120 cm 4 Kanat	30	35	40	60	25	20
120 cm 5 kanat	35	30	35	110	55,5	30

Çizelge 4.2'de 0.8 m çaplı türbin modellerinde kanat giriş hava hızının 1.2 m çaplı türbin modellerinin kanat giriş hızından yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.2 Güneş bacası sistemi için değişik kanat modelli türbinler için türbin girişi saatlik hava hızı

	Kanat Giriş Hava Hızı (m/sn)					
Kanat Modeli (çap)	**08:00**	**10:00**	**12:00**	**14:00**	**16:00**	**18:00**
80 cm 1 Kanat	2,36	2,91	2,91	2,84	2,96	2,04
80 cm 2 Kanat	2,31	2,38	2,79	2,74	2,6	2,14
80 cm 3 Kanat	2,21	2,8	2,72	2,47	1,95	2,31
80 cm 4 Kanat	1,66	2,11	2,62	2,28	2,09	1,68
80 cm 5 kanat	1,99	2,11	2,57	2,45	2,4	1,75
120 cm 1 Kanat	1,38	1,68	2,31	1,87	1,56	1,37
120 cm 2 Kanat	1,45	1,75	1,8	1,92	1,75	1,05
120 cm 3 Kanat	1,66	1,86	1,9	1,86	1,32	1,18
120 cm 4 Kanat	1,39	1,49	1,68	1,95	1,68	1,49
120 cm 5 kanat	1,24	1,44	1,85	1,87	1,61	1,25

Türbin montajından sonra yapılan ölçümlerde de ana huni içindeki 0.8 m çaplı türbinlerin konulduğu F2 noktasındaki hava hızının, 1.2 m çaplı türbinlerin konulduğu F1 noktasındaki hava hızından yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Bu nedenlerden dolayı sistem için en uygun türbin kanat çapının 0.8 m olduğu anlaşıldığından bundan sonraki değerlendirmeler bu türbin modelleri için verilmiştir.

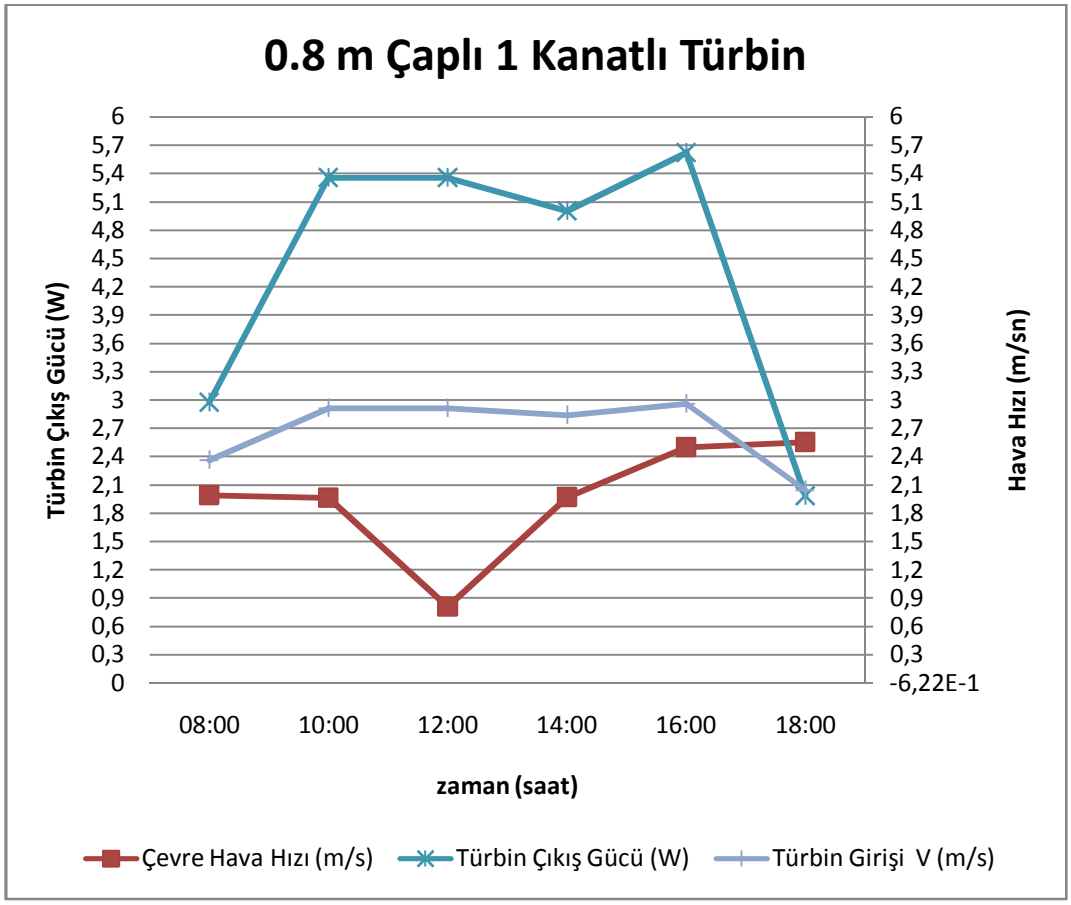
Sistem için özel olarak tasarlanıp imal ettirilen jeneratör için maksimum enerjiyi sağlayan bağıntı Denklem 3.24 de verilen ifadedir.

$$P_{max} = C_{pBetz} . \frac{1}{2} . \rho . A . V_r^3$$

Güneş bacası sisteminde kullanılacak türbin kanat çapına karar verdikten sonra sırasıyla değişik kanat sayılı türbinler jeneratöre monte edilerek aşağıdaki veriler elde edilmiştir.

Çizelge 4.3 Güneş bacası sistemi 0.8 m çaplı 1 kanatlı türbin için ölçüm değerleri

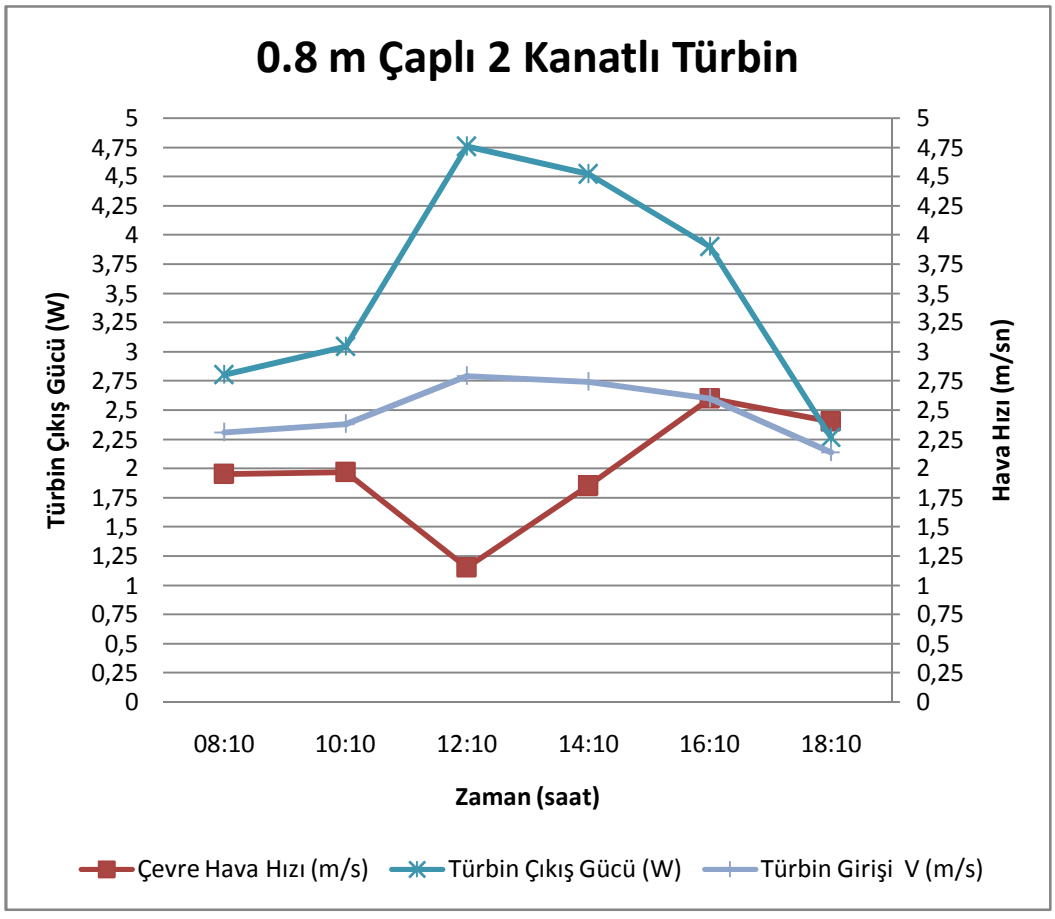
Zaman	Çevre Sıcaklık (^oC)	Çevre Hava Hızı (m/s)	Güneş ışınım değeri W/m^2	Türbin Hızı (dev/d)	Türbinin Çıkış Gücü(W)	Türbin Girişi	
						T (^oC)	V (m/s)
08:00	28,4	1,99	483,3	112,5	2,9724	40,3	2,36
10:00	39,5	1,96	867	291	5,3572	50,8	2,91
12:00	47,2	0,81	990	465	5,3572	52,6	2,91
14:00	50,8	1,97	917	388	5,0007	54,5	2,84
16:00	51,7	2,5	635,9	295,2	5,6219	51	2,96
18:00	46,9	2,55	222,9	80,8	1,9829	48,7	2,04



Şekil 4.5 Güneş bacası sistemi 0.8 m çaplı 1 kanatlı türbin için, çıkış gücü ile hava hızları arasındaki ilişki

Çizelge 4.4 Güneş bacası sistemi 0.8 m çaplı 2 kanatlı türbin için ölçüm değerleri

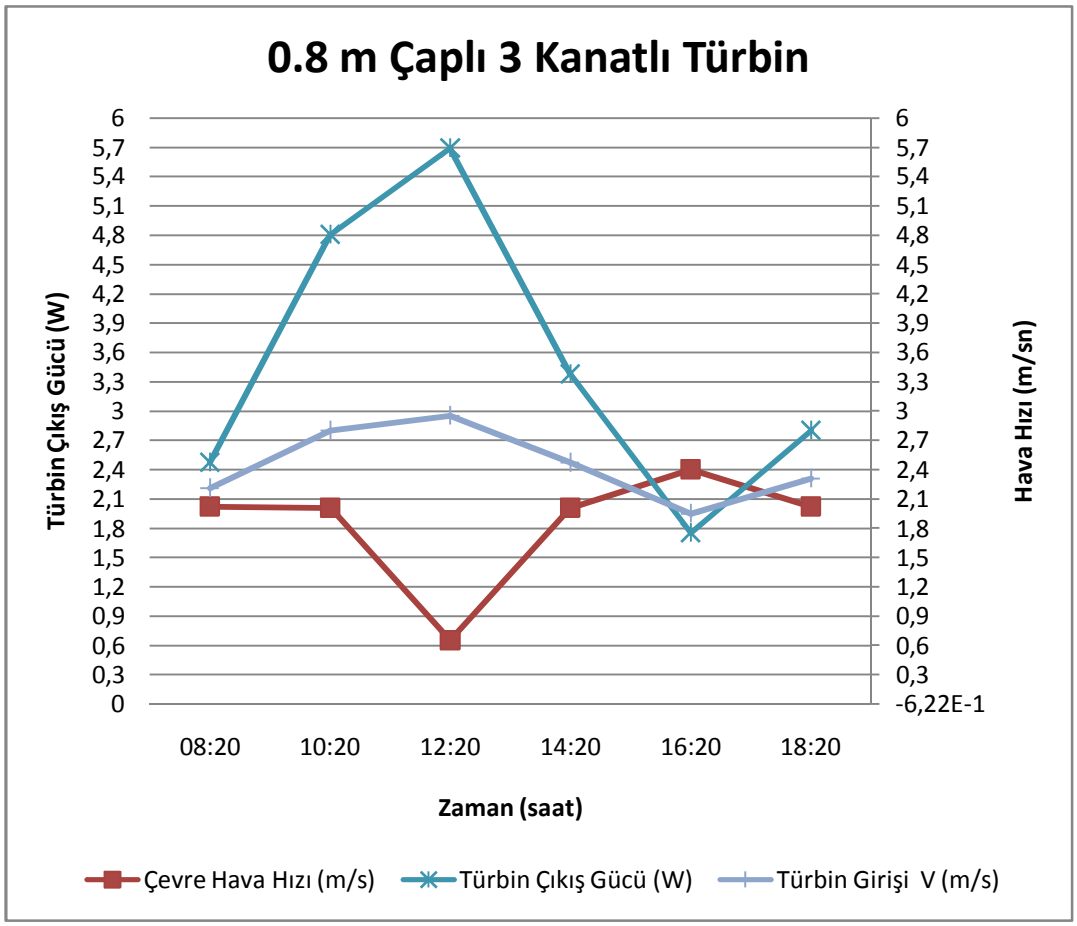
Zaman	Çevre Sıcaklık (°C)	Çevre Hava Hızı (m/s)	Güneş ışınım değeri W/m²	Türbin Hızı (dev/d)	Türbinin Çıkış Gücü(W)	Türbin Girişi	
						T (°C)	V (m/s)
08:10	29,4	1,95	517,8	255,5	2,7999	38,4	2,31
10:10	40,4	1,97	888	349,5	3,0433	49,8	2,38
12:10	47,7	1,15	995	435	4,756	57	2,79
14:10	51,4	1,85	887	466,5	4,5195	54	2,74
16:10	51,7	2,6	606,6	435	3,8991	51,7	2,6
18:10	46,2	2,4	190,7	205,9	2,2637	49	2,14



Şekil 4.6 Güneş bacası sistemi 0.8 m çaplı 2 kanatlı türbin için, çıkış gücü ile hava hızları arasındaki ilişki

Çizelge 4.5 Güneş bacası sistemi 0.8 m çaplı 3 kanatlı türbin için ölçüm değerleri

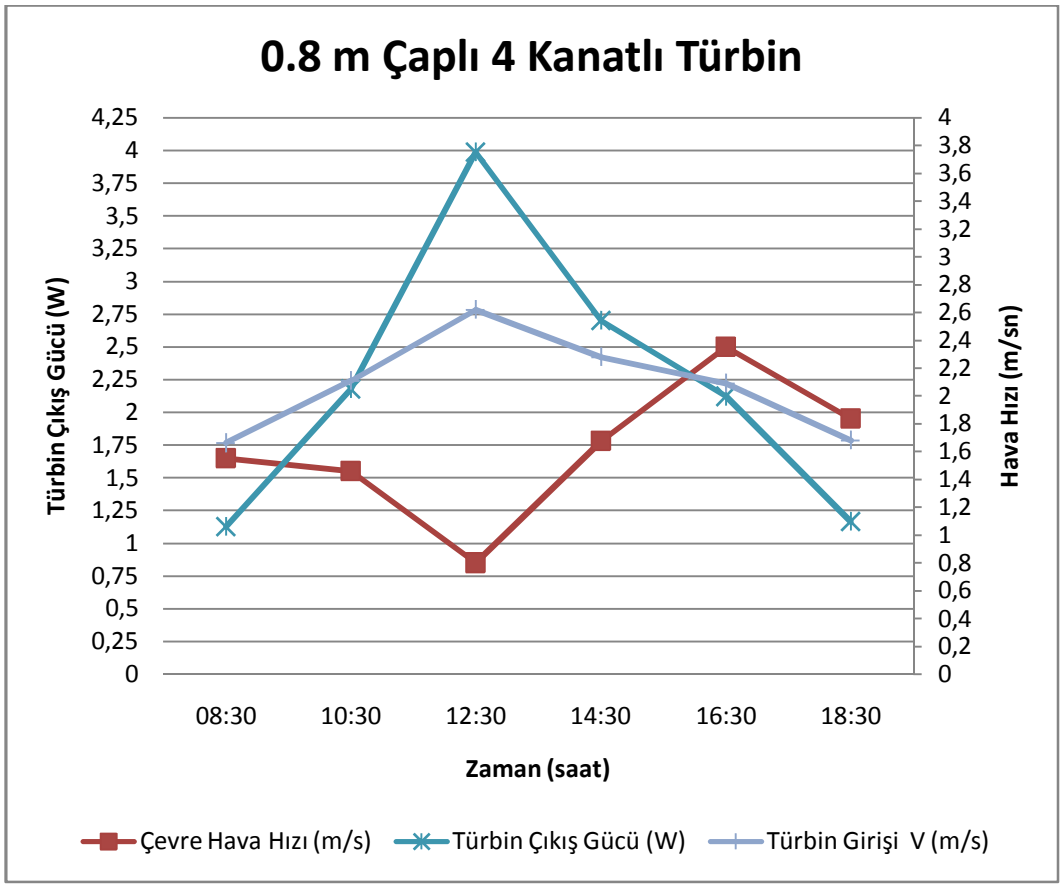
Zaman	Çevre Sıcaklık (°C)	Çevre Hava Hızı (m/s)	Güneş ışınım değeri W/m²	Türbin Hızı (dev/d)	Türbinin Çıkış Gücü(W)	Türbin Girişi	
						T (°C)	V (m/s)
08:20	30,5	2,02	551,8	294,6	2,4753	38,6	2,21
10:20	41,2	2,01	900	437,4	4,8043	48,1	2,8
12:20	48,3	0,65	999	525	5,6894	52,9	2,95
14:20	51,7	2,01	863	586	3,3764	54,2	2,47
16:20	51,5	2,4	578,6	488,5	1,7509	50,9	1,95
18:20	45,5	2,02	161	289,8	2,7999	47	2,31



Şekil 4.7 Güneş bacası sistemi 0.8 m çaplı 3 kanatlı türbin için, çıkış gücü ile hava hızları arasındaki ilişki

Çizelge 4.6 Güneş bacası sistemi 0.8 m çaplı 4 kanatlı türbin için ölçüm değerleri

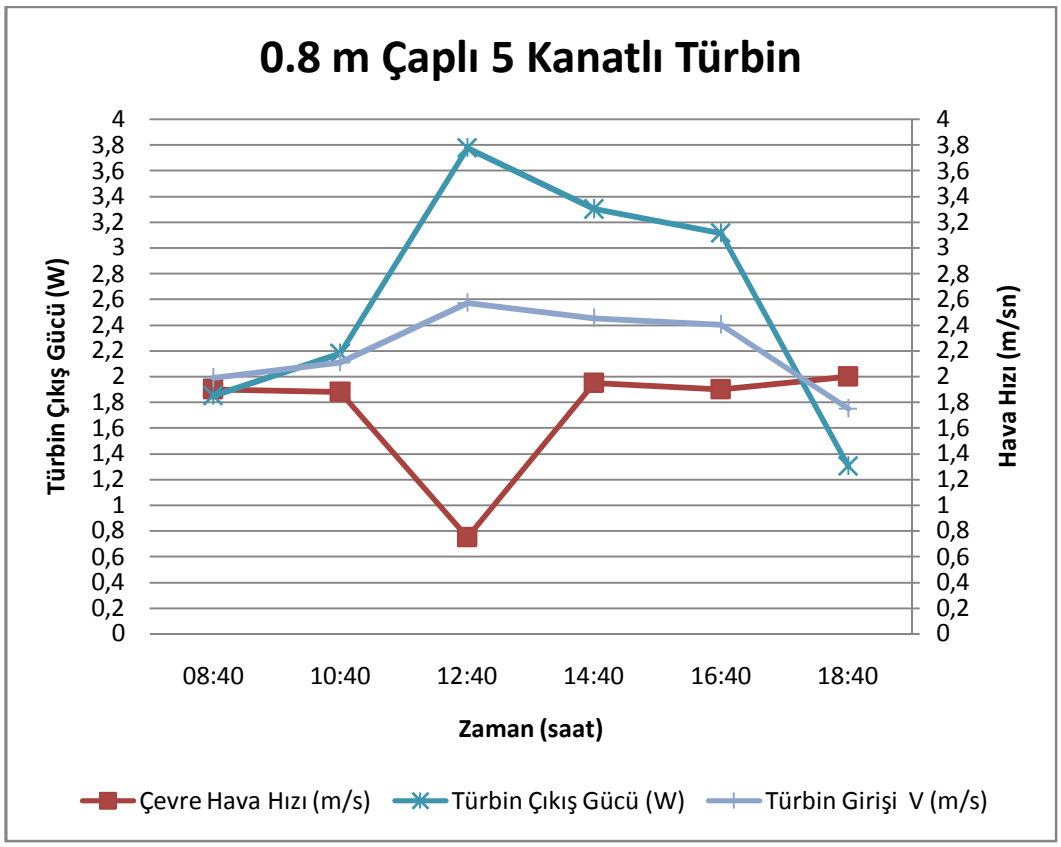
Zaman	Çevre Sıcaklık (°C)	Çevre Hava Hızı (m/s)	Güneş ışınım değeri W/m²	Türbin Hızı (dev/d)	Türbinin Çıkış Gücü(W)	Türbin Girişi	
						T (°C)	V (m/s)
08:30	31,4	1,65	583,2	188,8	1,1274	38,9	1,66
10:30	42,1	1,55	914	254,5	2,1769	47,1	2,11
12:30	48,8	0,85	1006	364,5	3,984	58,8	2,62
14:30	52	1,78	839	405	2,6998	55,5	2,28
16:30	51,3	2,5	552,3	287,8	2,1202	50,7	2,09
18:30	44,9	1,95	132,6	204,8	1,1647	47,5	1,68



Şekil 4.8 Güneş bacası sistemi 0.8 m çaplı 4 kanatlı türbin için, çıkış gücü ile hava hızları arasındaki ilişki

Çizelge 4.7 Güneş bacası sistemi 0.8 m çaplı 5 kanatlı türbin için ölçüm değerleri

Zaman	Çevre Sıcaklık (°C)	Çevre Hava Hızı (m/s)	Güneş ışınım değeri W/m²	Türbin Hızı (dev/d)	Türbinin Çıkış Gücü(W)	Türbin Girişi	
						T (°C)	V (m/s)
08:40	32,5	1,9	616,6	249	1,8516	37,6	1,99
10:40	42,8	1,88	928	290	2,1769	49,6	2,11
12:40	49,4	0,75	1011	424,9	3,774	53,2	2,57
14:40	52,2	1,95	820	342	3,3003	53,6	2,45
16:40	50,9	1,9	517,7	369	3,1153	51,6	2,4
18:40	44,2	2	102,5	244,3	1,3016	49,7	1,75



Şekil 4.9 Güneş bacası sistemi 0.8 m çaplı 5 kanatlı türbin için, çıkış gücü ile hava hızları arasındaki ilişki

Çizelge 4.8 Güneş bacası sistemi için kullanılan türbin modelleri için ölçüm değerleri

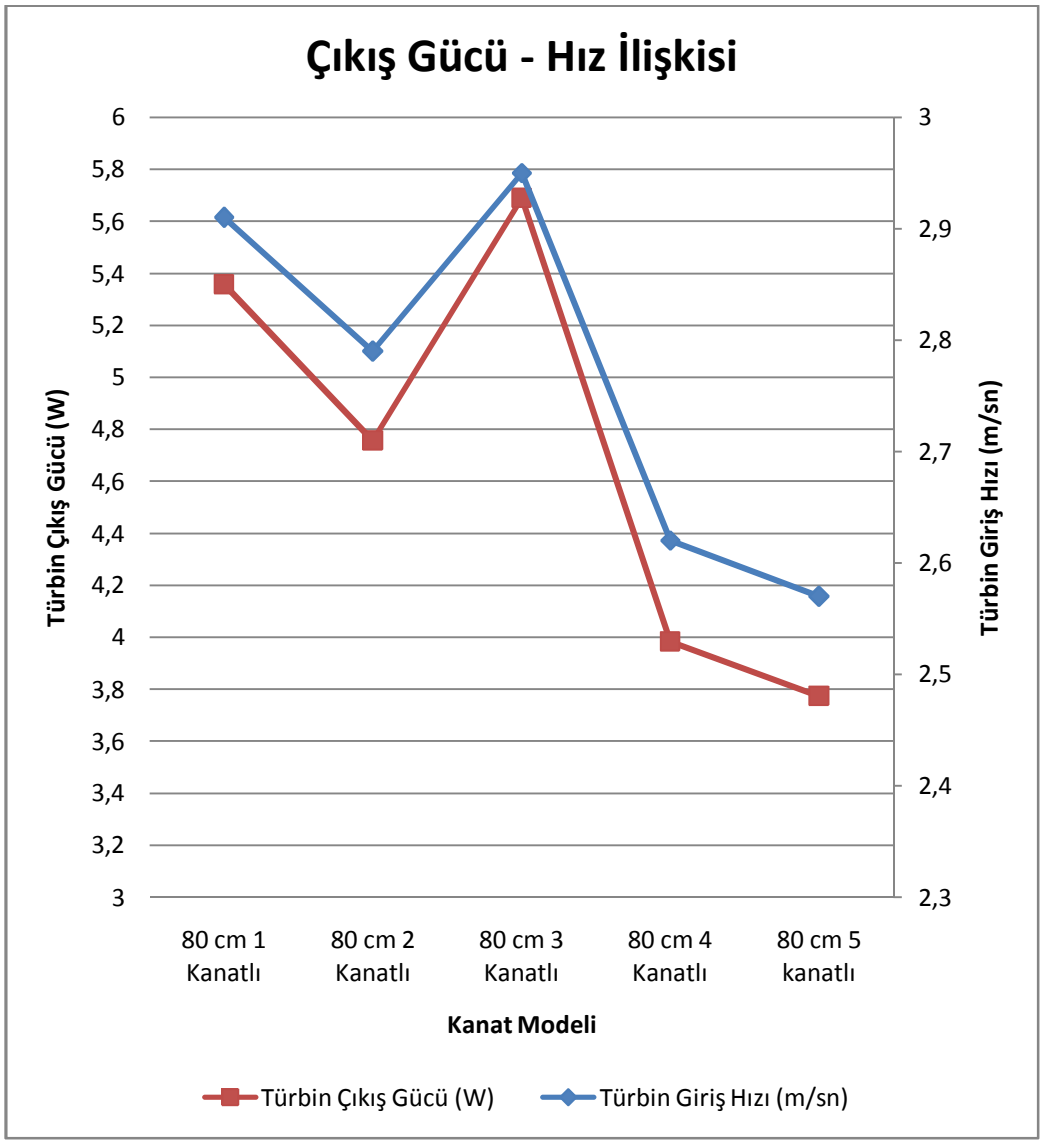
Kanat Modeli (çap)	Zaman	Türbin Dönme Hızı (dev/d)	Türbin Giriş Hızı (m/sn)	Türbin Çıkış Gücü (W)
80 cm 1 Kanatlı	**08:00**	112,5	2,36	2,9724
80 cm 2 Kanatlı	**08:10**	255,5	2,31	2,7999
80 cm 3 Kanatlı	**08:20**	**294,6**	**2,21**	**2,4753**
80 cm 4 Kanatlı	**08:30**	188,8	1,66	1,1274
80 cm 5 kanatlı	**08:40**	249	1,99	1,8516
80 cm 1 Kanatlı	**10:00**	291	2,91	5,3572
80 cm 2 Kanatlı	**10:10**	349,5	2,38	3,0433
80 cm 3 Kanatlı	**10:20**	**437,4**	**2,8**	**4,8043**
80 cm 4 Kanatlı	**10:30**	254,5	2,11	2,1769
80 cm 5 kanatlı	**10:40**	290	2,11	2,1769
80 cm 1 Kanatlı	**12:00**	465	2,91	5,3572
80 cm 2 Kanatlı	**12:10**	435	2,79	4,756
80 cm 3 Kanatlı	**12:20**	**525**	**2,95**	**5,6894**
80 cm 4 Kanatlı	**12:30**	364,5	2,62	3,984
80 cm 5 kanatlı	**12:40**	424,9	2,57	3,774
80 cm 1 Kanatlı	**14:00**	388	2,84	5,0007
80 cm 2 Kanatlı	**14:10**	466,5	2,74	4,5195
80 cm 3 Kanatlı	**14:20**	**586**	**2,47**	**3,3764**
80 cm 4 Kanatlı	**14:30**	405	2,28	2,6998
80 cm 5 kanatlı	**14:40**	342	2,45	3,3003
80 cm 1 Kanatlı	**16:00**	295,2	2,96	5,6219
80 cm 2 Kanatlı	**16:10**	435	2,6	3,8991
80 cm 3 Kanatlı	**16:20**	**488,5**	**1,95**	**1,7509**
80 cm 4 Kanatlı	**16:30**	287,8	2,09	2,1202
80 cm 5 kanatlı	**16:40**	369	2,4	3,1153
80 cm 1 Kanatlı	**18:00**	80,8	2,04	1,9829
80 cm 2 Kanatlı	**18:10**	205,9	2,14	2,2637
80 cm 3 Kanatlı	**18:20**	**289,8**	**2,31**	**2,7999**
80 cm 4 Kanatlı	**18:30**	204,8	1,68	1,1647
80 cm 5 kanatlı	**18:40**	244,3	1,75	1,3016

Ölçüm yapılan gün için güneş ışınım değerlerinin Adıyaman ili için en yüksek olduğu 12:00 ile 13:00 saatleri arasında 0.8 m çaplı türbin modeli için farklı kanat sayılı tipleri Çizelge 4.9'da birbirleri ile kıyaslayacak olursak, sistem için en verimli türbin modelinin 0.8 m çaplı 3 kanatlı türbin modeli olduğu görülecektir.

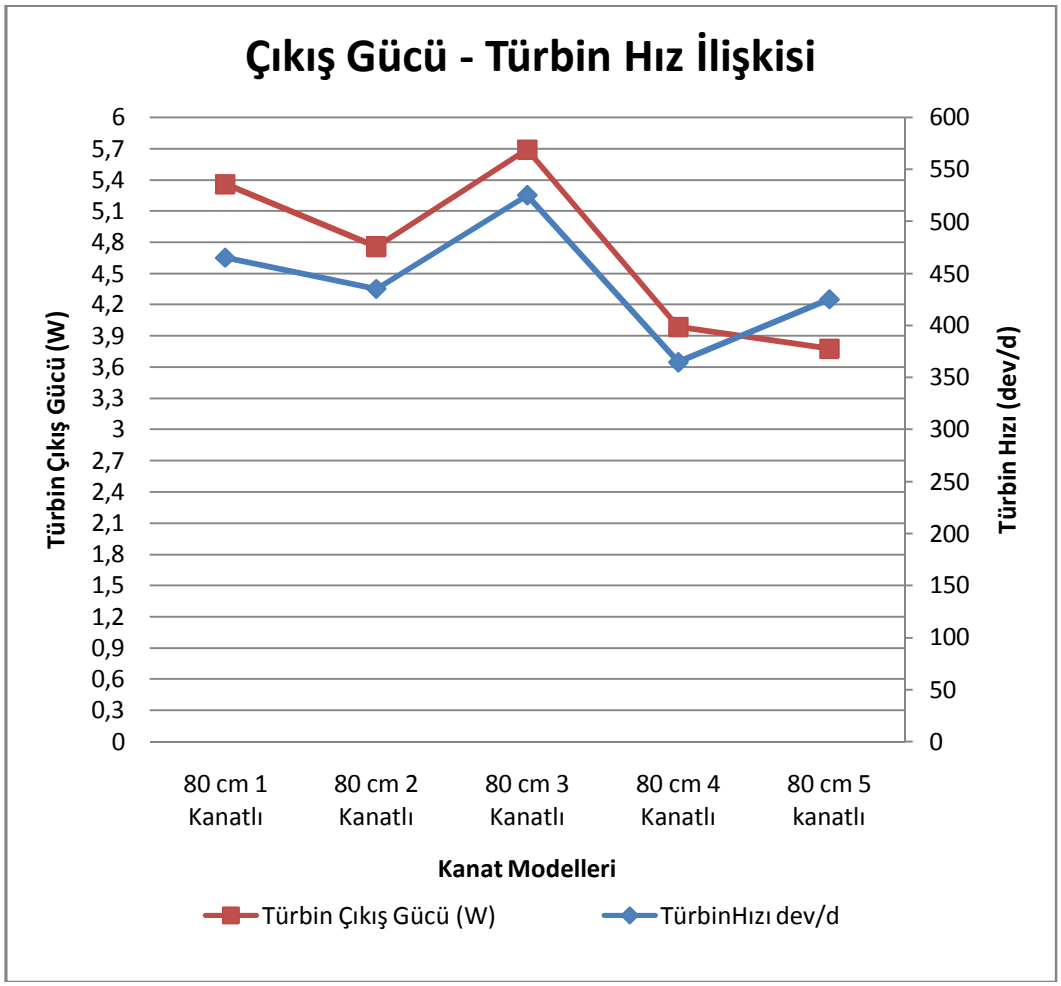
Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de 0.8 m çaplı 3 kanatlı türbin modeli için çıkış gücü ile türbin girişi hava hızı ve türbin devir sayısı arasındaki ilişki incelendiğinde en verimli türbinin 0.8 m çaplı 3 kanatlı türbin modeli olduğu görülecektir.

Çizelge 4.9. Güneş bacası sistemi için kullanılan türbin modellerinin kıyaslanması

Kanat Modeli (çap)	**Zaman**	**Türbin Hızı (dev/d)**	**Türbin Giriş Hızı (m/sn)**	**Türbin Çıkış Gücü (W)**
80 cm 1 Kanatlı	**12:00**	465	2,91	5,3572
80 cm 2 Kanatlı	**12:10**	435	2,79	4,756
80 cm 3 Kanatlı	**12:20**	**525**	**2,95**	**5,6894**
80 cm 4 Kanatlı	**12:30**	364,5	2,62	3,984
80 cm 5 kanatlı	**12:40**	424,9	2,57	3,774



Şekil 4.10 Güneş bacası sistemi 0.8 m çaplı farklı kanat sayılı türbinler için, çıkış gücü ile hava hızları arasındaki ilişki



Şekil 4.11 Güneş bacası sistemi 0.8 m çaplı farklı kanat sayılı türbinler için, çıkış gücü ile türbin hızı arasındaki ilişki

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Adıyaman üniversitesi yerleşke alanı içine kurulan güneş bacası siteminde Adıyaman güneş ışınım şiddeti, çevre sıcaklığı ve çevre hava hızı şartlarına göre kollektörün, bacanın belirli noktalarında ve türbin üzerinde yapılan ölçümlere göre aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

1. Yapılan ölçümlerde Güneş ışınım şiddetinin çevre sıcaklığını belirleyici bir parametre olduğu ve dolayısıyla güneş bacası siteminin performansını etkileyen önemli bir faktör olduğu,
2. Güneş bacası sisteminde özel olarak hazırlanan zeminin maksimum sıcaklığa ulaştığı ve zemin ısı depolama özelliğinin kollektörden bacaya akan havanın ısınmasında ve sistemin gecede çalışmaya devam etmesinde etkili bir parametre olduğu,
3. Kollektörün altındaki ısının bacaya doğru gittikçe yükseldiği ve bacadan yukarı doğru yükseldikçe azaldığı,
4. Güneş bacası sisteminde hava akımının kolektör girişinde az da olsa yüksek olduğu, kolektörün altında minimum değere düştüğü ve bacanın girişinde hızlı bir şekilde yükseldiği,
5. Küçük çaplı güneş bacası sistemlerinde enerji üretirken en iyi performansı elde etmek için baca girişine düşe eksenli bir türbin yerleştirilmesinin uygun olacağı,
6. Bu tür güneş bacası sistemlerinde en yüksek gücün 3 kanatlı türbin modelinden elde edildiği belirlenmiştir.

Sonuç olarak, güneş bacası sisteminin Adıyaman şartlarında enerji üretimi için alternatif bir sistem olduğu ve kurulan prototipin geliştirilerek bölgede güneş bacası elektrik santrali kurulabileceği, ancak güneş bacası sistemlerinde en önemli parametrelerden birinin baca yüksekliği ve baca çapı olduğu için böyle bir enerji santrali kurulurken bölgenin ikinci dereceden deprem bölgesi olduğu hususu göz önünde bulundurularak, büyük kollektör alanına sahip santral kurulumunun daha uygun olacağı söylenebilir.

KAYNAKLAR

[1] K.Varınca, G.Varank, *Güneş Kaynaklı Farklı Enerji Üretim Sistemlerinde Çevresel Etkilerin Kıyaslanması ve Çözüm Önerileri*, Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü.

[2] K.Kavak, *Dünyada ve Türkiye'de Enerji Verimliliği ve Türk Sanayiinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi*, İktisadi Sektörler Ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Yayın No:2689, Ankara, 2005.

[3] V.Quaschning, *Understanding Renewable Energy Systems*, London, 2005.

[4] Oda Raporu, Türkiye'nin enerji görünümü, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, MMO/588, 2012.

[5] A.Koyun, "*Güneş bacası ile enerji üretiminin incelenmesi*", Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2006.

[6] A.Y. Uyarel, E.S. Öz, *Güneş Enerjisi ve Uygulamaları*, Ankara, 1987.

[7] http://eng.harran.edu.tr/~ccetiner/yenilenebilir_enerji_1.pdf web sayfası, 2012.

[8] Ö.Kara, "*Yükselen hava akımlı rüzgar türbinleri İzmir uygulaması*", Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, 2002.

[9] K.B.Varınca ve M.T. Gönüllü, Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, Eskişehir, Haziran 21-23 (2006) s. 270-275.

[10] Ş.Y. Güven, İ.Üçgül, R.Şenol, *Güneş enerjisi ısıl uygulamaları ve güneş kulelerinin incelenmesi*, Mühendis ve Makine Dergisi, 2004, sayı: 533, s.17-28.

[11] B.J. Groenendaal, *Solar thermal power Technologies*, Monograph in the framework of the VLEEM Project, 2002, ECN proj. num. 7.7372.

[12] O.Nehoş, "*Güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmesi ve kullanım alanları*", Bitirme Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 2007.

[13] Z.R. Yabuz, "*Güneş bacasında konstrüktif iyileştirme çalışmaları ve performans artırıcı yöntemlerin araştırılması*", Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2009.

[14] Z.Xinping, J.Yang, B.Xiao, G. Hou, *Experimental study of temperature field in a solar chimney power setup*, Applied Thermal Engineering, 27 (2007) 2044–2050.

[15] J.Schlaich, R.Bergermann, W.Schiel, G.Weinrebe, *Design of Commercial Solar Updraft Tower Systems - Utilization of Solar Induced Convective Flows for Power Generation*. 2004.

[16] S. Nizetic, N. Ninic, B. Klarin, *Analysis and feasibility of implementing solar chimney power plants in the Mediterranean region*, Journal of Energy (Elsevier), 33:11 (2008) 1680-1690.

[17] N.Pasumarthi, S.A.Sherif, *Experimental And Theoretical Performance Of ADemonstration Solar Chimney Model Part 2: Experimental And TheoreticalResults And Economic Analysis*. International Journal Energy Research, 22 (1998) 443-461.

[18] A.J.Gannon, "*Solar Chimney Turbine Performance"*, PhD Thesis, University of Stellenbosch, 2002.

[19] M.A. S. Bernardes, *Symmetric sink flow and heat transfer between two parallel disks*, ASME Heat Transfer Summer Conference , Las Vegas, Nevada, USA Las Vegas, Nevada, USA, July 21–23, (2003) , pp.649-655.

[20] J.P.Pretorius, D.G.Kröger, J.D. Buys, T.W. Von Backström, *Solar chimney power plant performance characteristics*, In: Proceedings of the ISES EuroSun2004 International Sonnenforum 1, Freiburg, Germany, (2004), pp. 870–879.

[21] J.Schlaich, R. Bergermann, W. Schiel, G. Weinrebe, *Design of Commercial Solar Updraft Chimneyr System – Utilization of Solar Induced Convective Flows for Power Generation*, ASME J. Solar Energy Eng., 127 (1), (2005), 117-124

[22] E.Bilgen, J.Rheault, *Solar chimney power plants for high latitudes*, Solar Energy, 79 (2005) 449-458.

[23] N.Ninic, *Available energy of the air in solar chimneys and the possibility of its ground-level concentration*. Solar Energy, 80 (2006) 804–811.

[24] J.P. Pretorius, D.G. Kröger, *Critical evaluation of solar chimney power plant performance*, Solar Energy, 80 (2006) 535–544.

[25] Z. Xinping, Y.Jiakuan, B.Xiao, H.Guoxiang, *Simulation of a pilot solar chimney thermal power generating equipment*, Renewable Energy, 32 (2007) 1637–1644.

[26] M.Tingzhen, L.Wei, X.Guoling, X.Yanbin, G.Xuhu, P.Yuan, *Numerical simulation of the solar chimney power plant systems coupled with turbine*, Renewable Energy, 33 (2008) 897-905.

[27] X.Zhou, J.Yang, B.Xiao, G.Hou, F.Xing, *Analysis of chimney height forsolar chimney power plant*, Applied Thermal Engineering, 29 (2009) 178–185.

[28] X.Zhou, J.Yang, R.M.Ochieng, X.Li, B.Xiao, 2009. *Numerical investigation of aplume from a power generating solar chimney in an atmospheric cross flow*, Atmospheric research, 91 (2009) 26-35.

[29] H.Kulunk, *A prototype solar convection chimney operated under Izmit conditions*. In: Veziroglu TN, editors. In:Proceedings of seventh MICAES, 1985. p. 162.

[30] Y.J. Dai, H.B. Huang, R.Z. Wang, *Case study of solar chimney power plants in North-western regions of China*, Renewable Energy, 28 (2003) 1295–304.

[31] J.Schlaich, W.Schiel, *Solar Chimneys*, Encyclopedia of Physical Science and Technology, Third Edition, 2000.

[32] K.Delikanlı, Z.R.Yabuz, *Güneşbacası prototipinde verimliliği artırıcı yöntemlerin araştırılması,* C.B.ü. Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi, 1:15 (2011) 36-54.

[33] H.Pastohr, "*Thermodynamische Modellierung eines Aufwindkraftwerkes*", Zur Erlangung des akademischen Grades, der Bauhaus-Universität Weimar, Weimar, 2004.

[34] M.A.Bernardes, "*Technische, ökonomische und ökologische Analyse von Aufwindkraftwerken*", zur Erlangung der Würde eines, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart, 2004.

[35] A.Bugutekin, *Effect of the collector diameter on solar chimney power plants*, Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research, 27(1) (2011) 155-168.

[36] A.Bugutekin, *An Experimental Investigation Of The Effect Of Periphery Height And Ground Temperature Changes On The Solar Chimney System*, Journal of Thermal Science and Technology, 32:1 (2012) 51-58

[37] M.M. Aras, "*Küçük bir rüzgâr türbini tasarımı, imalatı ve performans testleri*", Bitirme Projesi, Başkent Üniversitesi Türkiye, 2010.

[38] A.Bugutekin, *Experimental study of temperature field in a solar chimney plant in ADIYAMAN*, Journal of Thermal Science and Technology, in pres, October 2012.

ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında Malatya' da doğdu. İlköğrenimini Haci İbrahim Işık İlkokulu'nda tamamladıktan sonra, Fatih Ortaokulu'nu 1989 yılında bitirdi. 1992 yılında Fatih Lisesi'ni birincilikle tamamladı. 1996 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Kısa bir süre Ankara Oktay Mühendislikte proje ve şantiye mühendisi olarak çalıştıktan sonra 1997-1998 yıllarında GATA Askeri Tıp Fakültesinde yedek subay olarak askeri vazifesini yerine getirdi. Askeri vazifesini tamamladıktan sonra Malatya' da özel bir tekstil fabrikasında Elektrik Mühendisi olarak çalışmaya başladıktan bir süre sonra 1999 yılında İnönü Üniversitesi Adıyaman Meslek Yüksekokulunda Bilgisayar Okutmanı olarak göreve başladı. 2006 yılında Adıyaman Üniversitesinin kurulması ile Adıyaman Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Elektrik ve Enerji Teknolojileri Bölümünde Okutman olarak çalışmaya devam ederken bir süre bölüm başkanlığı görevini de yürüten Yasin İÇEL halen aynı bölümde Okutman olarak çalışmaya devam etmektedir. Orta derecede İngilizce bilen İÇEL evli ve iki çocuk babasıdır.