



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**YATAY GÜNEŞ BACASI SİSTEMLERİNİN ANALİZİ
VE UYGULANABİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Ali Rıza GÜN
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Mehmet KURBAN

BİLECİK, 2013



BİLECİK ŞEYH EDEBALI UNIVERSITY
Graduate School of Sciences
Electrical and Electronics Engineering Program

**ANALYSIS OF HORIZONTAL SOLAR CHIMNEY
SYSTEMS AND APPLICABILITY ASSESMENT**

Ali Rıza GÜN
Master of Science Thesis

Thesis Advisor
Assoc. Prof. Dr. Mehmet KURBAN

BİLECİK, 2013

 BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ	YÜKSEK LİSANS <u>JÜRİ ONAY FORMU</u>
--	--

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 14/08/2013 tarih ve 19 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 05/09/2013 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Ali Rıza GÜN'ün "Yatay Güneş Bacası Sistemlerinin Analizi ve Uygulanabilirliğinin Değerlendirilmesi" başlıklı tez çalışması Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç.Dr.Mehmet KURBAN

ÜYE : Yrd.Doç.Dr.İhsan PEHLİVAN

ÜYE : Yrd.Doç.Dr.Nazım İMAL

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Yaşantımızda vazgeçilmez olan elektrik enerjisinin elde edilmesinde kullanılan fosil yakıtların çevreye olumsuz etkileri, tüm canlılar için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Her geçen gün artan çevre bilinci ve birincil kaynakların tükenirliği elektrik enerjisinin üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanabilmek için farklı yöntem ve tekniklerin geliştirilmesine neden olmuştur.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından en önemlisi olan güneş enerjisi de çeşitli yöntemlerle elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan güneş bacaları ile elektrik enerjisi üretiminde her geçen gün yeni gelişmeler olmaktadır. Genellikle güneş bacası sistemlerinde, güneş ışınları bir seranın altındaki havayı ısıtır, ısınan hava dik bir bacadan yükselirken bir hava hareketi oluşturarak bacanın tabanında bulunan pervaneleri döndürür ve pervanelerin de jeneratöre hareket vermesi ile elektrik enerjisi üretilir. Yüksek bir bacayı şiddetli fırtınalarda sabittutabilmek zor olduğundan havada yüzen güneş bacaları geliştirilmiştir. Bunun yanı sıra bacayı bir dağın yamacına yaslama şeklinde eğik güneş bacaları konusunda da pek çok çalışma yapılmıştır. Ayrıca, yatay güneş bacası fikri Amerikalı bilim adamı Ronald L.Conte Jr.tarafından ortaya atılmış ve çeşitli deneysel çalışmalar yürütülmüştür.

Bu tez çalışmasında, güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten güneş bacası sistemleri ele alınmış, bunlardan gelişme aşamasında olan ve henüz büyük çapta uygulanmamış “yatay güneş bacası sistemleri” detaylı olarak incelenmiş, bu konuda çeşitli modeller geliştirilmiş ve uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi amacıyla Bilecik ili için örnek bir tasarım yapılarak hesaplamalar verilmiştir. Bu uygulamada, Bilecik için 1960-2012 yıllarına ait yıllık ortalama güneş verileri kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler:Elektrik enerjisi,yenilenebilir enerji,güneş enerjisi, güneş bacası.

ABSTRACT

The fossil fuels are used in the electrical energy generation, which is essential for our lives. However, the negative effects of fossil fuels on environment become a threat for all the living things. Each passing day, environmental consciousness and primary sources depletion have increased. Therefore, some different methods and techniques have been developed in order to benefit further from renewable energy sources in electrical energy generation.

Solar energy, which is the most important one in renewable energy sources, is used in electrical energy generation by various methods. Solar chimney is one of these methods and there have been new developments in electrical energy generation by solar chimneys. In solar chimney systems, solar usually heats the air under the greenhouse, heated air forms an air movement while rising from a steep chimney, the heated air rotates the propeller which is on the base of the chimney and electrical energy is generated, so propellers rotates the generator. Chimneys which can float have been developed since it is difficult to fix the chimneys during stormy weather. Moreover, some studies have been conducted on inclined solar chimneys, so it is possible to lean a chimney on a mountain slope. Also, inclined solar chimney idea was proposed by American scientist Ronald L.Conte Jr. and some experimental studies were conducted.

In this study, solar chimney systems which generate electrical energy from solar energy were discussed; among these systems, inclined solar chimney systems, which are at development stage and have not been applied widely, were discussed in detail, various models were developed in this issue and in order to consider the applicability a sample design for Bilecik city was developed and calculations were given. In this application, annual average solar data between 1960-2012 for Bilecik was used.

Key Words: Electrical energy, renewable energy, solar energy, solar chimney

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda her zaman yardımcı olan, yön veren, ilgi ve katkılarını esirgemeyen tez danışmanım sayın Doç.Dr. Mehmet KURBAN'a, Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Öğr.Üyesi Prof.Dr.Yaşar PALA'ya, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Makine Mühendisliği Yrd.Doç.Dr. BirolAKYÜZ, Öğr.Gör. Telat TÜRKYILMAZ'a, Öğr.Gör. Emre DANDIL'a Yrd.Doç.Dr. Refik ARIKAN'a, anneme, eşim ve çocuklarıma çok teşekkür ederim.

Ali Rıza GÜN

Ekim, 2013

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Daha ÖnceYapılmış Çalışmalar	2
1.1.1. Teorik Çalışmalar	2
1.1.2. Uygulamalı Çalışmalar	5
1.2. Tezin Amacı ve içeriği.....	9
2. GÜNEŞ ENERJİSİ.....	11
2.1. Dünyanın Güneş Enerji Potansiyeli	14
2.2. Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli	19
3. GÜNEŞTEN ELEKTRİK ENERJİSİ ELDE ETME YÖNTEMLERİ	24
3.1. Yoğunlaştırıcı Sistemler İle Elektrik Enerjisi Üretimi	24
3.1.1. Güneş Enerjisi ve iklim Değerlendirmesi.....	25
3.1.2. Uzun Dönem Performans Değerlendirmesi.....	25
3.1.3. İzleme Modülünün Seçimi.....	26
3.1.4. Parametrelerinin Optimizasyonu	26
3.1.5. Basınç Düşmesi	26
3.1.6. Boru Boyutlandırması.....	27
3.1.7. Kapasite Seçimi	27
3.1.8. Korozyon	27
3.2. Parabolik Oluk Kollektörler İle Elektrik Enerjisi Üretimi	27
3.2.1. Fresnel Oluklu Elektrik Enerjisi Santrali.....	30
3.2.2. Parabolik Çanak Kollektörler İle Elektrik Enerjisi Üretimi	31

3.2.3. Merkezi Alıcılı Elektrik Enerjisi Santralleri.....	33
3.2.4. Güneş Lalesi İle Elektrik Enerjisi Üretimi	33
3.2.5. Güneş Havuzları ile Elektrik Enerjisi Üretimi.....	35
3.2.6. Fotovoltaik Paneller İle Elektrik Enerjisi Üretimi.....	37
3.3. Güneş Bacaları İle Elektrik Üretimi	45
4. GÜNEŞ BACASI SİSTEMLERİ VE ÇEŞİTLERİ.....	47
4.1. Güneş Bacasının Tarihçesi ve Yapılan Çalışmalar.....	47
4.2. Güneş Bacası Çeşitleri.....	48
4.2.1. Sabit Güneş Bacaları	48
4.2.2. Güneş Bacasının Temel Bileşenleri.....	50
4.3. Esnek Güneş Bacaları	54
4.4. Eğik Güneş Bacaları	59
4.5. Alttan Çekişli Baca Sistemleri.....	60
4.6. Yatay Güneş Bacaları	61
4.7. Yatay Güneş Bacası Sisteminin Kısımları.....	61
4.8. Güneş Kolektörü.....	62
4.9. Hava Kanalı	64
4.10. Rüzgar Türbinleri	67
5. GELİŞTİRİLEN YATAY GÜNEŞ BACASI SİSTEMLERİ VE UYGULAMASI	70
5.1. Örnek Hesaplama.....	70
5.2. Farklı Tasarım Örnekleri	81
5.3. Maliyet Analizi	82
6. SONUÇ.....	84
KAYNAKLAR.....	87
ÖZGEÇMİŞ.....	89

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 1.1. Manzaneres güneş bacasının teknik değerleri	6
Çizelge 2.1. Dünyada bulunan önemli güneş enerjisi santralleri.....	18
Çizelge 2.2. Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli (EİE Genel Müdürlüğü)	20
Çizelge 2.3. Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere göre Dağılımı, (EİE Genel Müdürlüğü)	21
Çizelge 2.4. Türkiyede yıllara göre güneş enerjisi kullanımı	22
Çizelge 4.1. Basınç farklarına göre oluşan rüzgar hızı ve elde edilen elektrik enerjisi ..	69
Çizelge 5.1. Sıcaklık Farkları, Oluşan Rüzgar Hızı ve Elde Edilen Elektrik Gücü.....	73
Çizelge 5.2. Değişen Baca Çaplarına ve Elde Edilen Rüzgar Hızları ve Elektriki Güç .	73
Çizelge 5.3. Değişen Baca Boylarına Göre Elde Edilen Elektriki Güç (D=5m)	74
Çizelge 5.4. Rüzgar Hızına Göre Elde Edilen Elektriki Güç (L=1000m, D=10m)	75
Çizelge 5.5. Bilecik İlının Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen Ortalama Sıcaklık Değerleri (1960 - 2012).....	76
Çizelge 5.6. Bilecik İlinde 1960-2012 Yılları İçinde Gerçekleşen En Yüksek ve En Düşük Sıcaklık Değerleri (Meteoroloji Genel md. www.mgm.gov.tr).....	76
Çizelge 5.7. Bilecik İli İçin Aylık Üretililecek Elektrik Enerjisi	78
Çizelge 5.8. Bilecik İli İçin Günlük ve Aylık Üretilen Toplam Elektrik Enerjisi	79
Çizelge 5.9. Hava kanalı çapı 20 m için rüzgar hızı ve elektriki güç	80
Çizelge 5.10. Santralin maliyet tablosu	83

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1. Manzaranes prototipi (Schlaich vd., 2004).....	5
Şekil 1.2. Florida Üniversitesi'nin kurduğu sistem (Florida University, 2005)	7
Şekil 1.3. İran Shahid Bahonar Üniversitesi'nin kurduğu güneş bacası sistemi (Shahid Bahonar Kerman, 2005).....	8
Şekil 1.4. Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin'de kurulan güneş bacası sistemi (FHTW, 2006)	8
Şekil 1.5. Süleyman Demirel Üniversitesi Güneş Bacası Çalışması (Koyun2006).....	9
Şekil 2.1. Dünyanın enerji ihtiyacı,fosil yakıtlı enerji kaynağı arzı ve güneş enerjisinin karşılaştırılması(Qoaschnig 1999)	13
Şekil 2.2. Global enerji üretiminde yenilenebilir enerjilerin yıllara göre artışı	13
Şekil 2.3. Dünyaya gelen ışınlm.(E.İ.E.,2007)	16
Şekil 2.4. Dünya'nın güneş enerjisi potansiyel haritası.....	17
Şekil 2.5. Meteorolojik şartlara göre güneş enerjisinin Dünya'ya ulaşma miktarı.....	23
Şekil 2.6. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Atlası	23
Şekil 3.1. Doğrusal Yoğunlaştırıcı Kollektör	29
Şekil 3.2. Parabolik Oluk Güneş Santralinin Blok Şeması	30
Şekil 3.3. Fresnel oluklu system	31
Şekil 3.4. Parabolik Çanak Kollektörler	32
Şekil 3.5. Stirling Motoru'nun adım adım çalışma şekli	33
Şekil 3.6. Güneş lalesi ile elektrik üretimi-odaklayıcı aynalar	34
Şekil 3.7. Güneş lalesi.....	34
Şekil 3.8. Güneş havuzunda su hareketleri	35
Şekil 3.9. Güneş havuzu ile elektrik üretimi prensip şeması.(Sökmen ve Erdallı).....	36
Şekil 3.10. Foto voltaik pilin yapısı	38
Şekil 4.1. Leonardo da Vinci'nin Kızartma pervanesi (1452-1519).....	47
Şekil 4.2. Güneş bacasının temel çalışma prensibi	49
Şekil 4.3. Kollektöre gelen güneş ışınlm durumu.....	51
Şekil 4.4. Kolektör çapının güneş bacasındaki elektrik üretimine etkisi	51

Şekil 4.5. Gündüz ve gece kolektördeki ısı alış verişi	52
Şekil 4.6. Baca yüksekliğinin üretilen elektrik enerjisine etkisi	53
Şekil 4.7. Manzanares prototipinde kullanılan türbin	53
Şekil 4.8. Güneş santralının çalışma prensibi	55
Şekil 4.9. Yan rüzgar kuvvetlerinin HYGB ‘na etkisi	55
Şekil 4.10. Bacanın alt kısmındaki esnek yapı	56
Şekil 4.11. HYGB’nın kumaş silindirin küçük bir parçası	56
Şekil 4.12. Bacayı havada tutan kaldırıcı halka balonlar	57
Şekil 4.13. Bacayı havada tutan helyum dolu halka balonlar	58
Şekil 4.14. Eğik Güneş baca fütürist gösterimi (Günther, 1931).....	59
Şekil 4.15. Ters hava akımı ile elektrik enerjisi üretimi. (futureenergy).....	60
Şekil 4.16. Kollektör gösterimi (Varghese,2009)	62
Şekil 4.17. Kollektörde ısınan havanın yükselmesi(Sriraj RR, 2013)	64
Şekil 4.18. Kollektör üzerine yatay hava kanallarının yerleşimi(Sriraj RR, 2013)	65
Şekil 4.19. Hava kanallarında hava akışının gösterimi(Varghese, 2009)	66
Şekil 4.20. Silindir şeklindeki hava kanallarına türbinlerin yerleşimi(Varghese, 2009).....	67
Şekil 4.21. Dikdörtgen şekle sahip hava kanalına türbinlerin yerleşimi(Varghese, 2009).....	68
Şekil 5.1. Altı adet yatay bacalı santral.....	70
Şekil 5.2. Siyah taş ile kaplı kolektör yapısı	70
Şekil 5.3. Değişen Baca Boylarına Göre Elde Edilen Elektrik Güç ($D=5m$)	74
Şekil 5.4. Rüzgar Hızına Göre Elde Edilen Elektrik Güç ($L=1000m$, $D=10m$)	75
Şekil 5.5. Bilecik ili için tasarlanan santral.....	77
Şekil 5.6. Bilecik İli İçin Aylık Üretililecek Elektrik Enerjisi.....	78
Şekil 5.7. Hava kanalı çapı 20 m için rüzgar hızı ve elektriki güç	80
Şekil 5.8. Hava girişlerinin su üzerinden yapılması	81
Şekil 5.9. Hava girişlerinin ormanlık alanda olduğu santral.....	82

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler : Açıklamalar

gH	: Baca yüksekliği (m)
ΔP	: Basınç farkı
Q_h	: Birim Zamanda Havaya Geçen Isı
T_0	: Çevre sıcaklığı
DMİ	: Devlet meydanları işletmesi
EİE	: Elektrik işleri etüt idaresi
PV	: Fotovoltaik pil
HYGB	: Havada yüzen güneş bacası
ρ	: Havanın yoğunluğu (kg/m^3)
h	: Isı Taşınım Katsayısı
R	: İdeal gaz sabiti
Q_1	: Kollektör Yüzeyinin Depolayacağı Enerji
kw	: Kilowatt
kWh	: Kilowattsaat
m	: Kütle
$\dot{m}$	: Kütleli Debi
MW	: Megavat
μm	: Mikro metre
M_A	: Moleküler ağırlık (g/mol)
V	: Rüzgar hızı (m/s)
c_p	: Sabit Basıncı Özgül Isı
ΔT	: Sıcaklık farkı
TEP	: Ton eşdeğer petrol
D	: Yatay baca çapı (inches)
L	: Yatay baca uzunluğu (feet)
CPV	: Yoğunlaştırıcıli fotovoltaik pil

1. GİRİŞ

İnsanoğlu ilk çağlardan beri farklı enerji kaynaklarından istifade etmiştir. Demiri eritebilmek için ateşin ısı enerjisinden, yelkenli gemileri yüzdürmek ve buğdaydan un elde edebilmek için rüzgar enerjisinden ve akarsuların kinetik enerjisinden faydalanmıştır. Sanayi devrimi ile birlikte enerji ihtiyacı da artmış ve bu ihtiyacı karşılayabilmek için kömür ve petrol daha çok kullanılmaya başlanmıştır. Bu tür enerji kaynaklarının kullanılması sonucunda dünyamızın atmosferi, denizleri ve kara parçaları da kirlenme tehdidi ile karşılaşmıştır. Bu durum dünyamızda yaşayan bütün canlıları tehdit eder hale gelmiştir.

Artan çevre bilinci ve gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakma düşüncesi, fosil enerji kaynaklarının kullanılmasını azaltılarak, çevreyi kirliletmeyen yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanma isteğini arttırmıştır. Enerji kaynakları içerisinde kullanıldığında herhangi bir atık bırakmayan, iletilmesi ve kullanımı en pratik olan enerji türü elektrik enerjisidir. Gelişen teknoloji elektrik enerjisinin üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla faydalanma imkanı sunmuştur. Bilhassa rüzgar ve güneş enerjisinden daha fazla yararlanmak için yeni teknolojiler geliştirilmiştir. Bu teknolojilerden biri de güneş bacalarıdır.

İlk güneş bacası fikri Leonardo Da Vinci tarafından ortaya atılmıştır. Daha sonraki yıllarda pek çok bilim adamı güneş bacaları üzerine araştırma ve uygulamalar yapmıştır. Güneş bacalarında güneşin ısı enerjisinden faydalanılarak rüzgar oluşturulmakta ve rüzgardan da elektrik enerjisi elde edilmektedir. Bunun için büyük bir seraya ve yüksek bir bacaya ihtiyaç duyulmaktadır. Üretilecek enerji seranın büyüklüğü ve bacanın yüksekliği ile doğru orantılıdır. Burada en büyük sorun çok yüksek bir bacayı depremlere ve yan rüzgar kuvvetlerine karşı dik vaziyette tutabilmektir. Bu sorunu çözebilmek için havada yüzen güneş bacaları ve bir dağın yamacına yaslanan yatay güneş bacaları geliştirilmiştir. Bu baca yapılarının uygulamadaki inşaat problemleri yatay güneş bacası fikrinin gelişmesine öncülük etmiştir.

1.1. Daha ÖnceYapılmış Çalışmalar

1.1.1. Teorik Çalışmalar

Haaf (1984) ve Schlaich (1986) güneş bacasındaki akımın genel olarak modellemişlerdi. 1984 yılında Haaf, Manzaranes prototipinin sonuçlarını yayınladı. İlk termodinamik modeller, gaz dinamiği alanına aittir. Burada, kollektördeki sıcaklık artışının kütle akımından bağımsız olduğu kabul edilmişti. Prof. Schlaich, ilki 1995 yılında ve diğeri de 2004 yılında olmak üzere güneş bacasının temel esaslarını anlattığı bir kitap yayınlanmıştır (Koyun,2006).

Pasumarthi ve Sherif (1987, 1989) ve Padki ve Sherif (1999) kendi yaptıkları bir güneş bacasının çalışma prensibini deneysel olarak incelemiş ve basit bir termodinamik model geliştirmişlerdir. Bu bir model üzerinde, kolektörde ki kütle akımı ve sıcaklık artışı arasındaki bağlantı ısı dengeliği modeline göre sayısal olarak gerçekleştirilmiştir. Ancak bu sistemde türbinin baca çıkışına konması nedeniyle, hem statik hem de dinamik problemler yaratabileceği nedeniyle büyük sistemler için uygun değildir.

Kreetz (1997) ayrıca zemine döşenen su depolama sistemlerinin güneş bacasının gücüne etkisini zamana bağlı olarak incelemiştir (Koyun,2006).

Pasumarthi ve Sherif (1998), güneş bacasının hem teorik hem de deneysel olarak performans karakteristikleri incelemiştir. 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 vermişlerdir (Koyun,2006).

Padki ve Sherif (1999), güneş bacası için basit bir analitik model geliştirmişlerdir. Farklı güneş bacası geometrileri için güç ve verimler elde edilmiştir (Koyun,2006).

Bernardes vd. (1999), doğal konveksiyon, laminar ve daimi akış şartları baz alınarak, farklı sınır şartları için güneş bacasının termo-hidrokinamik analizi yapılmıştır. Hava akışını sayısal analizi için sonlu hacim metodu kullanılmıştır (Koyun,2006).

Gannon (2000), sistem kayıpları ve kollektör performansı düşünülerek güneş bacası çevrim analizi yapmıştır. Sistem kayıpları olarak sürtünme kayıpları, sistem, türbin ve kinetik enerji kayıpları düşünülmüştür. Daha büyük güneş bacası sistemlerinin

tasarımını yapabilmek için basit bir kollektördeki kütle akışı ve sıcaklık artışı kullanılmıştır (Koyun,2006).

Backström ve Gannon (2000), baca yüksekliği, sürtünme kaybı gibi parametrelere bağlı olan termodinamik değişkenlerin hesaplanabilmesi için tek boyutlu sıkıştırılabilir akış için bazı yaklaşımlar geliştirmiştir. Fiziksel model olarak ise 1500 m'lik baca yüksekliğine, 160m baca çapına ve 4km kollektör çapına sahip bir sistem düşünülmüştür. Bu bacada, basınç değişimin, akışkan sürtünme kayıplarının, yüzey alanı değişiminin, mach sayısına olan etkisi incelenmiştir (Koyun,2006).

Backström ve Gannon (2002), güç üreten türbin kısmını ayrıntılı olarak incelemiş ve maksimum verimin elde edilebilmesi için hangi özelliklerin mevcut olması gerektiğini araştırmışlardır (Koyun,2006).

Türbin veriminin daha çok, türbin kanat sayısına ve türbin difüzör kayıp katsayısına bağlı olduğu tespit edilmiştir (Koyun,2006).

Türbinin optimum reaksiyon derecesi, gerekli güç için maksimum türbin verimi ve en uygun türbin büyüklüğü için analitik çözümler bulunmuştur. 720 cm çapa sahip türbin modelindeki karakteristikler analitik modelin geçerliliğini onaylamaktadır. Büyük güneş bacası sistemleri için ise türbin verimi %90 seviyelerine kadar çıkmaktadır (Koyun,2006).

Gannon (2002), daha çok kollektör modelini ve türbini ayrıntılı bir şekilde incelemiştir. Gannon kollektör için ısı denkliliğini çıkarmış ve burada $5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ değerine sahip sabit bir ısı iletim katsayısı kullanmıştır. Bu değer ile 2000 m kollektör çapına sahip bir güneş bacası hesaplanmıştır. Ayrıca zemin sıcaklığının maksimum 168°C 'ye ulaştığı sonucuna varmıştır. Zemin sıcaklığının bu denli yüksek olmasının nedeni, ısı depolama sisteminin bulunmaması ve sabit bir ısı iletim katsayısının kullanılmasıdır (Koyun,2006).

Müller (2002) ise türbin bölgesindeki akım profillerini sonlu elemanlar metodu ile ortaya çıkarmıştır (Koyun,2006).

Bernardes vd. (2003), güneş bacasının termal ve teknik analizi ayrıntılı bir şekilde incelemişlerdir. Sıcaklık ve güç çıkışını hesaplamak için ayrıca çeşitli çevre sıcaklıklarının güce olan etkisini incelemek için matematiksel bir model geliştirilmiştir. Bu matematiksel model sonuçları Manzaranes prototipinde, elde edilen deneysel verilerle karşılaştırmışlardır (Koyun,2006).

Dai vd. (2003) ise Çin'in kuzey batı bölgesindeki şehir dışındaki bir yerleşim biriminin elektrik ihtiyacını karşılamak için bir güneş bacası sistemi dizayn ve analiz etmişlerdir. Güneş ışıınının diğer bölgelere göre daha yoğun olduğu bu bölgede aylık yaklaşık 110-190 kW'lık bir elektrik enerjisinin üretilebileceği öngörülmüşlerdir. Baca yüksekliği, kollektör çapı, çevre sıcaklığı, güneş ışıının miktarı ve türbin verimi gibi faktörlerin güç artışına etkilerini analiz edilmişlerdir (Koyun,2006).

Sonuçta, baca yüksekliği, kolektör verimi, türbin verimi ve kollektör yüzey alanı gibi parametrelerin önemli olduğu, öncelikler güneş ışıınının elde edilen güce direkt etkisinin olduğu ve çevre sıcaklığının ikinci derecede etkili olduğu sunucuna varılmıştır.

Pastohr vd. (2004), güneş bacası içindeki akışın sıcaklık ve akış özellikleri sayısal ve analitik olarak incelemiştir (Koyun,2006).

Analitik çözüm olarak ise Navier-Stokes denklemleri kullanılmıştır. Sayısal çözüm ile analitik çözümler karşılaştırıldığında yaklaşık %4'lük bir sapmanın olduğu görülmüştür. Schlaich vd. (2004), genel olarak güneş bacalarının teorisi, pratik uygulamaları ve ekonomik analizi incelemiştir. Güneş bacasının temel çalışma prensibi anlatıldıktan sonra güç çıkışı ile ilgili temel bağıntılar verilmiş, ilk güneş bacası prototip olan Manzaranes prototipi hakkında teknik bilgilerden bahsedilmiştir (Koyun,2006).

Bilgen ve Rheault (2005), yüksek enlemlerdeki güç üretimi için bir güneş bacası sistemi dizayn etmişler ve bu sistemin performansını değerlendirilmişlerdir. Aylık ortalama meteorolojik ve termodinamik çevrime dayalı olarak matematiksel bir model ve MATLAB programında bazı kodlar geliştirilmiştir. Kanada'nın Ottawa bölgesinde kurulu, 5 MW nominal güce sahip güç üreten sistemin termal performansı incelenmiştir.

Denantes ve Bilgen (2006), verimli bir karşı dönüşlü türbin modeli geliştirilmiş ve kullanılabilirliği araştırmıştır (Koyun,2006).

Pretorius ve Kröger (2006)'in yaptığı incelemeler sonucunda, yeni ısı transfer denkleminin tesis güç çıkışını önemli ölçüde düşürdüğünü göstermiştir. Kollektör camı olarak daha kaliteli cam kullanılması, güç üretimini artırdığı için daha hassas türbin giriş kayıp katsayısının etkisi önemsiz olmaktadır. Farklı kollektör camının ısı iletimine etkisi ve zemin olarak kireçtaşı, kumtaşı ve granitin kullanılması durumunda bunun güç üretimine etkisi araştırılmıştır (Koyun,2006).

1.1.2. Uygulamalı Çalışmalar

1.1.2.1. Manzaranes Prototipi

Manzaranes prototipi güneş bacası fikrini ilk ortaya atan 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 gerçekleştirilmiştir (Koyun,2006).

Bu prototipin inşasına 1982 yılında başlanmış olup, 1986 ve 1989 yılları arasında gerçek ölçümler alınmış ve başarılı bir şekilde çalışmıştır. Sistem üzerinde bulunan 180 adet farklı ölçüm sensörü vasıtasıyla binlerce veri her saniyede ölçüm yapılarak alınmıştır. Şekil1.1 de bu prototipinin bir fotoğrafı görülmektedir (Koyun,2006).



Şekil 1.1. Manzaranes prototipi (Schlaich vd., 2004)

Bu prototipin teknik verileri ise Çizelge 1.1’de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Manzaneres güneş bacasının teknik değerleri

Baca yüksekliği	194,6 m
Baca çapı	10 m
Kollektör çapı	240 m
Ortalama kollektör çapı	122 m
Ortalama kollektör yüksekliği	1,85 m
Türbin kanat sayısı	4
Kollektördeki düşünülen sıcaklık artışı	$\Delta T = 20 \text{ K}$
Nominal türbin gücü	50 kW
Naylon kollektör yüzey alanı	40000 m ²
Cam kollektör yüzey alanı	6000 m ²

Bu çalışmanın amacı, o ana kadar geliştirilen teorik çalışmaların deneysel verilerle doğruluğunu kanıtlamak ve sistem üzerindeki her bir elemanın verim ve güç üzerine etkisini gerçek meteorolojik şartlar altında incelemektir (Koyun,2006).

Kurulan prototip 3 yıllık bir süre için deneme amaçlı kurulduğu için sistemin demonte edilebilir ve kullanılan parçaların daha sonra tekrar kullanılabilir olması düşünülmüştür. Bu amaçla baca kısmı trapez levhaların boru haline getirilerek üst üste birleştirilmesiyle elde edilmiştir. Levhaların kalınlığı 1,25 mm dir. Ayrıca bacanın kötü hava şartlarında devrilmemesi için dört eşit yükseklikten 3 ayrı yöne çelik gergi halatları ile zemine bağlanmıştır (Koyun,2006).

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 ortaya çıkarılmıştır (Koyun,2006).

1.1.2.2. Florida Üniversitesi Prototipi

1997 yılında Amerika’nın, Florida Enerji Servisi’nin desteklediği bir proje kapsamında Padki ve Sherif tarafından Florida bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Baca yüksekliği 7,92m kollektör çapı 9,15m, baca giriş çapı 2,28m ve baca çıkış çapının ise

0,61 m olması nedeniyle deneysel amaçlı bir sistem olduğu söylenebilir. Şekil 1.2’de bu sistemin bir fotoğrafı görülmektedir (Koyun,2006).



Şekil 1.2. Florida Üniversitesi’nin kurduğu sistem (Florida Üniversitesi, 2005)

Güneş bacası teorisinde türbin, esasen baca girişinde yer almaktadır. Sözü edilen çalışmada ise toplayıcı ve baca arasında kademeli bir geçiş düşünülmüş, baca hava hızını arttırmak amacıyla daralan bir yapıda tasarlanmış ve türbinin, hava hızının en yüksek olduğu yer olan baca çıkışına yerleştirilmesi planlanmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta şudur; prototip sistemde sadece sıcaklıklar belirlenmiş, sistemden elde edilebilecek güç analitik model kullanılarak hesaplanmıştır. Bu ebatla bir sistem için (baca yüksekliği 7,92 m) baca çıkışına türbin yerleştirmek problem teşkil etmeyebilir. Ancak gerçekte, kurulan bu tip bir sistemin baca yüksekliği göz önüne alındığında (200–1000 m), böyle bir yüksekliğe türbin yerleştirmenin kolay ve ekonomik olmayabileceği akıldan çıkarılmamalıdır (Kara, 2002).

Bu prototip ile ilgili başta Sherif olmak üzere Pasumarthi ve Padki tarafından birçok çalışma yapılmıştır (Koyun,2006).

1.1.2.3. İran prototipi

İran’daki Shahid Bahonar Kerman Üniversitesi’nden Mohammad Rahnama’nın gerçekleştirdiği bir sistemdir. Yaklaşık 10 kW güç üretmesi öngörülmüştür. Şekil 1.3’de bu sisteme ait bir fotoğraf görülmektedir (Koyun,2006).



Şekil 1.3. İran Shahid Bahonar Üniversitesi'nin kurduğu güneş bacası sistemi (Shahid Bahonar Kerman, 2005)

Gerçekleştirilen bu prototipler haricinde ise yine tamamen deneysel amaçlı olarak Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin'de (Berlin Teknik ve Ekonomi Yüksek Okulu) inşa edilmiştir. Bu sisteme ait bir görüntü Şekil 1.4'de gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin'de kurulan güneş bacası sistemi (FHTW, 2006)

1.1.2.4. Süleyman Demirel Üniversitesi Güneş Bacası Çalışması



Şekil 1.5. Süleyman Demirel Üniversitesi Güneş Bacası Çalışması(Koyun, 2006)

Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi'nde Yenilenebilir Enerji Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi tarafından 15 m yüksekliğinde ve 1.2 m çapında bacası ve 16m çapında şeffaf cam örtülü seraya sahip bir güneş bacası 2004 yılında inşaa edilmiştir. Güneş bacasının değişik yerlerine ölçüm cihazları yerleştirilerek rüzgar hızı oluşan sıcaklık farkları gibi pek çok veri ölçümü ve kaydı yapılmıştır (Koyun,2006).

1.2. Tezin Amacı ve içeriği

Elektrik enerjisinin elde edilmesinde kullanılan birincil kaynakların tükenir olması ve çevreye olumsuz etkileri elektrik enerjisinin üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanılması gerektiğini ortaya çıkarmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından en önemlisi olan güneş enerjisi de çeşitli yöntemlerle elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan güneş bacaları ile elektrik enerjisi üretiminde her geçen gün yeni gelişmeler olmaktadır. Sabit güneş bacası santrali 1983 yılında İspanya'nın Manzanares bölgesinde inşaa edilmiştir. 50kW gücündeki bu santralin bacası 1986 yılında fırtınada yıkılmış bir dahada tamirata yapılmamıştır. Eğik güneş bacaları konusunda da pek çok çalışma yapılmıştır. Yatay

güneş bacası fikri Amerika’ da ortaya çıkmış ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda 100MW’lık yatay bacalı güneş santrali için 4000 m çaplı bir kollektöre ve 175 m çapında hava kanallarına ihtiyaç duyulduğu belirtilmektedir. Uygulamada bu kadar büyük çaplı kollektör ve hava kanalının inşaatının pek mümkün olmayacağı düşünülmektedir.

Bu tez çalışmasında da güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten güneş bacası sistemleri ele alınması, bunlardan gelişme aşamasında olan ve henüz büyük çapta uygulanmamış “yatay güneş bacası sistemleri” detaylı olarak incelenmesi, bu konuda çeşitli modeller geliştirilmesi ve uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Bilecik ili için örnek bir tasarım ve farklı çaplardaki kollektör ve hava kanalı için örnek hesaplamalar yapılarak bir yıllık periyot için üretilebilecek elektrik enerjisinin tespitinin yapılması planlanmaktadır.

Tez Altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm giriş olmak üzere kalan bölümlerde ele alınan konuların içerikleri şu şekildedir:

İkinci Bölümde, güneş enerjisi hakkında bilgi verilerek Dünyadaki ve Türkiye’deki güneş enerjisi potansilleri ele alınmıştır.

Üçüncü Bölümde, güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etme yöntemlere tek tek ele alınmış bunlarla ilgili detaylı bilgiler verilmiştir.

Dördüncü Bölümde, güneş bacası sistemlerinin yapısı, çalışma şekli ve çeşitleri konusunda bilgiler verilmiş, tezin ana konusunu oluşturan yatay güneş bacası sistemleri konusu detayları olarak ele alınmıştır.

Beşinci Bölümde, tez çalışması kapsamında tarafımızdan geliştirilen modeller verilerek yapıları ve çalışma şekilleri açıklanmış, yatay güneş bacası sistemleri için örnek hesaplamalar verilerek tasarlanan sistemlerden bir tanesi kullanılarak Bilecik ili için farklı parametreleri içeren uygulamalar yapılmıştır.

Altıncı Bölümde ise elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve çeşitli öneriler sunulmuştur.

2. GÜNEŞ ENERJİSİ

Dünyanın en büyük enerji kaynağı güneştir. Bitkiler güneş enerjisini kullanarak fotosentez yaparlar ve bunun sonucunda besin üretirler. Üretilen bu besin dünyadaki tüm canlıların gıda ihtiyacını karşılar. Güneş Enerjisinin bir etkisi de Dünyamızı ısıtmaktır. Gece olduğunda havanın soğumasından da anlayabileceğimiz gibi güneş yeryüzünün sıcaklığını arttırmaktadır. Otomobillerin hareket etmesi, binaların ısıtılması, fabrikaların çalışması, elektronik aletlerin kullanılabilmesi gibi günlük işlerimizin neredeyse hepsi bir enerji kaynağına ihtiyaç duyar. İhtiyaç duyduğumuz enerjiyi sağlamak için daha çok petrol türü yakıtlar kullanıyoruz.

Fosil yakıtlar denilen bu enerji kaynakları dünyada sanayileşmenin başladığı zamandan bu yana yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat bu enerji kaynaklarının bazı olumsuz etkileri de vardır. Çok kullanılan bu yakıtların tüketilmesi sonucunda doğaya bazı atık maddeler salınmaktadır. Otomobillerin egzozlarından, fabrikaların bacalarından çıkan gazlar doğada o zamana kadar hiç bulunmayan bazı zehirli maddeler taşıyor. 1700'lü yılların sonundan günümüze kadar devam eden fosil yakıt kullanımı dünyamızın giderek kirlenmesine neden oluyor. Bunun sonrasında küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi doğal dengeyi bozan birçok problem oluşturmaktadır. Enerji kaynakları üretmek isteyen bilim insanları güneşin sahip olduğu sonsuz enerjiden yararlanmak istemişlerdir. Bunun için çeşitli teknolojiler geliştirilmiştir. Güneş enerjisi sistemleri çevreye zararlı gazlar vermeyen, tükenmeyen bir enerji türüdür. Çevreye zarar vermediği, tükenmeyen ve çok ucuz bir enerji kaynağı olduğu için güneş enerjisinin kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır (Kurban ve Gün 2011).

Güneş Enerjisinin Üstünlükleri Şu Şekilde Sıralanabilir:

- Güneş enerjisi tükenmeyen bir enerji kaynağıdır.
- Güneş enerjisi, arı bir enerji türüdür. Gaz,duman, toz, karbon veya kükürt gibi zararlı maddeleri yoktur.
- Güneş, tüm dünya ülkelerinin yararlanabileceği bir enerji kaynağıdır. Bu sayede ülkelerin enerji açısından bağımlılıkları ortadan kalkacaktır.
- Güneş enerjisinin bir diğer özelliği, hiçbir ulaştırma harcaması olmaksızın her yerdesağlanabilmesidir.

-Güneşi az veya çok gören yerlerde biraz verim farkı olmakla birlikte, dağların tepelerinde vadiler ya da ovalarda da bu enerjiden yararlanmak mümkündür.

-Güneş enerjisi hiçbir karmaşık teknoloji gerektirmemektedir. Hemen hemen bütün ülkeler, yerel sanayi kuruluşları sayesinde bu enerjiden kolaylıkla yararlanabilirler.

Bugün için bu enerjinin karşılaştığı sorunlar ise şöyledir:

-Güneş enerjisinin yoğunluğu azdır ve sürekli değildir. İstenilen anda istenilen yoğunlukta bulunamayabilir.

-Güneş enerjisinden yararlanmak için yapılması gerekendüzeneklerin yatırım giderleri teknolojik açıdan yüksektir.

-Güneşten gelen enerji miktarı bizim isteğimize bağlı değildir ve kontrol edilemez.

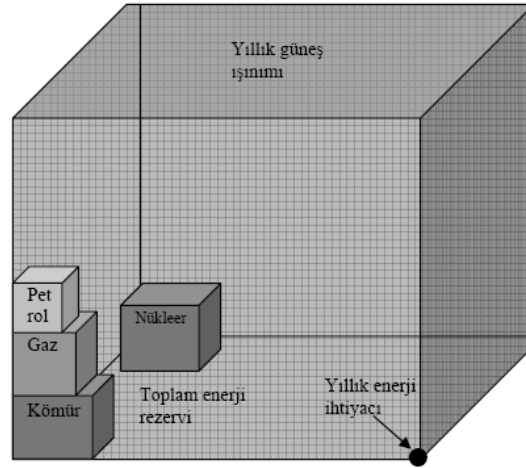
-Bir çok kullanım alanının, enerji arzı ile talebi arasındaki zaman farkı ile karşılaşmaktadır.

-Güneş enerjisinden elde edilen ısıtım talebinin yoğun olduğu zamanlardakullanılmak üzere depolanmasını gerektirir. Enerji depolaması ise birçok sorun yaratmaktadır.

Güneş enerjisinin depolanabilmesi ve diğer enerji çeşitlerine dönüşebilmesi ısı, mekanik, kimyasal ve elektrik yöntemlerle olur. Isı depolama veya çevrimde özgül ısı kapasitesi yüksek ve kolay bulunur ucuz maddeler kullanılır. Su, yağ, çakıl taşı yatakları bunlar arasındadır. Mekanik depolamada güneşle çalıştırılan bir pompa yada kompresör tarafından basılan yüksek basınçlı akışkan, uygun bir ortamda toplanır.

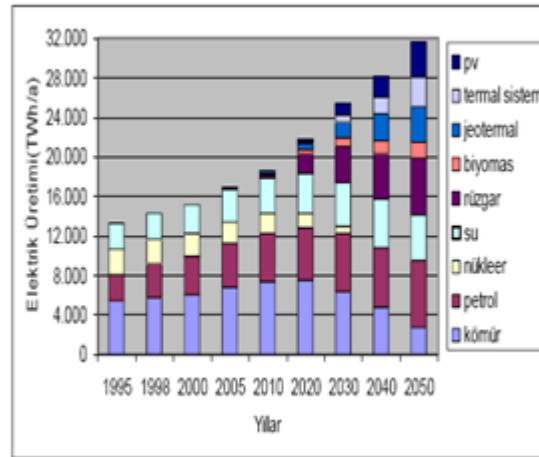
Kimyasal depolamada hidrat tuzlarından yararlanılır. Elektrik depolamada ise enerji depolaması bataryalarla (akü) yapılır. Güneş enerjisi bu çevrimlerle veya doğrudan kullanım suyu ısıtılması, yüzme havuzu ve limonluk ısıtılması, kaynatma ve pişirme bitkisel ürünlerin kurutulması, su damıtılması, yapıların ısıtılması ve soğutulması (iklimlendirilmesi), soğutma, toplam enerji sistemleri ile ısı ve elektriğin birlikte üretilmesi, sulama suyu pompalanması endüstriyel işlem ısısı üretilmesi, elektrik üretilmesi ve fotokimyasal ve fotosentetik çevrimlerin gerçekleştirilmesi amacıyla kullanılır. Güneş enerjisinden doğrudan ısı enerjisi, güneş enerjisinden doğrudan elektrik enerjisi, güneş enerjisinden hidrojen enerjisi elde etmek mümkündür.

Mevcut yenilenebilir enerji kaynakları, teorik olarak bütün dünya enerji ihtiyacını karşılayabilir. Dünyadaki enerji kaynaklarının ve güneş enerjisinin arzı ile ilgili bir karşılaştırma Şekil2.1’de gösterilmiştir (Kurban ve Gün 2011).



Şekil 2.1. Dünyanın enerji ihtiyacı, fosil yakıtlı enerji kaynağı arzı ve güneş enerjisinin karşılaştırılması (Qoaschnig 1999)

Güneşten dünyaya yılda $3,9 \times 10^{24} \text{ J} = 1,08 \times 10^{18} \text{ kWh}$ lik bir enerji gelir. Bu da dünya toplam ihtiyacının yaklaşık 10.000 katıdır. Diğer bir ifade ile dünyaya gelen güneş enerjisinin onbinde birini kullanabilmiş olsaydık bütün dünyanın enerji ihtiyacı karşılanmış olurdu. Şekil 2.2 'de Dünya’da yenilenebilir enerji üretiminin yıllara göre artışı verilmiştir (Kurban ve Gün 2011).



Şekil 2.2. Global enerji üretiminde yenilenebilir enerjilerin yıllara göre artışı

2.1. Dünyanın Güneş Enerji Potansiyeli

Güneş, nükleer yakıtlar dışında kullanılan diğer tüm yakıtların ana kaynağıdır. Dünya güneşten yaklaşık 150 milyon km uzaklıkta bulunmaktadır. Dünya hem kendi çevresinde dönmekte, hem de güneş çevresinde eliptik bir yörüngede dönmektedir. Bu yönüyle, dünyaya güneşten gelen enerji günlük olarak değişmekte, hem de yıl boyunca değişmektedir (E.İ.E. 2007).

Dünyanın kendi çevresinde dönüşünden kaynaklanan güneş enerjisi değişimi gece gündüzü oluştururken, Dünyanın güneş çevresinde dönüşümünden kaynaklanan güneş enerjisi değişimi de, mevsimleri oluşturmaktadır. Dünyanın kendi çevresindeki dönüş eksenini, güneş çevresindeki dolanma yörüngesi düzlemiyle 23,50'lik bir açı yaptığından, yer yüzüne düşen güneş şiddeti yörünge boyunca değişmekte ve mevsimlerde böylece oluşmaktadır. Ayrıca, bu eğrilik, yıl boyunca gündüz gece uzunluğunda da değişimler ortaya çıkartmaktadır (E.İ.E. 2007).

Dünyaya güneşten saniyede, yaklaşık 1.7×10^{17} j' lük enerji, (170 milyar megawatt) ışınlamalar gelmektedir. Güneşin saldıgı toplam enerji göz önüne alındığında, bu çok küçük bir kesirdir. Ancak bu tutar, dünyada insanoğlunun bugün için kullandığı toplam enerjinin 15-16 bin katıdır. Dünyaya gelen güneş enerjisi çeşitli dalga boylarındaki ışınlardan oluşur ve Güneş-Dünya arasını yaklaşık 8 dakika da aşarak dünyaya ulaşır. Dünyanın dışına, yani hava kürenin dışına güneş ışınlarına dik bir metre kare alana bir saniyede gelen güneş enerjisi, 1357 j dür. Bu değer, tanım gereği, yıl boyunca değişmez varsayılabilir. Bu sayı güneş değişmezi olarak bilinir.

Hava küre dışına gelen güneş ışınlarının dalga boyları, içinde görünür bölgeyi de içerecek şekilde, morötesinden kırmızı altına dek uzanmaktadır. Başka bir değişle, güneş ışınlamalarının dalga boyları 0.1-3 um arasındadır. Her dalga boyunun şiddeti aynı değildir (E.İ.E. 2007).

Güneşten gelen ışınlamaların dağılımına bakıldığında, bunların %9' u mor üstü bölgede, %45'i görünür ışık bölgesinde ve geri kalan 546' sı kırmızı altı bölgesinde bulunur (E.İ.E. 2007).

Güneş ışınlamaları havaküreyi geçerken belli soğurmalarla uğrarlar. Bu soğurmalar, hava küreyi oluşturan gazlardan ve toz parçacıklarından kaynaklanır.

Yer yüzeyinden yaklaşık 25 km yüksekte güneş ışınlamalarının mor üstü kısmını kesen bir bölge bulunmaktadır. Bu bölgeye ozon katmanı denir. Bu katmanda dalga boyları 0.32 um küçük olan mor üstü ışınlar soğurlurlar (E.İ.E. 2007).

Bu soğurma özellikle canlılar için önemlidir. Çünkü, mor ötesi ışınlamalar enerjik ışınlamlardır ve canlıların derisini bozucu, gözlere zarar verici etkileri vardır. Bu yönüyle ozon katmanındaki mor üstü ışınlamalarının soğurulması, yeryüzünde canlıların sağlıklarıyla doğrudan ilişkilidir. Bu soğurmalar sonucu, mor üstü bölgede 0.3-0.4um aralığındaki dalga boylarında olan ışınlamalar yeryüzüne ulaşabilir ki, bunlarda güneş altında derimizin yanmasında, bronzlaşmasında etkilidir (E.İ.E. 2007).

Bunun dışında, görünür bölge ve kırmızı altı bölgelerindeki ışınlamalar, havadaki gaz molekülleri ve toz parçacıklarıyla etkileşme sonucu saçılırlar. Bu saçılma, her yöndedir ve bu yönüyle gelen güneş enerjisinin bir kısmı yeryüzüne ulaşmadan uzaya geri gider. Mavi renge karşılık gelen dalga boyları, kırmızı renge karşılık gelenlere kıyasla daha çok saçılırlar. Yeryüzünden bakıldığında göğün mavi renkte görünmesinin nedeni budur (E.İ.E. 2007).

Su damlacıkları da ışınlamaları saçılmaya uğratmada etkilidir. Yoğun bulutlar, gelen ışınlamaların %80'ini geri saçarak bu ışınlamaların yeryüzüne ulaşmalarını önlerler. Dünyanın ortalama bulut örtüsünün %50 dolayında olduğu düşünülürse güneş enerjisinde önemli bir kaybın bu şekilde ortaya çıktığı görülür (E.İ.E. 2007).

Gelen güneş ışınlamalarının görünür bölgeye düşen kesimi için hava küre hemen hemen saydam özellik gösterir. Yani bu ışınlamalar için hava küre açık bir penceredir. Ancak, bazı toz ve kirleticilerin bu bölgedeki ışınlamaları soğurdukları göz ardı edilmemelidir. Yakın kırmızı altı bölgeye düşen ışınlamaların yaklaşık %20 si havadaki su buharı ve karbondioksitle soğurulurlar. Bu soğurmalar sonucu hava kürenin ısınması ortaya çıkar (E.İ.E. 2007).

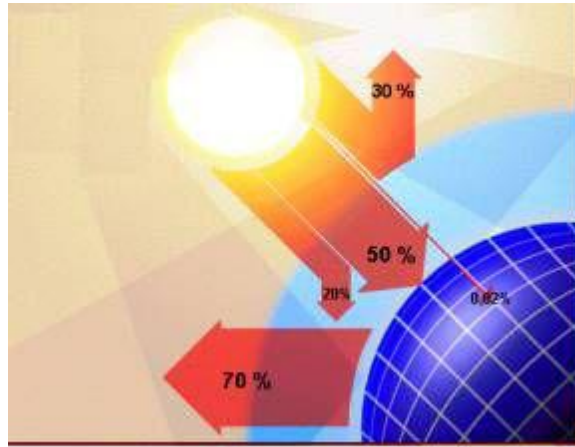
Güneş ışınlamalarının hava küre ile etkileşmeleri sonucu, yeryüzüne gelen toplam güneş ışınlamalarının şiddeti, hava küre dışına gelen şiddetin yarısından biraz fazla kalacak denli azalmaktadır. Aynı zamanda, belli dalga boyları artık süzölmüş, böylece enerji dağılımı da bundan etkilenmiştir. Doğal olarak hava küre etkileri güneş ışınlamalarının havada aldıkları yola bağlıdır. Eğik gelen güneş ışınlamaları, dik gelmeye kıyasla daha uzun yol alacakları için, bu etkilerde artacaktır (E.İ.E. 2007).

Tüm bu etkiler sonucu yeryüzüne ulaşan güneş ışınlamaları, yayınlık ve doğrudan olarak iki kesimde yeryüzüne çarparlar. Yayınlık ışınlar, bulutlarca ve tozlarca saçılmaya uğratılmış ışınlamlardır. Doğrudan gelenler ise bu tür etkilere uğramamış ışınlardır.

Güneş enerjisinin bir diğer dönüşümü de rüzgarlar ve deniz dalgalarıyla okyanus akıntılarıdır. Rüzgarların oluşması temelinde havanın bazı bölgelerinin değişik etkenler sonucu diğer bölgelere kıyasla daha sıcak ya da daha soğuk olmasından kaynaklanan basınç farklılıkları etkin olmaktadır. Bu ısınma ve soğumalarda da güneş etkin rol oynamaktadır. Deniz dalgaları ve akıntıları temelde rüzgarın etkisiyle ortaya çıkarlar. Dolayısıyla, hem rüzgar, hem de deniz dalgaları akıntılar birer güneş enerjisi türevidir.

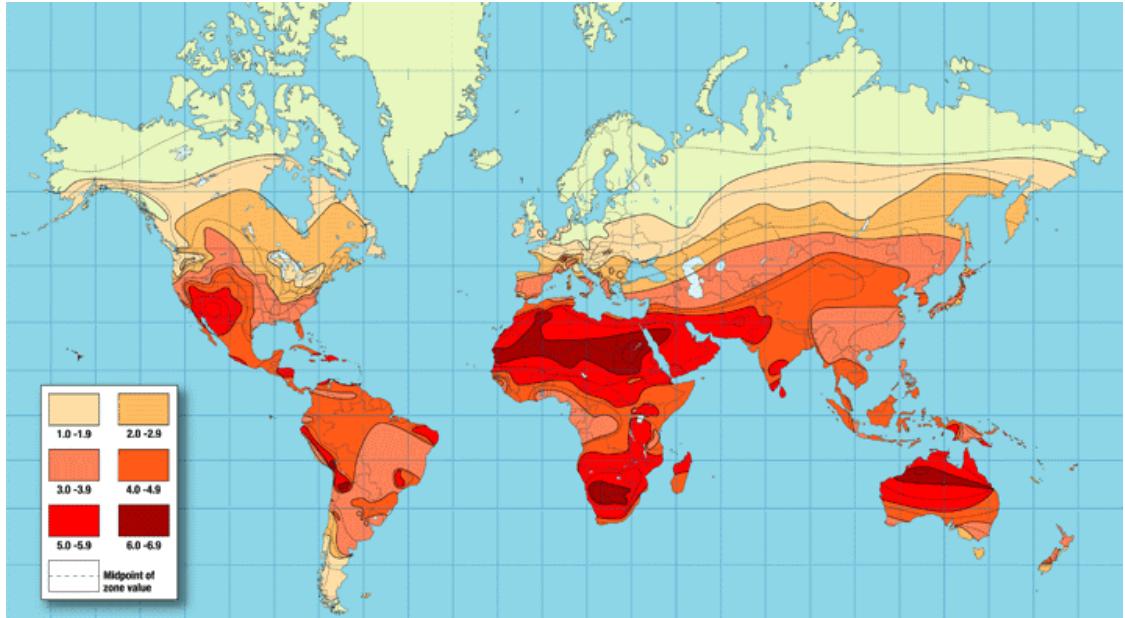
Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ısıma enerjisidir, güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden kaynaklanır. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, güneş enerjisi çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir (E.İ.E. 2007).

Güneş enerjisinin tamamı Dünya'ya ulaşamamaktadır. Bu enerjinin Dünyamıza ulaşma ve yansımaları Şekil 2.3'de görülmektedir.



Şekil 2.3. Dünyaya gelen ışınlam.(E.İ.E.,2007)

Dünyamızın küre şeklinde olması ve ekseninin eğik olmasından dolayı Dünyanın her bölgesi güneş enerjini farklı miktarlarda almaktadır. Şekil 2.4 'de Dünyamızın güneş enerji potansiyel haritası görülmektedir.



Şekil 2.4. Dünya'nın güneş enerjisi potansiyel haritası

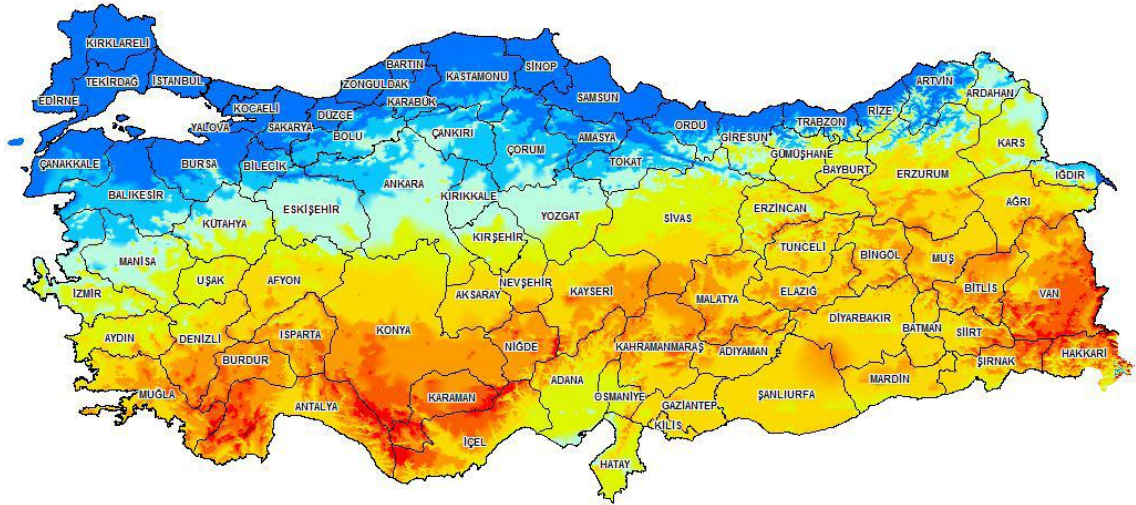
Her geçen gün yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla faydalanabilmek için yapılan yatırımlar hızla artmaktadır. Bunlardan Dünyadaki önemli güneş enerjisi santrallerinden bazıları Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Dünyada bulunan önemli güneş enerjisi santralleri

SIRA NO	GÜÇ KONUM	SANTRAL İSMİ	İNŞAA YILI
1	80MW Kanada, Sarnia (Ontario)	Sarnia PV power plant	2009
2	60 MW İspanya, Olmedilla (Castilla-La Mancha)	Parque Fotovoltaico Olmedilla de Alarcón	2008
3	54 MW Almanya, Straßkirchen	Solarpark Straßkirchen	2009
4	53 MW Almanya, Turnow-Preilack	Solarpark Lieberose	2009
5	50 MW İspanya, Puertollano (Castilla-La Mancha)	Parque Fotovoltaico Puertollano	2008
6	46 MW Portekiz, Moura (Alentejo)	Moura photovoltaic power plant	2008
7	45 MW Almanya, Köthen	Solarpark Köthen	2010
8	42 MW Almanya, Finsterwalde	Solarpark Finsterwalde	2009
9	40 MW Almanya, Brandis	Solarpark Waldpolenz	2007
10	34,5 MW İspanya, Trujillo (Cáceres)	Planta Solar La Magascona & La Magasquila	2008
11	34 MW İspanya, Arnedo (La Rioja)	Planta Solar Arnedo	2008
12	31,8 MW İspanya, Dulcinea (Cuenca)	Planta Solar Dulcinea	2009
13	30 MW İspanya, Merida (Extremadura)	Parque Solar "SPEX" Merida/Don Alvaro	2008
14	26 MW İspanya, Fuente Álamo (Murcia)	Planta solar Fuente Álamo	2008
15	25 MW ABD, Arcadia, Florida	DeSoto Next Generation Solar Energy Center	2009
16	24,5 MW Almanya, Finow	Solarpark Finow	2010
17	24 MW Italy, Montalto di Castro (Lazio)	Montalto di Castro PV power plant	2009
18	24 MW Güney Korea, Sinan	Sinan power plant	2008
19	23,4 MW Kanada, Arnprior (Ontario)	Arnprior PV power plant	2009
20	23,2 MW İspanya, Lucainena de las Torres (Almeria)	Planta fotovoltaica de Lucainena de las Torres	2008

2.2. Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli

Ülkemiz, coğrafi konumu itibarıyla sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nde (DMİ) mevcut bulunan 1966 - 1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınlam şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre, Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat, bu da günlük toplam 7.2 saate eşittir. Ortalama yıllık toplam ışınlam şiddeti 1311 kWh/m^2 bu da günlük toplam 3.6 kWh/m^2 ye eşittir. Şekil 2.5’de Türkiye'nin yıllık ışınlam haritası görülmektedir.



Şekil 2.5. Türkiye’nin yıllık güneş ışınlamı haritası (EİE, 2007)

Türkiye’nin bulunduğu coğrafi konumu nedeniyle Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz bölgeleri güneş enerjisini en fazla alan bölgelerdir. Türkiye’nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli Çizelge 2.2’de görülmektedir.

Çizelge 2.2. Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli
(EİE Genel Müdürlüğü)

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kcal/cm ² -ay) - (kWh/m ² -ay)		GÜNEŞLENME SÜRESİ (saat/ay)
OCAK	4.45	51.75	103.0
ŞUBAT	5.44	63.27	115.0
MART	8.31	96.65	165.0
NİSAN	10.51	122.23	197.0
MAYIS	13.23	153.86	273.0
HAZİRAN	14.51	168.75	325.0
TEMMUZ	15.08	175.38	365.0
AĞUSTOS	13.62	158.40	343.0
EYLÜL	10.60	123.28	280.0
EKİM	7.73	89.90	214.0
KASIM	5.23	60.82	157.0
ARALIK	4.03	46.87	103.0
TOPLAM	112.74	1311	2640
ORTALAMA	308.0 cal/cm ² -gün	3.6 kWh/m ² -gün	7.2 saat /gün

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Ancak, bu değerlerin, Türkiye'nin gerçek güneş enerjisi potansiyelinden daha az olduğu, daha sonra yapılan çalışmalar ile anlaşılmıştır. 1992 yılında EİE ile DMİ arasında işbirliği yapılarak, ülkemizin gerçek güneş enerjisi potansiyelini belirlemek amacıyla yeni bir proje başlatılmıştır. Çeşitli illerde yeni gözlem istasyonları kurularak enerji amaçlı güneş enerjisi ölçümleri alınmaktadır. Devam etmekte olan ölçüm çalışmalarının sonucunda, Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin eski değerlerden %20-25 daha fazla olacağı öngörülmektedir (Alaçakır).

Ülkemizin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin coğrafi bölgelerimize göre dağılımı Çizelge 2.3. de görülmektedir.

Çizelge 2.3. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı, (EİE Genel Müdürlüğü)

BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kWh/m ² -yıl)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (saat/yıl)
G.DOĞU ANADOLU	1460	2993
AKDENİZ	1390	2956
DOĞU ANADOLU	1365	2664
İÇ ANADOLU	1314	2628
EGE	1304	2738
MARMARA	1168	2409
KARADENİZ	1120	1971

Bu proje kapsamında, EİE' nin ölçüm yaptığı 8 gözlem istasyonundan alınan yeni ölçümler ve DMİ verileri yardımı ile 58 ile ait güneş enerjisi ve güneşlenme süreleri değerleri hesaplanarak Türkiye'nin Güneş Işınımı ve Güneşlenme Süreleri adlı bir kitapçık halinde basılmıştır. Ülkemizin Akdeniz ve Ege Bölgelerinde daha yaygın kullanılmakta olan düzlemsel güneş koll ektörleri, en çok evlerde, turistik tesislerde su ısıtma amacıyla, yüzme havuzlarına ve sanayi tesislerine sıcak su sağlanmasında kullanılmaktadır (Alaçakır).

Dünya genelinde kurulu bulunan düzlemsel güneş kolektörü alanı 100 milyon m²' in üzerindedir. En fazla güneş kolektörü bulunan ülkeler arasında Amerika Birleşik Devletleri, Japonya, Türkiye, Avustralya İsrail ve Yunanistan yer almaktadır (Alaçakır).

Halen ülkemizde kurulu olan güneş kolektörü alanı yaklaşık 12 milyon m² olup, yıllık üretim hacmi 750 bin m² dir. Güneş enerjisinden ısı enerjisi yıllık üretimi 420 bin TEP civarındadır. Bu haliyle ülkemiz dünyada kayda değer bir güneş kolektörü üreticisi ve kullanıcısı durumundadır. Türkiye'de güneş enerjisi kullanımı her geçen gün artmaktadır. Ülkemizde'ki güneş enerjisinin kullanımındaki artış Çizelge 2.4'de görülmektedir.

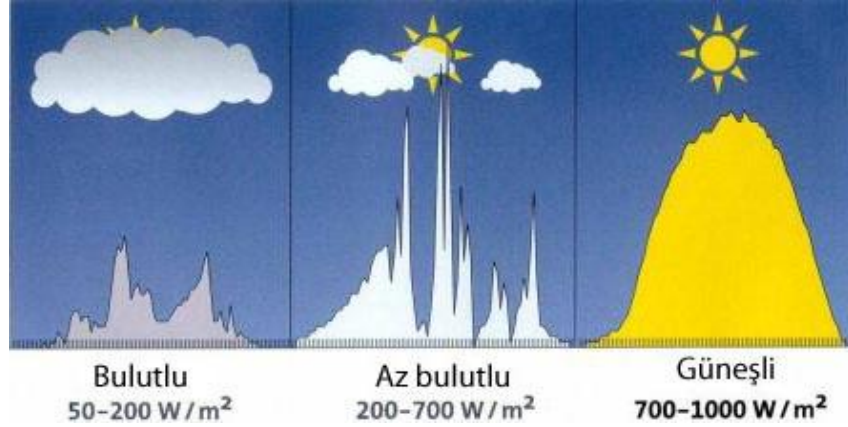
Çizelge 2.4.Türkiyede yıllara göre güneş enerjisi kullanımı

Yıl	Güneş Enerjisi Üretimi (bin TEP)
1998	210
1999	236
2000	262
2001	290
2004	375
2007	420

Türkiye, 12 milyon m² kurulu kolektör alanı ile dünyanın önde gelen ülkelerinden biri konumundadır. Ancak bu kurulu alan miktarlarını, nüfus ile orantılamakta fayda vardır. Bu açıdan bakılacak olursa, kişi başına düşen güneş kolektörü alanı olarak dünyada en çok kullanım 0.85 m²/kişi ile Kıbrıs, bunu 0.55 m²/kişi ile İsrail ve 0.2 m²/kişi ile Yunanistan izlemektedir. Ülkemizdeki durum ise 0.1 m² /kişi ile bunların gerisindedir. Mevcut olan sistemlerin iki katı kadar daha kullanım potansiyeli vardır. (Alaçakır)

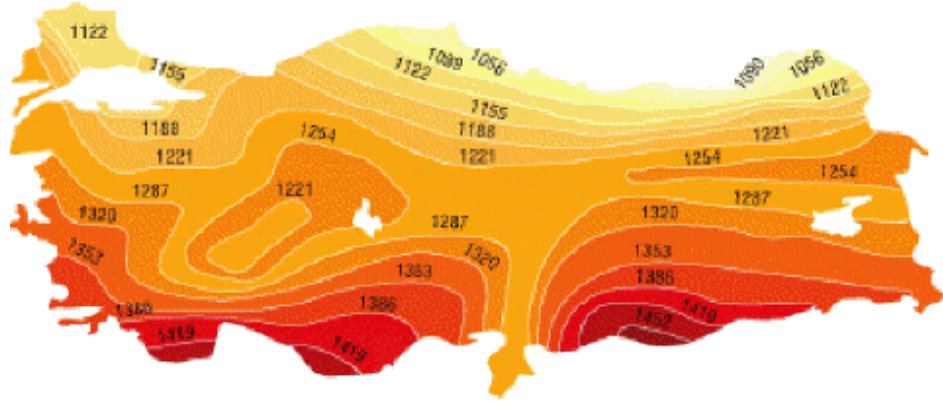
Güneş enerjisi teknik potansiyelimiz 76 milyon ton eşdeğer petrol büyüklüğündedir. Bu potansiyelin ısı enerjisi olarak kullanımı kapsamında, 12 milyon m² alanlı güneş kolektörleri ile 420 Bin TEP lik bölümünü değerlendiriyoruz. Diğer ülkelerde ulaşılan en büyük kolektör kullanım değerinin kişi başına 0.5 m² olduğu düşünüldüğünde, yaklaşık 850 Bin TEP'lik potansiyeli de kullanabilmemiz söz konusudur. Türkiye'de 10'u büyük olmak üzere 100 civarında üretici bulunmaktadır. İhracat da yapılmaktadır (Alaçakır).

Bulutlu yaz günlerinde bile ışığın %80'ni emilmesine karşın 300 W/m²'lik bir güce sahiptir. Meteorolojik şartlara göre güneş enerjisinin Dünyamıza ulaşma miktarı Şekil 2.5'de görülmektedir.



Şekil 2.5. Meteorolojik şartlara göre güneş enerjisinin Dünya'ya ulaşma miktarı

Gerekli yatırımların yapılması halinde Türkiye yılda birim m²'sinden ortalama 1.100 kWh'lik güneş enerjisi üretebilir. Güneşten Dünyaya saniyede yaklaşık 170 milyon MW enerji gelmektedir. Güneşten bir saniyede dünyaya gelen güneş enerjisi miktarı, Türkiye'nin yıllık enerji üretiminin 1700 katıdır. Şekil 2.6'da Türkiye'nin enerji atlası görülmektedir (www.gunessistemleri.com).



Şekil 2.6. Türkiye'nin güneş enerjisi atlası

Türkiye'nin en fazla güneş alan bölgesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi olup, ikinci sırada Akdeniz Bölgesi gelmektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi ülkemizin enerji bakımından en zengin bölgesidir. Bu bölgeye gelen yıllık toplam güneş enerjisi miktarı 1460 kW/m² ve yıllık toplam güneşlenme süresi ise 2993 saattir. Bunun yanında Karadeniz Bölgesi Türkiye'nin en az güneş enerjisi potansiyeline sahip bölgesidir. Bu verilen ışığında Türkiye'de toplam olarak yıllık alınan enerji 10¹⁵ kWh kadardır (www.gunessistemleri.com).

3. GÜNEŞTEN ELEKTRİK ENERJİSİ ELDE ETME YÖNTEMLERİ

Güneş enerjisi uygulamalarında düzlemsel güneş kolektör sistemlerinin yanı sıra daha yüksek sıcaklıklara ulaşmak için yoğunlaştırıcı kolektör sistemleri kullanılmaktadır. Düzlemsel güneş kolektörleri için kullanılan kavram ve tarifler, yoğunlaştırıcı kolektörler için de geçerlidir. Bununla birlikte yoğunlaştırıcı kolektör teknolojisinin daha karmaşık olması nedeniyle, yeni tariflerin yapılması gereklidir. (www.enerji.gov.tr)

Kolektörlerde güneş enerjisinin düştüğü net alana "açıklık alanı" ve güneş enerjisinin yutularak ısı enerjisine dönüştürüldüğü yüzeye "alıcı yüzey" denir. Düzlemsel güneş kolektörlerinde açıklık alanı ile alıcı yüzey alanı birbirine eşittir. Yoğunlaştırıcı kolektörlerde ise güneş enerjisi, alıcı yüzeye gelmeden önce optik olarak yoğunlaştırıldığı için alıcı yüzey, açıklık alanından daha küçük olmaktadır. Güneş enerjisini yoğunlaştıran kolektörlerde en önemli kavramlardan biri "yoğunlaştırma oranı" dır. Yoğunlaştırma oranı, açıklık alanının alıcı yüzey alanına oranı şeklinde tarif edilir. Yoğunlaştırma oranı, iki boyutlu yoğunlaştırıcılarda (parabolik oluk) 300, üç boyutlu yoğunlaştırıcılarda (parabolik çanak) 40000 mertebesindedir. Bu tür kolektörlerde güneş enerjisi, yansıtıcı veya ışın kırıcı yüzeyler yardımı ile doğrusal ya da noktasal olarak yoğunlaştırılabilir (www.enerji.gov.tr).

3.1. Yoğunlaştırıcı Sistemler İle Elektrik Enerjisi Üretimi

Bugüne kadar güneş enerjisi ile elektrik üretiminde başlıca iki sistem kullanılmıştır. Birincisi, güneş enerjisini direkt olarak elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik sistemlerdir. Fakat geçen 20 yıl içerisinde fotovoltaik sistem uygulamalarının artışına rağmen, teknolojinin karmaşıklığı ve maliyetinin yüksek oluşu, geniş çapta elektrik üretimi için yetersiz olduğunu ortaya çıkarmıştır. İkinci seçenek ise, güneş enerjisinin yoğunlaştırıcı sistemler kullanılarak odaklanması sonucunda elde edilen kızgın buhardan, konvansiyonel yöntemlerle elektrik üretimidir. (www.enerji.gov.tr).

Güneş termal güç santralleri, birincil enerji kaynağı olarak güneş enerjisini kullanan elektrik üretim sistemleridir. Bu sistemler temelde aynı yöntemle çalışmakla birlikte, güneş enerjisini toplama yöntemleri, yani kullanılan kollektörler bakımından farklılık gösterirler. Toplama elemanı olarak parabolik oluk kollektörlerin kullanıldığı güç santrallerinde, çalışma sıvısı kollektörlerin odaklarına yerleştirilmiş olan absorban boru içerisinde dolaştırılır. Daha sonra, ısınan bu sıvıdan eşanjörler yardımı ile kızgın buhar elde edilir. Parabolik çanak kollektörler kullanılan sistemlerde de ya aynı yöntem kullanılır ya da merkeze yerleştirilen bir motor (Stirling) yardımı ile direkt olarak elektrik üretilir. Merkezi alıcılı sistemlerde ise, güneş ışınları düzlemsel aynalar (heliostat) yardımı ile alıcı denilen ısı eşanjörüne yansıtılır. Alıcıda ısıtılan çalışma sıvısından konvansiyonel yollarla elektrik elde edilir. Güneş termal güç santrallerinin tasarımında dikkate alınması gereken önemli parametreler şunlardır;

- Bölge seçimi
- Güneş enerjisi ve iklim değerlendirmesi
- Parametrelerin optimizasyonu
- Santralin tesis edileceği ideal bölge seçilirken aşağıdaki kriterler göz önünde bulundurulmalıdır.
- Yıllık yağış miktarının düşük olması, bulutsuz ve sissiz bir atmosfere sahip olması, hava kirliliğinin olmaması, ormanlık ve ağaçlık bölgelerden uzak olması, rüzgar hızının düşük olması (www.enerji.gov.tr).

3.1.1. Güneş Enerjisi ve iklim Değerlendirmesi

Santralin tesis edileceği bölgenin, yılda en az 2000 saat güneşlenme süresine ve metrekare başına yıllık 1500 kWh'lık bir güneş enerjisi değerine sahip olması gereklidir. Ayrıca, 4 saatlik güneşlenme süresine sahip gün sayısının 150 den az olmaması gereklidir. Yukarıdaki şartları sağlayan bir bölgede santral tasarımı için aşağıdaki çalışmaların yapılması gerekir (www.enerji.gov.tr).

3.1.2. Uzun Dönem Performans Değerlendirmesi

Yoğunlaştırıcı kollektörlerin uzun dönem performans değerlendirme için saatlik direkt güneş enerjisi değerleri kullanılır. Bu değerler ölçümlerden elde

edilemediği zaman, bir model yardımı ile günlük toplam güneş enerjisi değerlerinden elde edilmelidir. Coğrafi bölge ve kollektör seçiminin yapılmasında uzun dönem yıllık güneş enerjisi değerlerinden faydalanılır. Bu değerler aynı zamanda ekonomik analiz için de gereklidir (www.enerji.gov.tr).

3.1.3. İzleme Modülünün Seçimi

Doğrusal yoğunlaştırıcı kollektörler, Kuzey-Güney veya Doğu-Batı doğrultusunda yerleştirilebilir. Yön seçilirken, maksimum güneş enerjisinin hangi doğrultuda alındığı göz önünde bulundurularak yerleştirme yapılır. Genelde Kuzey-Güney doğrultusunda yerleştirmekle en iyi sonuç elde edilir (www.enerji.gov.tr).

3.1.4. Parametrelerinin Optimizasyonu

Doğrusal yoğunlaştırma yapan ve ısı transfer akışkanı olarak termal yağ kullanılan sistemlerde çalışma parametrelerinin optimizasyonu için aşağıdaki kriterler dikkate alınmalıdır. Isı transfer yağının seçimi, güneş termal güç santralının verimli çalışması büyük ölçüde, uygun ısı transfer akışkanının seçimine bağlıdır. Bu akışkanın dolaştığı sistem parçaları, 0 °C ile 300 °C arasında değişen sıcaklık dalgalanmalarına maruz kalırlar. Bu nedenle güç santrallerinde kullanılan ısı transfer akışkanında aşağıdaki özellikler aranır.

- Yüksek yanma noktası (500 °C 'ın üstünde)
- Düşük buharlaşma basıncı
- Düşük sıcaklıklarda yüksek akışkanlık
- Yüksek yoğunluk
- Yüksek sıcaklıklarda (300 °C) sürekli çalışabilme

Bu kriterlerin hepsini sağlayan bir yağda ayrıca 0°C ve 300°C arasında basınç düşmesinin minimum olması gerekir (www.enerji.gov.tr).

3.1.5. Basınç Düşmesi

İşletme basıncı, santralin önemli çalışma parametrelerinden biridir. İşletme basıncının maksimum ve minimum değerleri, işletme sıcaklığının maksimum ve

minimum değerleri ile sınırlanır. Bu basıncın alt limiti ısı transfer akışkanının buharlaşmasını engelleyecek bir değerde olmalıdır (www.enerji.gov.tr).

3.1.6. Boru Boyutlandırması

Sistemdeki sıvının sirkülasyonu için kullanılan boru şebekesi, absorban borulardan ve esnek hortumlardan oluşur. Kollektörlerdeki absorban borular sabittir. Fakat kollektörler arasındaki bağlantıyı sağlayan esnek hortumlar hareketli olduğu için uygun olarak boyutlandırılması önem taşır. Boruların çapının artırılması, akışkan hızını ve basıncını düşürür. Hızın düşmesi ile artan ısı kayıpları maliyeti olumsuz yönde etkiler. Bunun için boru çapı belirlenirken, sistem basınç düşüşünün minimum olmasına ve çalışma basıncının işletme maliyetini minimum seviyeye getirmesine dikkat edilmelidir. (www.enerji.gov.tr)

3.1.7. Kapasite Seçimi

Kollektör giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark maksimum olmalıdır. Bu durumu sağlamak için ısı transfer akışkanı, güneş tarlasından aldığı enerjiyi mümkün olduğunca buhar üretim sistemine bırakıp, minimum sıcaklıkta geri dönmelidir. Isı değiştirgeci, buhar üretici gibi ekipmanların verimliliği artırılmalıdır (www.enerji.gov.tr).

3.1.8. Korozyon

Sistemin ısı kayıplarını minimum seviyeye getirirken prosesin olduğu kısımlar ve kollektörler korozyondan korunmalıdır. Örneğin ekipman içinde yoğunlaşmasına izin verilen buharın, ısı değiştirgecinde ıslak buhar korozyonuna neden olmaması için, süper ısıtıcılarda kızgın buhar haline getirilir (www.enerji.gov.tr).

3.2. Parabolik Oluk Kollektörler İle Elektrik Enerjisi Üretimi

Parabolik oluk kollektörlü güç santralleri, güneş tarlası, buhar ve elektrik üretim sistemlerinden oluşur. Bu santrallerde proses ısısı için, doğrusal yoğunlaştırma

yapılarak, güneş enerjisinden 300 °C'nin üzerinde sıcaklık elde edilir ve ısı transfer akışkanı olarak yüksek sıcaklıklara dayanıklı termal yağ kullanılır (www.enerji.gov.tr).

Güneş tarlası, bağımsız üniteler şeklinde birbirine paralel bağlanmış parabolik oluk kollektör gruplarından oluşan alandır. Bu üniteler, gelen güneş enerjisini 4 mm kalınlığında ve yüksek yansıtma oranına (% 94) sahip aynalar vasıtasıyla, odakta bulunan alıcı boru üzerine yansıtırlar. Parabolik oluk kollektörler grupları yatay eksen boyunca dönmelerini engellemeyen metal yapılarla desteklenmiştir. Sistemde aynaların güneşi izlemesini sağlayan bir sensör bulunur (www.enerji.gov.tr).

Isı toplama elemanı, cam tüp, yüzeyi yaklaşık % 97 lik bir absorbtiviteye sahip çelik alıcı boru ve cam-metal birleştiricilerden oluşur. Alıcı boru üzerinde meydana gelen yüksek sıcaklık nedeniyle oluşan ısı kayıplarını azaltmak için, cam tüp ile alıcı boru arasındaki hava vakumlanmıştır. Bu boşluk basıncı yaklaşık 0.1 atm dir. Isıya dayanıklı cam tüp, yüksek bir geçirgenliğe ve radyasyon kayıplarını en aza indirmek için antirefleksif bir yapıya sahiptir. Sıcaklık nedeniyle meydana gelen genleşmelerin etkilerini gidermek için körüklü cam-metal birleştiriciler kullanılmaktadır. Güneş tarlası kontrol sistemi, genel kontrol sistemi ve her kollektör grubunda bulunan lokal kontrol ünitelerinden oluşur. Genel kontrol sistemi güneşlenme durumunu izler ve buna göre sistemi tamamen ya da kısmen açar ya da kapatır. Bu işlem, lokal kontrol üniteleriyle iletişim içinde yapılır. Lokal kontrol üniteleri, her kollektör grubunu ayrı ayrı kontrol ederek güneşin takip edilmesini sağlarlar. Buhar üretim sistemi, ön ısıtma, buhar üretimi ve süper ısıtma bölümlerinden oluşur. Bu bölümlerden geçirilerek 371°C ve 100 bar basınca yükseltilebilen buhar, elektrik üretimi için türbine gönderilir. Yeterince soğumayan buhar, yeni bir çevrime gönderilmeden, yeniden aynı sıcaklığa kadar ısıtılır ve tekrar türbine gönderilir. Bu ikinci çevrimden sonra artık soğuyan buhar, sıkıştırılıp sıvı hale getirildikten sonra yeni bir çevrime gönderilir (www.enerji.gov.tr).

Güneş enerjili güç santrallerinde, güneş enerjisinin yetersiz kaldığı durumlarda, kesintisiz elektrik üretimini sağlamak için ilave ısıtıcılar kullanılır. Petrolle ya da doğal gazla çalışan ilave ısıtıcılar, aynı sıcaklık ve basınçta buhar üretirler.

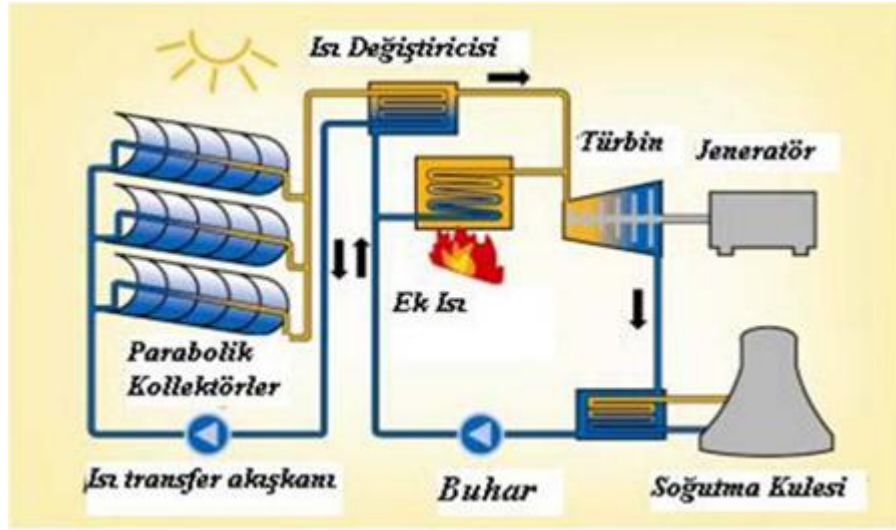
Doğrusal yoğunlaştırıcı kollektörün yapısı Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1. Doğrusal yoğunlaştırıcı kollektör

Güneş Santralı, parabolik oluk kollektör gruplarından meydana gelmiştir. Güneşi iki boyutlu olarak takip eden ve yansıtıcı yüzeyleri vasıtasıyla güneş ışınlarını odaklayarak çelik boru üzerinde yoğunlaştıran kollektörler, kolonlar üzerine kurulmuş olup, esnek hortumlarla birbirine bağlanmışlardır. Verimi arttırmak ve ısı kayıplarını en düşük seviyeye getirmek için, absorban olarak kullanılan ve özel bir madde ile kaplı olan bu çelik boru, içi vakumlanmış cam bir tüp içine yerleştirilmiştir. Boruların içinden geçirilen ısı transfer akışkanı (sentetik yağ), 390 °C civarına kadar ısıtılır ve sistem boyunca dolaştırılarak türbin jeneratörü için gerekli olan buhar üretilir (www.enerji.gov.tr).

Parabolik oluklu güneş –elektrik enerjisi santralinin blok şeması Şekil 3.2’de verilmiştir.



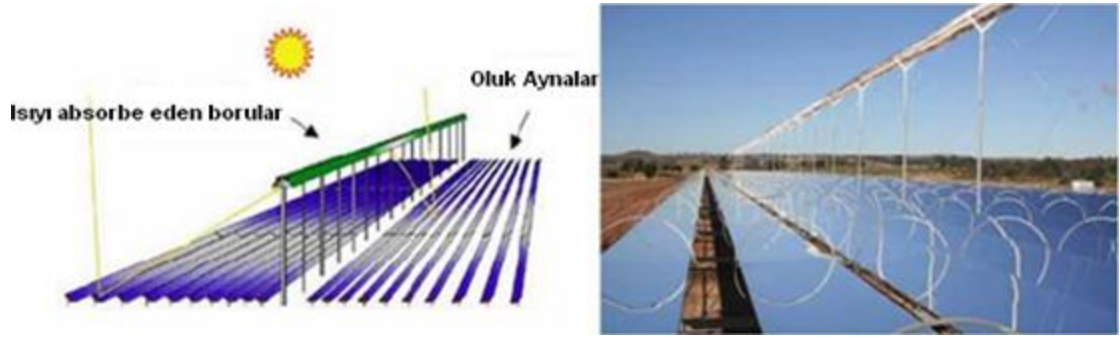
Şekil 3.2.Parabolik oluk güneş santralinin blok şeması

Güneş enerjisinin yetersiz olduğu zamanlarda, kesintisiz enerji üretimini sağlamak için, doğal gazlı ısıtıcı sistem kullanılmaktadır. Güneş enerjisinin yeterli, yetersiz veya hiç olmama durumuna göre sistem üç değişik şekilde çalışmaktadır. Güneş enerjinin yeterli olduğu durumlarda, ısı transfer akışkanı doğrudan güneş tarlasından geçer. Yetersiz veya hiç olmama durumlarında ise doğal gazlı ısıtıcılarla desteklenir veya tamamen bu ısıtıcılar devreye alınır. Her iki enerji kaynağının da kullanıldığı durumda, hem güneş enerjisinden hem doğal gazdan yararlanabilmek için by-pass valfi açık bırakılır. Bu durumda güneş tarlasında ısınan sıvı, destek ısıtıcılar yardımı ile çalışma sıcaklığına ulaşıncaya kadar ısıtılır (www.enerji.gov.tr).

3.2.1. Fresnel Oluklu Elektrik Enerjisi Santrali

Doğrusal Fresnel Oluk Teknolojisinde de parabolik oluk teknolojisi gibi doğrusal yoğunlaştırma yapılır. Parabolik oluktan farkı ise alıcı sabit bir yükseklikte olup yansıtma işlemi güneşi takip edebilen sıra sıra dizilmiş düz aynalarla gerçekleştirilir. Sistemde bulunan alıcı yansıtıcı aynalardan yaklaşık 10 m yüksekte bulunur. Bu yükseklik, optik verimin parabolik oluk kolektörlere göre düşük olmasına neden olmaktadır. Çünkü yansıma kayıpları, ışınımın dağılması nedeniyle oldukça fazladır. Buna bağlı olarak termik verim de düşük olmaktadır (www.enerji.gov.tr).

Parabolik oluk teknolojisine göre daha düşük maliyetli olan bu sistemde, alıcı yüksekliğini düşürmek suretiyle verim artırılabilir, ancak bu durumda da, güneş enerjisi toplama alanı küçüleceğinden daha çok panel kullanmak gerekecektir. Bu da, maliyeti yükseltecek bir unsurdur. Yansıtıcı aynaların bir hizada olmaları yerine, yandan boyuna bakıldığında parçalı parabolik oluklu sisteme benzer bir kesit şeklinde dizilmesiyle de verim artırılabilir. Dünyada fresnel teknolojisi ile kurulan en büyük tesis İspanya'nın Murcia bölgesinde bulunan 31,4 MW gücündeki Puerto Errad 1+2 santralidir (www.enerji.gov.tr). Şekil 3.3'de Fresnel oluklar görülmektedir.



Şekil 3.3. Fresnel oluklu system

3.2.2. Parabolik Çanak Kollektörler İle Elektrik Enerjisi Üretimi

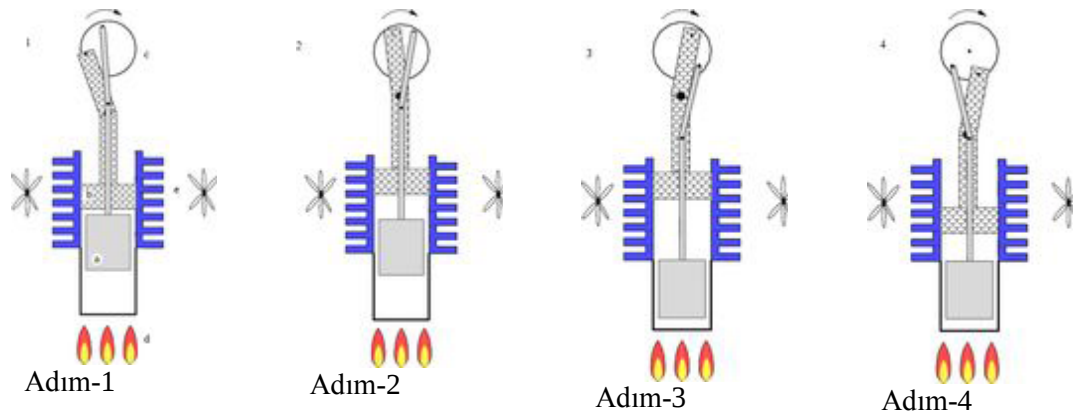
Parabolik çanak kollektörler, yüzeylerine gelen güneş radyasyonunu noktasal olarak odaklarında yoğunlaştırırlar. Bu kollektörlerin yüzeyleri de parabolik oluk kollektörlerin yüzeyleri gibi yansıtıcı aynalarla kaplanmıştır. Gelen güneş enerjisi bu aynalar vasıtası ile odaktaki Stirling motoru üzerine yoğunlaştırılır. Stirling motoru ısı enerjisini elektrik jeneratörü için gerekli olan mekanik enerjiye dönüştürür (www.enerji.gov.tr)

Şekil 3.4’de parabolik çanak kollektör şekilleri görülmektedir.



Şekil 3.4. Parabolik Çanak Kollektörler

Parabolik çanak kollektörler ile elde edilen elektrik, diğer yöntemlerle elektrik üreten santrallere destek amacıyla, maden ocakları, radar istasyonları ya da uzak köylerin elektrik ihtiyacının karşılanmasında kullanılır. Ayrıca, endüstride buhar üretimi, yer altı enjeksiyonu, petrol çıkartılması gibi işlemler için kullanılır. Bu santraller, küçük modüllerden oluştuğu için enerji ihtiyacı duyulan yerlerin yakınında ve ihtiyaç duyulan kapasitede tesis edilebilirler. (www.enerji.gov.tr). Şekil 3.5’de stirling motorun çalışması adım adım görülmektedir.



Şekil 3.5.Stirling Motoru'nun adım adım çalışma şekli

Günümüzde henüz ekonomik olmayan parabolik çanak ve parabolik oluk kollektörlü sistemlerin araştırma ve geliştirme çalışmaları sürdürülmektedir. Bu çalışmalarda amaç, birim alan maliyetini düşürmek ve verimini artırmaktır. (www.enerji.gov.tr)

3.2.3. Merkezi Alıcılı Elektrik Enerjisi Santralleri

Bu sistemde güneş ışınları aynalar ile bir kulenin merkezine odaklanmaktadır. Bu şekilde odaklama merkezinde sıcaklık yüksek değerlere çıkmaktadır. Burada su kaynama noktasına ulaştığından su buharı elde edilmekte, buharın turbini döndürmesi ve türbinin de jeneratöre hareket vermesi ile elektrik enerjisi elde edilmektedir.

3.2.4. Güneş Lalesi İle Elektrik Enerjisi Üretimi

Güneş lalesi, yerden 35 metre yüksekliğe sahip bir türbin ve güneş ışınlarını yansıtan 52 adet odaklanmış aynaya sahiptir. Sistemin orjinal adı Solar Tulip olup, “Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjili Hibrit Santral” olarak anılmaktadır. Yaklaşık 60 ile 80 haneyi besleme kapasitesine sahiptir.

Elektrik üretmek için güneşten gelen ısı enerjisi kullanılmaktadır. 52 adet ayna, kendilerine gelen güneş ışınlarını yerden 35 metre yükseklikte bulunan türbin bölgesine odaklar. Böylece türbin bölgesindeki hava sıcaklığı 1000 °C 'ye kadar yükselir. Sıcaklık farkından dolayı oluşan sıcak hava akımı türbini döndürür. Bundan sonraki elektrik

üretim süreci aslında alışık olduğumuz türbin sistemi gibidir. Güneş Lalesi “Solar Tulip” İspanya’nın Almeria şehrinde kuruldu. Kurulumu yapan üretici firma bir İsrail şirketi olan AORA SOLAR, gerçekleştirmiştir. Bu santral 100 kWh enerji üretimi yapmaktadır. Şekil 3.6’da güneş lalesi ve odaklayıcı aynalar görülmektedir.



Şekil 3.6. Güneş lalesi ile elektrik üretimi-odaklayıcı aynalar

Yapımı 7 ay süren ve 25 sene çalışması düşünülen hibrit sistemin ilk denemeleri 2009 yılında İsrail’de yapıldı. Dünya’da ilk olan güneş lalesi, proje bazlı olarak 100 – 170 kWh enerji üretecek şekilde tasarlanabilmektedir. Gerek şehir hayatı, gerek çöl hayatı olmak üzere bir çok ortamda yerden tasarruf ederek kullanmak mümkündür. Sistemin hibritliğine değinecek olursak, geceleri ve bulutlu havalarda elektrik üretmek için doğalgaz, dizel ve diğer akaryakıt çeşitleri takviye olarak kullanılabilir. Elektrik enerjisinin yanı sıra açığa çıkan atık statüsündeki ısı enerjisi, suların arıtma sisteminde kullanılarak enerji adına en yüksek geri dönüşüm sağlanmaktadır. Şekil 3.7’de güneş lalesi ve kurulduğu alan görülmektedir(elektrikmedya.com).



Şekil 3.7. Güneş lalesi

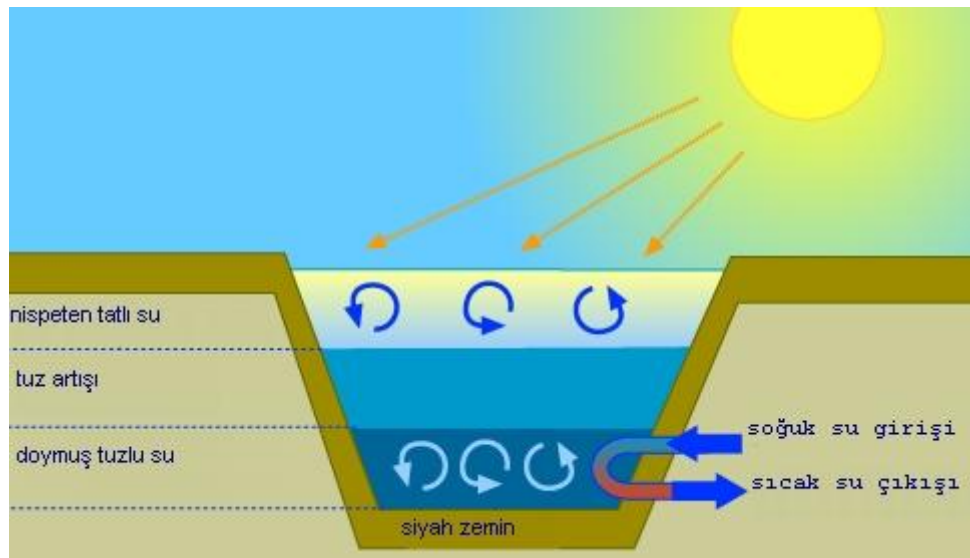
3.2.5. Güneş Havuzları ile Elektrik Enerjisi Üretimi

Güneş havuzuyla ilgili ilk çalışmalar, 1902 yılında A.Von Kaleczinsky'nin güneş havuzlarını, güneş kolektörleri olarak kullanması ile başlamıştır. Bu konuda sırasıyla Tabor (1959, 1961, 1963, 1964), Weinberger (1964), Elala ve Levin (1965), Tabor ve Matz (1965) tarafından, havuz performansına etki eden çeşitli faktörleri belirlemek için, gerek laboratuvar gerekse pilot çalışmalar gerçekleştirilmiş ve havuz tabanında 95 dereceye varan sıcaklıklara ulaşılmıştır. Bu çalışmaların neticesi olarak elektrik enerjisi üretebilecek büyük ölçüdeki havuzların ekonomik analizleri yapılmıştır. (Sökmen ve Erdallı)

Güneş havuzları, emilen güneş radyasyonunu ortalama %20 verimle ısıya çevirir. İçinde 5-6 metre yüksekliğinde su bulunan havuzun siyah renkli zemini, güneş ışınlamını tutarak 90 derece sıcaklıkta sıcak su elde edilmesinde kullanılır. (Sökmen ve Erdallı)

Havuzdaki ısının dağılımı suya eklenen tuz konsantrasyonu ile düzenlenir, tuz konsantrasyonu en üstten alta doğru artar. Böylece en üstte soğuk su yüzeyi bulursa bile, havuzun alt kısmında doymuş tuz konsantrasyonu bulunan bölgede sıcaklık yüksek olur. Bu sıcak su bir eşanjöre pompalanarak ısı olarak yararlanılabileceği gibi elektrik üretiminde de kullanılabilir (Sökmen ve Erdallı)

Güneş havuzunun prensip şeması Şekil 3.8'de görülmektedir.

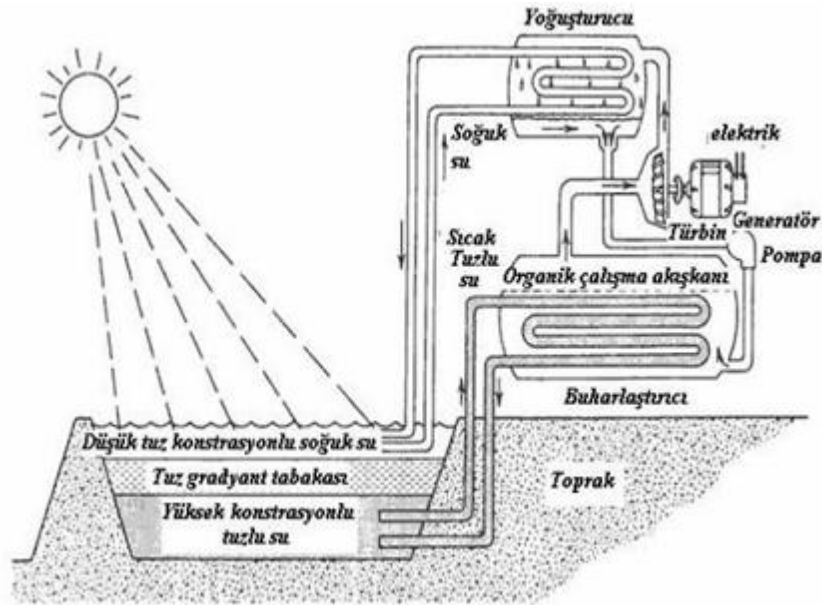


Şekil 3.8. Güneş havuzunda su hareketleri

Havuz tabanındaki suyun tuzluluk oranı havuzun üst kısmındaki sudan daima daha fazla olduğundan havuzun içinde termik sirkülasyon gerçekleşmez ve güneş ısısı havuz tabanındaki suyu ısıtır. Havuzun tabanındaki sıcak su bir ısı transfer kazanına pompalanarak, burada kaynama derecesi daha düşük olan bir sıvıyı buharlaştırır ve bu buhar elektrik üretiminde kullanılır (Sökmen ve Erdallı).

Güneş havuzlarından uzun vadede enerji depolama potansiyelinin avantajlarından faydalanarak, endüstrinin ihtiyaç duyduğu değişik sıcaklıklardaki suyun sağlanmasında veya yüzey ısıtılması konularında yararlanılabilir (Sökmen ve Erdallı).

Elektrik enerjisi üretimi için Şekil 3.9'da güneş havuzlarının prensip şeması verilmiştir.



Şekil 3.9. Güneş havuzu ile elektrik üretimi prensip şeması (Sökmen ve Erdallı).

İsrail'de çalışma sıcaklığı maksimum 80-90°C arasında olan güneş havuzları vardır. Lut gölü bölgesinde, 7500 m²'lik bir alana sahip olan elektrik üreten büyük bir havuz bulunmaktadır. İsrail Ölü Deniz'de yapılan 250.000 m²'lik güneş havuzu 5 MW, Orta Avustralya'da küçük güneş havuzlu güç istasyonları 20-200 kW aralığında elektrik üretmektedir. Batı Çin'deki kıraç ve seyrek nüfuslu Oinghai ve Xingiang bölgelerinde de benzer uygulamalar vardır (Sökmen ve Erdallı).

Güneş havuzları konusunda en fazla İsrail'de çalışma ve uygulama yapılmıştır. Bu ülkede 150kW gücünde ve 5MW gücünde uygulamalar bulunmaktadır. Ayrıca Avustralya'da 15 kW ve ABD'de 400kW gücünde güneş havuzları bulunmaktadır.

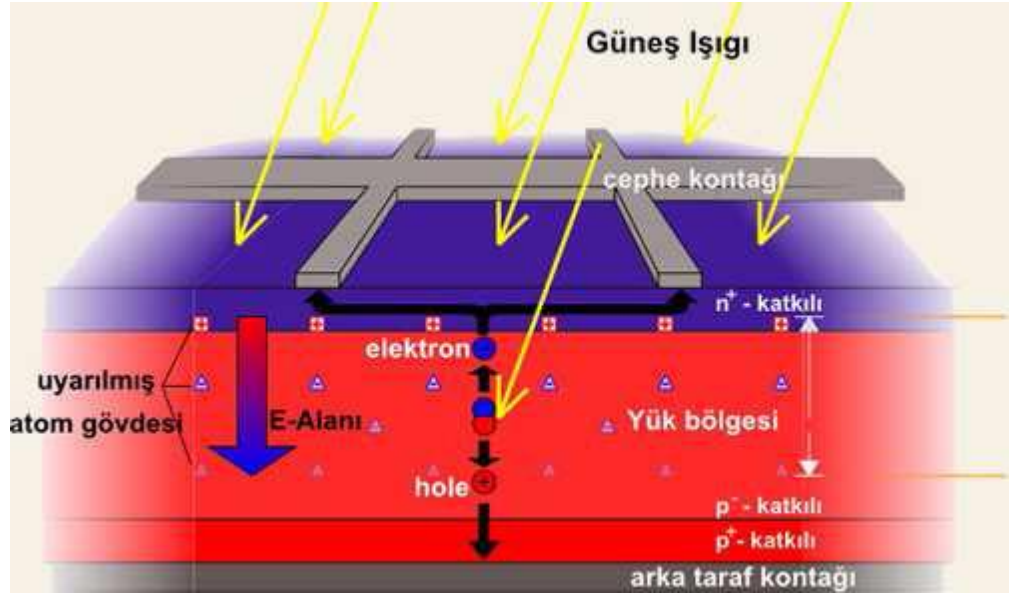
Isı kayıpları fazla olması nedeniyle küçük havuzlar ekonomik olmamaktadır. Güneş havuzları ile kabul edilebilir fiyatlarda elektrik üretmek mümkündür ancak 40 dereceden daha yüksek enlemlerde güneş ışınlarının eğimi, enerjinin yansıtılmasına neden olduğu için elde edilen verimin azalması söz konusudur (Sökmen ve Erdallı).

3.2.6. Fotovoltaik Paneller İle Elektrik Enerjisi Üretimi

Güneş Kaynağından elektrik üretimi sağlayabilen güneş pilleri güneş ışınlarını hiçbir hareketli parça gerektirmeden, çevreyi kirletmeden ve sessiz bir şekilde doğrudan elektrik enerjisine çevirerek temiz bir enerji kaynağı sağlamaktadır. Üstelik güneş pilleri diğer elektrik enerjisi üretim sistemlerine göre daha uzun ömürlü ve masrafsızdır. Güneş pilleri bilgisayar teknolojilerinden olan CDROM teknolojisiyle temelde ve materyal olarak aynı teknolojiyle üretilmektedir. 1950'li yıllardan bu yana giderek büyüyen ve gelişen güneş pili teknolojisi bugün kullandığımız fosil kaynaklı yakıtlara bir alternatif oluşturmaktadır. 1960'lı yıllarda uzay araştırmalarında kullanılmaya başlamasıyla birlikte büyük sıçrama yapan güneş pili teknolojisi, bu yıllarda Ar-Ge çalışmaları büyük hız kazanmıştır. 1973 yılındaki petrol kriziyle birlikte güneş pilleri tüm dünyada alternatif enerji kaynağı olarak cazibe kazanmaya başlamıştır (www.gensed.org).

Güneş pilleri, hesap makineleri ve kol saatleri gibi küçük uygulamalarda kullanılmaya başladı. 1980'li yıllarda silikon güneş pillerinin verimliliğini artırmak için araştırmalar çeşitli teşviklerle desteklenmiş ve 1985 yılında %20 verimlilik sağlanmıştır. Bu verim oranı güneş pilinin gelişimi için dönüm noktası olmuştur. Sonraki 10 yıl içinde güneş pili üretim pazarı %15 - %20 oranında büyük ve istikrarlı bir gelişme kaydetmiştir. 1997 yılından bu yana %38 büyümeye kaydetmiştir. Şu anda günümüzde laboratuvar ortamında %34 verimlilikte hücreler üretilmektedir. (www.gensed.org)

Foto voltaik pilin iç yapısı Şekil 3.10'da görülmektedir.



Şekil 3.10. Foto voltaik pilin yapısı

Fotovoltaik hücreler daha yüksek akım, gerilim veya güç seviyesi elde etmek için elektriksel olarak seri veya paralel bağlanırlar. Fotovoltaik modüller çevre etkilerine karşı sızdırmazlık sağlayacak şekilde birbirine eklenmiş fotovoltaik hücreler içerirler. Fotovoltaik paneller elektrik kabloları ile birbirine bağlanmış iki veya daha çok sayıda fotovoltaik modül içerirler. Fotovoltaik diziler ise belli sayıda fotovoltaik modül veya panel içeren enerji üretim ekipmanlarıdır (www.gensed.org).

Foto voltaik pilin katmanları Şekil 3.11’de görülmektedir.



Şekil 3.11. Foto voltaik pilin yapısı ve katmanları

3.2.6.1. Kristaline Paneller

Endüstriyel olarak kullanılan en yaygın panellerdir. Yaklaşık 90 yıl ömürleri vardır. Monokristal ve polikristal olmak üzere iki çeşidi bulunmaktadır

(www.gensed.org).

Mono Kristalin, kalite ve verimlilik açısından mono kristalin güneş pilleri yüksek verimli mono kristalin hücrelerden oluşmuşlardır. Bu Paneller aynı gücü üreten polikristalin panellere göre %1-2 daha küçük alana sahiptir. %15-18 verimlilikle çalışmaktadır. Buna karşın üretiminde kullanılan teknoloji sebebiyle üretim süreci uzun sürmektedir.

Yinede Mono kristalin güneş pilleri uzun vadeli yatırım için en iyi seçenektir. Güneş pilinin mono kristalin olması demek tüm hücrenin sadece kristalinden oluşması ve materyalin atomal yapısının homojen olması demektir. Doğada bulunan tüm kristalin bileşimler aslında polikristalindir, sadece elmas neredeyse mükemmel mono kristalin özelliğe sahiptir (www.gensed.org).

Mono Kristal panelin görünümü Şekil 3.12’da verilmiştir.



Şekil 3.12. Mono kristal panel

3.2.6.2. Polikristalin

Kalite ve verimlilik açısından polikristalin güneş pilleri mono kristalin olanlardan biraz daha düşük verimli hücreler ile üretilmiştir. Ancak buna rağmen kullanım alanı daha yaygındır. Bunun en büyük nedeni ise daha kolay ulaşılabilir ve buna bağlı olarak daha uygun fiyatla bulunabilmesidir. Polikristalin demek materyalin

mono kristaline göre tek kristalinden oluşmaması, yani materyalin tam olarak homojen olmaması demektir (www.gensed.org).

Şekil 3.13’de Polikristal panel görülmektedir.



Şekil 3.13. Polikristal panel

3.2.6.3. İnce Film

Işık yutma oranı yüksek olan bu hücreler, düşük verimlilikleri nedeni ile pazar payının küçük bir bölümünü oluştururlar. Önce film fotovoltaik malzeme genellikle çok kristalli malzemelerdir. Başka bir deyişle ince film yarı-iletken malzeme, büyüklükleri bir milimetrenin binde birinden milyonda birine değin değişen damarlardan oluşmaktadır. Bu panellerin verimlilik oranları %7-14 arasında değişmektedir. (www.gensed.org). İnce film panelin katmanları Şekil 3.14’de görülmektedir.



Şekil 3.14. İnce film panel

3.2.6.4. Esnek Panel

Geleneksel güneş panellerine alternatif olarak, özellikle çatı uygulamaları için geliştirilmiş bir teknolojidir. PV konstrüksiyonlarının çatıya entegresinin zor olduğu uygulamalarda çatı izolasyonuna zarar vermeden monte edilebilir. Birçok uygulamada enerji üretiminin yanında çatı membranı olarak da kullanılabilir. Kristal ve ince film hücrelerden oluşan güneş paneli çeşitleri mevcuttur. İnce film hücrelerden oluşan panellerin en önemli özelliği esnek olması ve serme tipte uygulanabilmesidir. Herhangi bir konstrüksiyon ihtiyacı yoktur. Ayrıca kristal yapılı güneş panellerine göre ağırlık dağılımında avantaj sağlar. Cam içermediği için kırılma tehlikesi yoktur. En büyük özelliği ise taşınabilir olmasıdır (www.gensed.org).

Esnek panel döneceği yüzeye uyum sağlayabilmektedir. Böyle bir panel Şekil 3.15’da görülmektedir.



Şekil 3.15. Esnek fotovoltaiik panel

3.2.6.5. Yoğunlaştırıcıli Fotovoltaiik Sistemler

Silisyum bazlı düzlemsel fotovoltaiik malzemeden oluşan hücre yüzeyine çarpan güneş ışığı, elektrik enerjisine dönüştürölür. Bu sistemlerde kullanılan malzeme ve hücre alanı büyük, verim düşüktür bu da maliyeti artırmaktadır. Silisyum olmayan ince film veya CPV teknolojileri ile silisyum veya diğeri yarıiletken malzemenin kullanımını azaltmak mümkündür. Böylece, fosil yakıtlardan oluşan geleneksel şebeke elektriğı ile güneş santral sistemlerinin ürettiğı elektrik rekabetedebilecektir. İnce film teknolojilerinin üretimi ucuz olmasına rağmen, daha nadir kullanılması ve kaynak malzemenin pahalı olması, verimli ve güvenilir olmalarına rağmen, yaygın kullanımını kısıtlamaktadır (www.eie.gov.tr).

Yoğunlaştırıcıli fotovoltaiik sistem Şekil 3.16’de görölmektedir.



Şekil 3.16. Yoğunlaştırıcı fotovoltaik sistem

Diğer yandan, CPV (Yoğunlaştırıcı fotovoltaik system) teknolojisi, daha az malzeme kullanılması dolayısıyla daha düşük fiyat, yüksek verim ve daha etkin pratik bir yol sunmaktadır. Optik yoğunlaştırıcılar (CPV), güneş ışınlarını çok küçük bir alan kaplayan (1 cm^2) hücrenin üzerine odaklar ve güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür. CPV teknolojilerinde pahalı olmayan aynalar ve mercekler gibi optik malzemeler kullanılır. CPV yoğunlaştırıcıdaki ışığın odaklandığı hedef alana bir fotovoltaik pil yarıiletken malzeme yerleştirilir, diğer düzlemsel güneş hücrelerine göre daha küçük alana merceklerle sağlanan daha yüksek yoğunluktaki ışık ışınlarının düşürülmesi ile daha yüksek verimde enerji üretimi sağlanmaktadır. Burada kullanılan fotovoltaik pilmalzeme silisyum'dan 10 kat daha pahalı olmasına rağmen yüksek verim ve az malzeme kullanımından dolayı toplam maliyet daha düşük olmaktadır. CPV sisteminde kullanılan çok eklemlı güneş hücreleri, dönüşüm veriminin artmasına yardımcı olmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalara göre; çok eklemlı güneş hücrelerinin kullanılmasıyla verimi % 40 'a ulaşmıştır. Bu çok eklemlı fotovoltaik pilsistemler, güneş spektrumunun önemli bir kısmını kullanarak, gelen güneş enerjisini daha verimli bir şekilde elektrik enerjisine dönüştürmektedirler (www.eie.gov.tr).

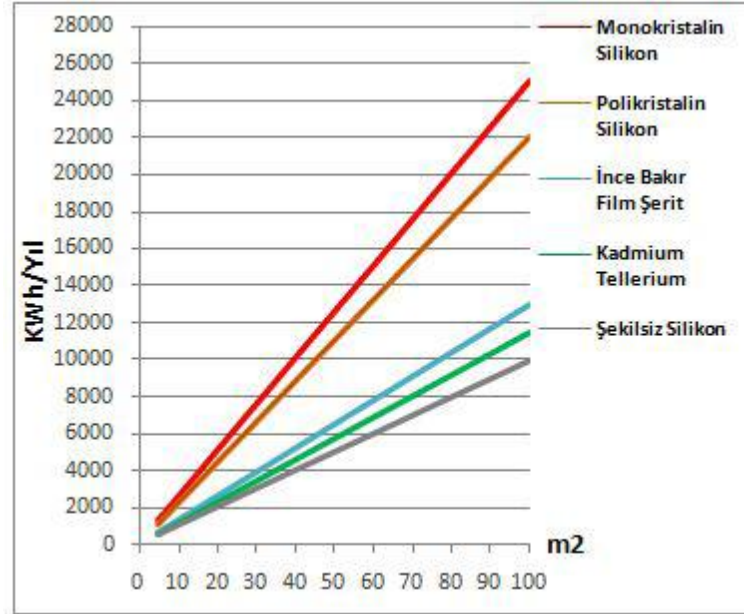
Şekil 3.17’de yoğunlaştırıcı panel görülmektedir.



Şekil 3.17. Yoğunlaştırıcı fotovoltaiik panel

Yukarıdaki resimde geleneksel PV modülden daha küçük, ince, düzlemsel, yüksek performanslı ve düşük maliyetli bir CPV modül örneği görülmektedir. Bu CPV modüllerin düzlemsel PV lerden daha avantajlıdır. Verilen bir alana düşen güneş enerjisinden üretilen aynı miktardaki enerji için, diğer PV sistemlere göre aktif yarıiletken malzemenin maliyeti 1/1000’ i kadardır. Güneşten üretilen elektriğin fiyatı günümüzde kullanılanın yarısından azdır. Düzlemsel PV’ nin veriminin iki katı verime sahiptir (www.eie.gov.tr).

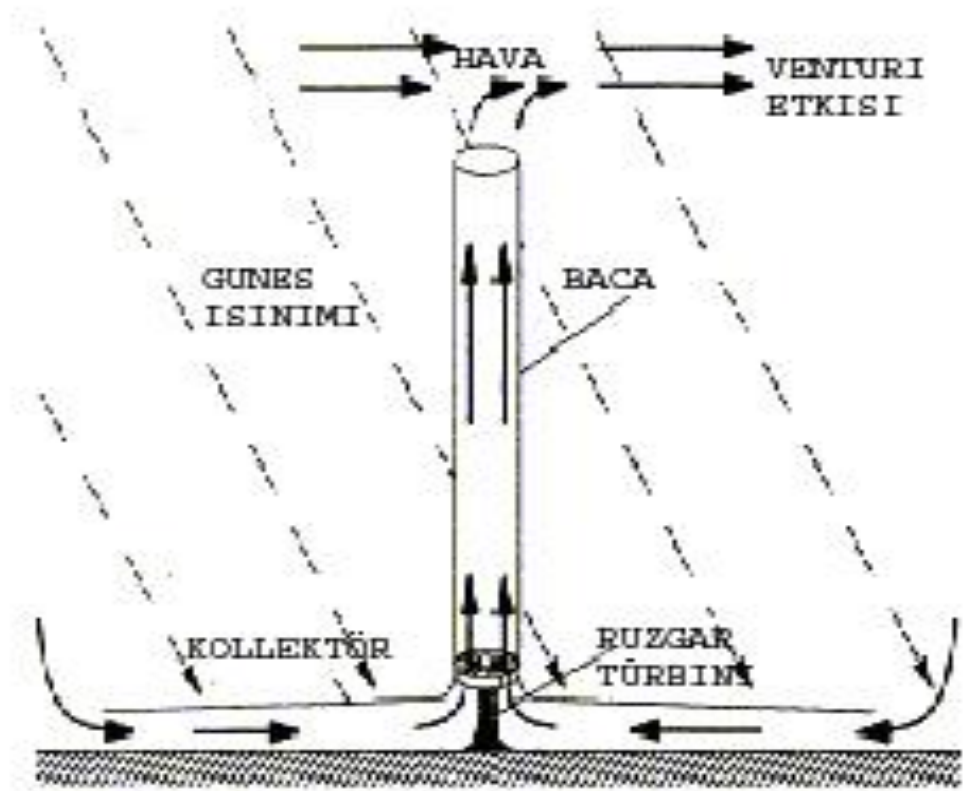
Türkiye’de fotovoltaik güneş panelleri ile üretilebilecek elektrik enerjisi Şekil 3.18’de görülmektedir.



Şekil 3.18. Türkiyede farklı güneş pil çeşitleriyle yılda elde edilebilecek güçpotansiyelleri (EİE, 2007)

3.3. Güneş Bacaları İle Elektrik Üretimi

Günümüzde, dünyanın enerji ihtiyacının büyük kısmının karşılandığı fosil yakıt kaynaklarının tükenme noktasına gelmesi, insanları yeni ve alternatif enerji kaynaklarını kullanmaya ve bu enerji kaynaklarının değişik kullanım yollarını aramaya itmiştir. Güneş enerjisi, dünya üzerinde enerji üretimi açısından çok geniş uygulama sahası bulmaktadır. Bu uygulama sahalarından biride güneş bacalarıdır. Şekil 3.19’da bir güneş bacasını çalışma prensip şeması görülmektedir (Üçgül ve Koyun).



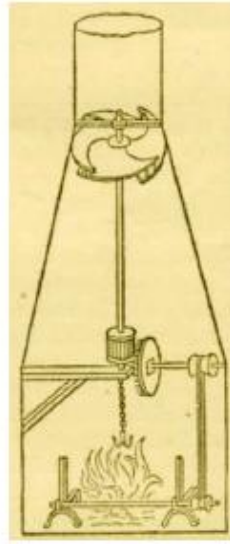
Şekil 3.19. Güneş bacasının çalışma prensibi

Güneş bacaları yaklaşık 50 ila 400 MW'a kadar güç çıkışı sağlayabilen geniş ölçekli güç tesisleridir. Güneş bacası basit olarak hidroelektrik bir güç tesisi gibi çalışır ancak, su yerine yükselen sıcak havayı kullanılır. Geniş bir cam sera (kollektör) altındaki hava ısıtılarak, bu cam seranın tavan merkezine yerleştirilmiş olan ve yukarıya doğru hareketi sağlayan bir düşey boruya (bacaya) girer ve borunun içerisinde elektrik jeneratörlerine bağlı olan bir rüzgar türbinini döndürür. Bu rüzgar türbinini vasıtasıyla elektrik üretilir. Büyük güçte elektrik üretmek için, cam sera çap olarak çok geniş ve kullanılan boru (baca) mümkün olduğunca yüksek olmalıdır.

4. GÜNEŞ BACASI SİSTEMLERİ VE ÇEŞİTLERİ

4.1. Güneş Bacasının Tarihçesi ve Yapılan Çalışmalar

Havanın kaldırma etkisini teknik olarak kullanışlı hale getirmek için yapılan ilk denemeler Lenorda da Vinci'ye kadar uzanmaktadır. Alttan yakılan ateşin ısıttığı hava yükselerek en üstte bulunan pervaneyi döndürmek suretiyle, pervanenin bağlı bulunduğu milin alt ucundaki kızartılacak olan malzeme de dönmüş olmaktadır. (Pastohr, 2004). Bu suretle sadece ateş etkisiyle pervane dönmüş olmaktadır (Üçgül ve Koyun). Şekil4.1'de Leonardo Da Vinci'nin geliştirdiği kızartma pervanesi görülmektedir.



Şekil 4.1. Leonardo da Vinci'nin kızartma pervanesi (1452-1519)

Günümüzde ise güneş bacası fikri ilk olarak Alman inşaat mühendisi olan Prof. Dr. Jörg Schlaich tarafından 1976 yılında ortaya atılmıştır. Daha sonra uygulamaya dönük ilk prototip ise yine Schlaich ve ekibi tarafından 1981 yılında İspanya'nın Manzaranes bölgesinde kurulmuştur. Baca 194.6 m yüksekliğinde, 10 m çapında ve 122 m çaplı bir kollektör alanına sahiptir. Baca yüksüz şartlar altında 15m/s baca içi hava hızına ulaşmıştır (Üçgül ve Koyun).

1986 yılından 1989 yılına kadar başarıyla çalışan bu 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 olmuştur (Üçgül ve Koyun).

Burada, kollektördeki sıcaklık artışının kütle akımından bağımsız olduğu kabul edilmiştir. Prof. Schlaich, ilki 1995 yılında ve diğeri de 2004 yılında olmak üzere güneş bacasının temel esaslarını anlattığı bir kitap yayınlamıştır (Üçgül ve Koyun).

Pasumarthi ve Sherif (1998), güneş bacasının hem teorik hem de deneysel performans karakteristiklerini incelemişlerdir. 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 vermişlerdir (Üçgül ve Koyun).

Padki ve Sherif (1999) kendi yaptıkları bir güneş bacasının çalışma prensibini deneysel olarak incelemiş ve basit bir termodinamik model geliştirmişlerdir. Bu bir model üzerinde, kollektördeki kütle akımı ve sıcaklık artışı arasındaki bağlantı ısı denklığı modeline göre sayısal olarak gerçekleştirilmiştir. Türbin, baca çıkışına yerleştirildiği için, hem statik hem de dinamik problemler yaratmasından dolayı bu model, büyük güneş bacası sistemleri için uygun değildir. Dai v.d., (2003) Çin'in kuzey batı bölgeleri için önerilebilecek güneş bacası güç tesislerinin incelemesini yaparak bu sistemlerin uygunluğunu ortaya koymuştur (Üçgül ve Koyun).

4.2. Güneş Bacası Çeşitleri

Güneş bacaları sabit, esnek, eğik, alttan çekişli ve yatay bacalar olmak üzere beş kısımda incelenmiştir.

4.2.1. Sabit Güneş Bacaları

Güneş bacası, güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etmek için geliştirilen ısı bir sistemdir. Konvansiyonel ısı sistemlere nazaran oldukça farklı bir çalışma prensibine sahiptir. Bu sistemde üç temel fiziksel prensip, sera etkisi, baca çekişi ve kinetik enerjiye dönüşüm söz konusudur. Dairesel cam kollektör altında bulunan hava,

kollektör yüzeyine gelen güneş ışınımı sayesinde ısınır. Isınan bu hava ve dış ortamdaki soğuk hava arasında oluşan yoğunluk farkından dolayı, hava, kollektörün merkezine doğru yatay olarak taşınır. Kollektör merkezinde bulunan dikey baca ise çekişi hızlandırır ve hava, üst ucu açık olan baca tarafından dış ortama atılır. Hızı artarak bacaya yönelen hava, bacanın giriş bölgesinde bulunan türbin ve buna bağlı olan generatörü döndürmek suretiyle 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 tekrar hava girer. Böylece sürekli bir çalışma sağlanmış olur.

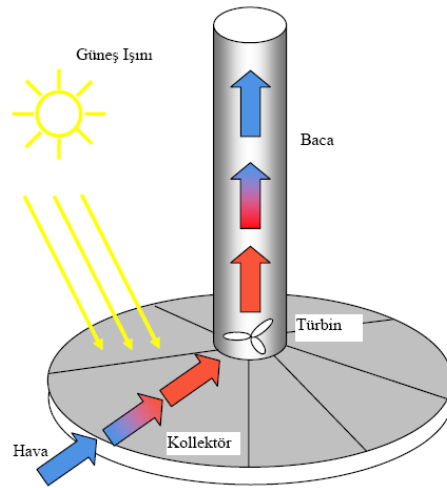
Güneş bacalarında enerji dönüşüm aşamaları şunlardır:

1-Güneşin konveksiyonel enerjisi

2-Güneş enerjisi sera içindeki havayı ve zemini ısıtır.

3-Baca üst seviyesi ile baca alt hava girişi arasında ısı farkı oluşacağından, ısınan hava baca içerisinden yükselir.

4-Bacadan geçen hava rüzgar türbinini ve türbinde jeneratörü döndürerek elektrik enerjisi üretilmesini sağlar. Güneş bacasının temel prensibi Şekil 4.2’de görülmektedir.



Şekil 4.2. Güneş bacasının temel çalışma prensibi

Güneş bacasının diğer elektrik üretim sistemlerine göre bazı avantaj ve dezavantajları vardır.

Güneş bacasının avantajları şunlardır:

1-Güneş ışınımı cam yüzeye yoğun olarak gelmediği için, kapalı havalarda dahi difüz ışıınımdan faydalanılabilir.

2-Kollektör altındaki zemine döşenecek su hortumları ile ucuz ve kolay ısı enerjisi depolanabilir.

3-Güneş bacası sistemleri diğ r sistemlere gore daha güvenilir sistemlerdir.

4-Yapımı karmaşık olmayıp kolay bulunan malzemeler ile inşa edilebilir.

Güneş bacalarının dezavantajları ise ş nlardır:

1- retilecek enerjiyi arttırmak için çok büyük çaplı bir sera imal edilmesi gerektiğinden bu da yapım maliyetini arttırmaktadır.

2-Enerji kapasitesini arttırmak için baca yüksekliğinin çok fazla olması gerekeceğinden çok uzun bir bacanın sabitlenmesi ve yandan gelen rüzgar kuvvetlerine karşı koyabilmesi için, sağlam bir konstrüksiyon ihtiyaç vardır.

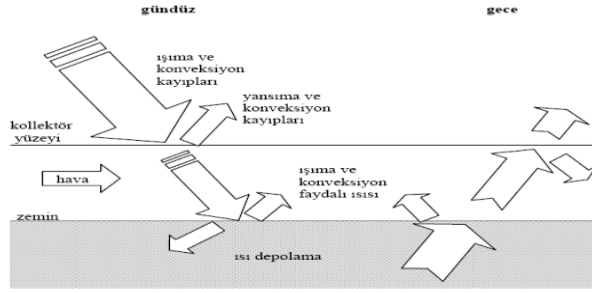
3- Baca yüksekliğı arttıkça hava taşıtları için risk oluşturmaktadır.

4-Mevsimlere ve gündüz-gece farkına göre santral enerji üretim kapasitesinde değişmeler olacaktır.

5-Kollektör yüzeyinin tozlanması verimi azaltacaktır

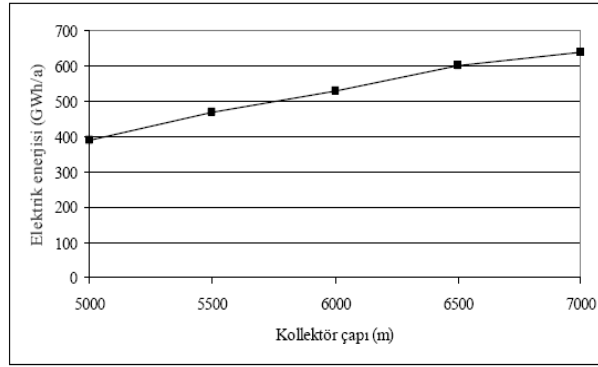
4.2.2. Güneş Bacasının Temel Bileşenleri

Kollektör, güneş bacasının en önemli bileşenini oluşturan kollektör, güneşten gelen ışınları ortamdaki havaya aktarır. Yüzeyi cam veya ge irgenliğı yüksek bir şeffaf malzeme olabilir. Kolektörün yüksekliğı uç kısımlarda az bacaya doğru gittikçe artar. Böylece hava akış hızının artması ve sürtünme kayıplarının azalması sağlanmış olur. Kolektör, gelen ışının tamamını faydalı enerjiye dönüştüremez. Yansıma ve konveksiyon nedeni ile kayıplar oluşur. Gündüz kolektöre gelen güneş ışınlarının k  k bir kısmı yansır, yine k  k bir kısım kolektör tarafından absorbe edilir. Kollektörü geçerek zemine ulaşan güneş ışınının yine bir kısmı yansır, geriye kalanı yine zemin tarafından absorbe edilir veya depolanır. Gece ise ortam sıcaklığı zemin sıcaklığından düşük olduğundan zemindeki veya depolayıcıdaki ısı enerjisi ortama aktarılır. Kolektöre gelen güneş ışınım durumu şekil 4.3'de görülmektedir.



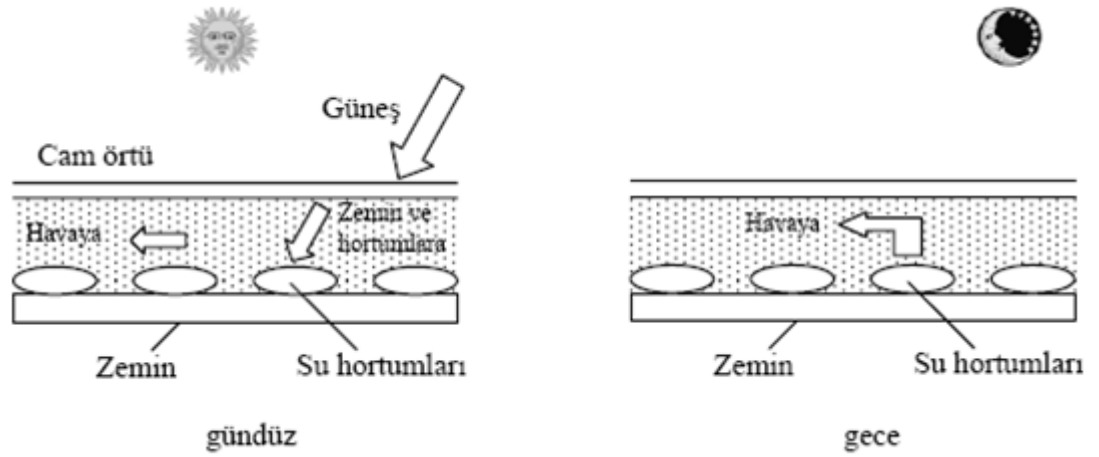
Şekil 4.3. Kollektöre gelen güneş ışıınım durumu

Kollektör çapı ile üretilecek elektrik enerjisi doğru orantılıdır. Şekil 4.4'deki grafikte bu görülmektedir.



Şekil 4.4. Kolektör çapının güneş bacasındaki elektrik üretimine etkisi

Zeminde ısı depolama, güneş ışıınının olmadığı gece saatlerinde de güneş bacasının çalışmasını sağlamak için kollektör zeminine su dolu hortumlar döşenir. Hortum içerisindeki su gündüz saatlerinde ısı enerjisi depolar. Depolanan bu enerji gece havaya aktarılarak güneş bacasının gece de çalışması sağlanmış olur. Şekil 4.5'de gündüz ve gece zeminde ısı depolama şekilleri görülmektedir.



Şekil 4.5. Gündüz ve gece kolektördeki ısı alış verişini

Baca, sistemin en önemli ünitesidir. Kolektördeki ısınan havanın yukarı çıkması öncelikle kolektördeki sıcaklık artışı ΔT ve bacanın hacmiyle yani baca çapı ve baca yüksekliği ile doğru orantılıdır. Büyük güneş bacası sistemlerinde kolektörde yaklaşık 35 K'lık bir sıcaklığa ulaşılabilir. Bu sayede baca içerisindeki hava hızı $v=15$ m/s hıza ulaşabilir. Kolektörde ısınarak bacaya yönelen hava baca boyunca basınç düşüşüne neden olur. Bu basınç düşüşü,

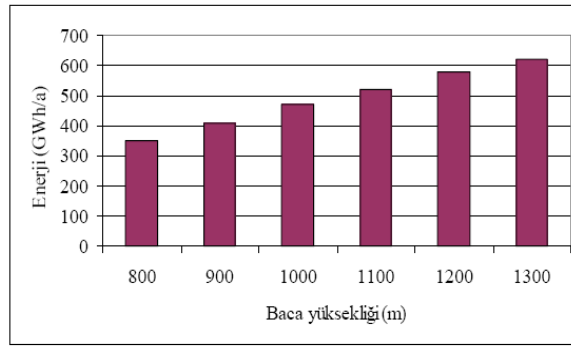
$$\Delta p_{top} = gH \frac{\Delta T}{T_0} \rho \quad (E. 4.1)$$

İle ifade edilir. Burada T_0 çevre sıcaklığıdır. Teorik olarak bacalı sistemin maksimum verimi, kolektördeki ΔT sıcaklık farkına bağlıdır. Burada da bacanın yüksekliği etkilidir.

$$\eta_t = \frac{\dot{m} \Delta p_{ges}}{\dot{m} c_p \Delta T} = \frac{gH}{c_p T_0} \quad (E. 4.2)$$

Bu verim diğer güneş enerjili güç sistemleri ile karşılaştırıldığında oldukça küçüktür. Örneğin, 1000 m baca yüksekliğine sahip olan bir güneş bacasının verimi %3'e ancak çıkabilmektedir. Baca beton veya çelik gibi farklı malzemelerden yapılabilir.

Ayrıca, baca yüksekliği üretilen elektrik enerjisi miktarını oldukça etkilemektedir. Şekil 4.6'daki grafikte bu durum açık olarak görülmektedir.



Şekil 4.6. Baca yüksekliğinin üretilen elektrik enerjisine etkisi

Türbin, kinetik enerjinin mekanik enerjiye dolayısı ile elektrik enerjisine dönüştürüldüğü kısımdır. Güneş bacalarında kullanılan türbinler rüzgar türbinleri gibi hız kademeli değil tam tersine basınç kademelidirler. Bu tür türbinlerdeki güç yoğunluğu hız kademeli türbinlere göre oldukça yüksektir.

Türbin girişindeki ve çıkışındaki hava hızı hemen hemen eşittir. Elde edilen güç türbinden geçen hava miktarına ve basınç düşüm miktarına bağlıdır. Türbinler normalde bacanın alt kısmına yerleştirilirler. Şekil 4.7’de Manzanares prototipinde kullanılan türbin görülmektedir (Kurban ve Gün 2011).



Şekil 4.7. Manzanares prototipinde kullanılan türbin

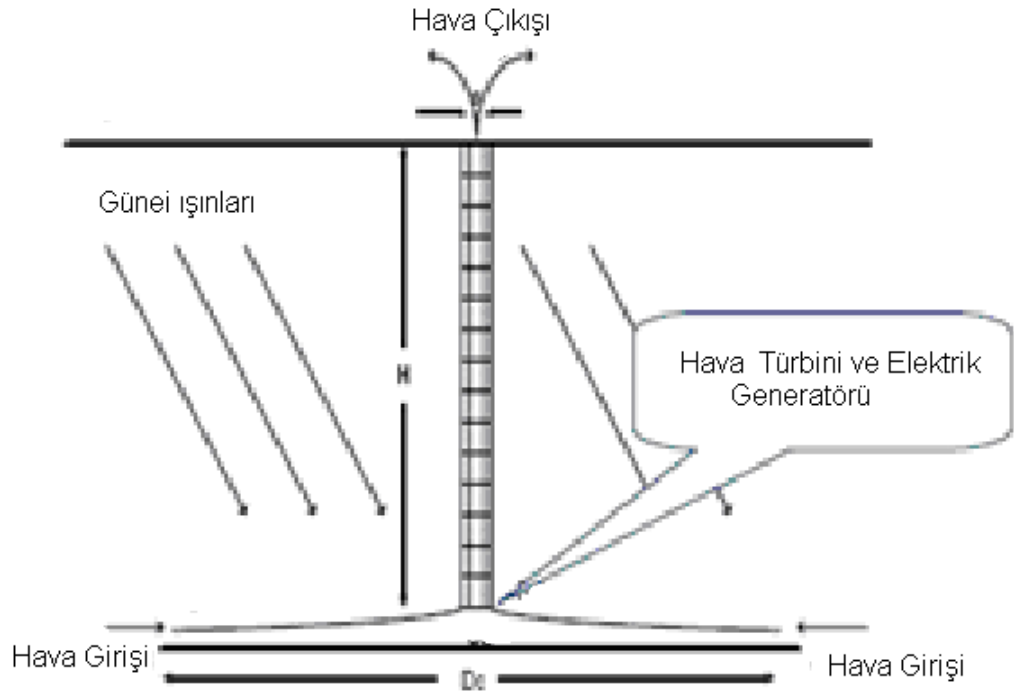
Dikey eksenli türbinler daha sessiz çalışırlar. Yerleştirilecek olan türbin sayısı güneş bacasının büyüklüğüne göre bir adet veya birden fazla olabilir. Mesela sekiz adet türbin yerleştirilecek ise her bir türbin çapı baca çapının sekizde biri kadar olmalıdır.

4.3. Esnek Güneş Bacaları

Sabit bacaların yan rüzgar kuvvetlerine ve depreme karşı yeterli mukavemetin sağlanması oldukça güç olduğundan Yunanlı bilim adamı Prof.Christos D. Papagergiou tarafından esnek baca fikri ortaya atılmıştır. Esnek güneş bacası olarak havada yüzen güneş bacaları (HYGB) ele alınmıştır. HYGB güç santralleri 3 temel bölümden oluşur:

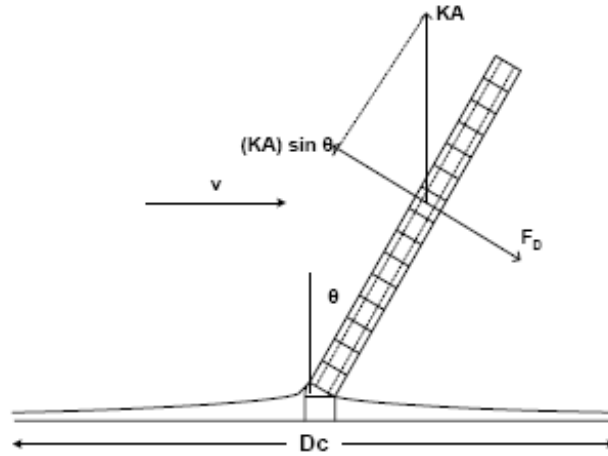
- 1.Yerden birkaç metre yüksekliğindeki saydam çatıyla desteklenmiş çevresi açık büyük bir güneş toplayıcısı.
- 2.Güneş toplayıcısının merkezindeki hava silindiri.
- 3.HYGB'nın çevresindeki belirli bir bölüme yerleştirilen uygun jeneratörler ve hava türbinleri.

Güneş ışınları seranın çatısının altındaki toprağı ısıtır ve sonuç olarak içindeki havayı ısıtır. Ilık hava atmosferdeki havadan daha hafif olur ve güneş bacasından kaçmaya eğilimidir. Havada yüzen güneş bacasının uç kısmındaki balonların içinde bulunan helyum veya hidrojen gazı, havadan daha hafiftir. HYGB, sağlamlaştırılmış beton güneş bacası yapısının düşük maliyetli alternatifidir. HYGB kolayca 1 km yüksekliğe kadar inşa edilebilir. Şekil 4.8'de HYGB güç santralini ve onun çalışmasını göstermektedir (Kurban ve Gün 2011).



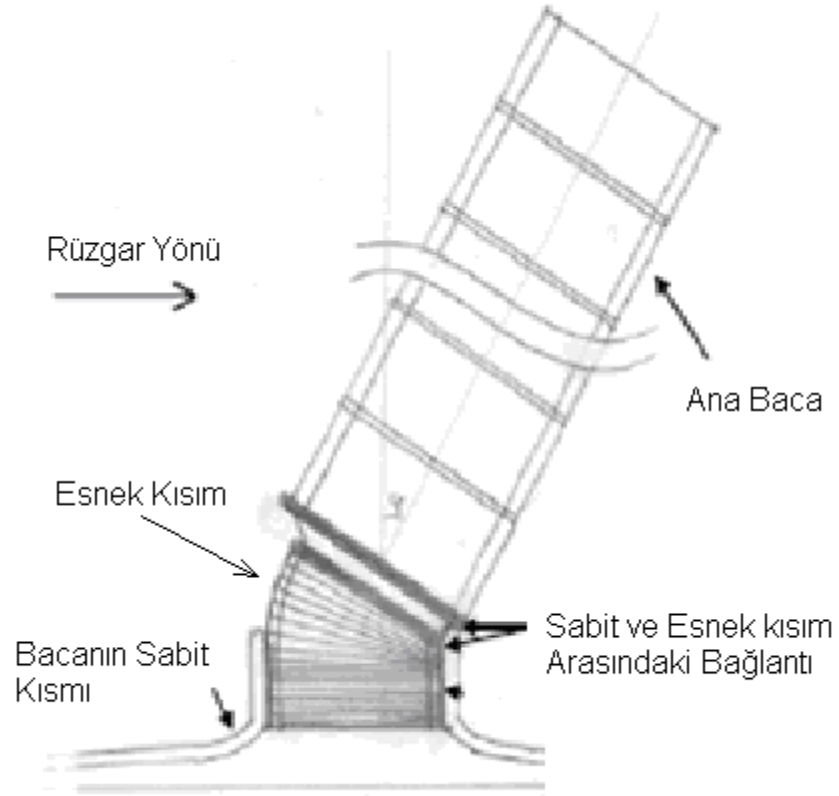
Şekil 4.8. Güneş santralinin çalışma prensibi

Dıştan gelen rüzgarlar Şekil 4.9’da görüldüğü gibi bacayı eğmektedir.



Şekil 4.9. Yan rüzgar kuvvetlerinin HYGB ‘na etkisi

Bacanın dip kısmındaki esnek yapıdan dolayı baca rüzgar kuvvetinin geliş yönünün ters yönüne doğru eğilmektedir. Bacanın alt kısmındaki bu esnek yapı Şekil 4.10’da gösterilmektedir.



Şekil 4.10. Bacanın alt kısmındaki esnek yapı

HYGB şeklinde görüldüğü gibi kumaştan yapılmış bir dizi üst üste balon halkalardan oluşur. Şekil 4.11’de HYGB’nın kumaş silindirinin küçük bir parçası görülmektedir.



Şekil 4.11. HYGB’nın kumaş silindirinin küçük bir parçası

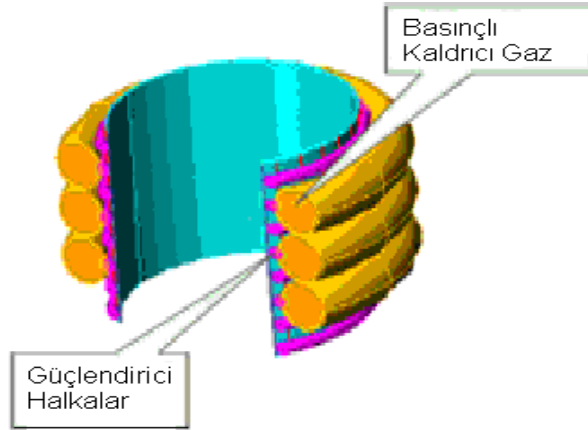
Halkaların polyester kumaşı ve HYGB ‘nın geri kalan kısımları hava balonlarının yapımı için kullanılan polyester kumaşa benzer. Bu balon halkalar hava

gazından daha hafif olan özel gazlarla doldurulmuştur. Yapısının sertliğini muhafaza etmek için balon halkalar havayla sıkıştırılmalıdır (Kurban ve Gün 2011).

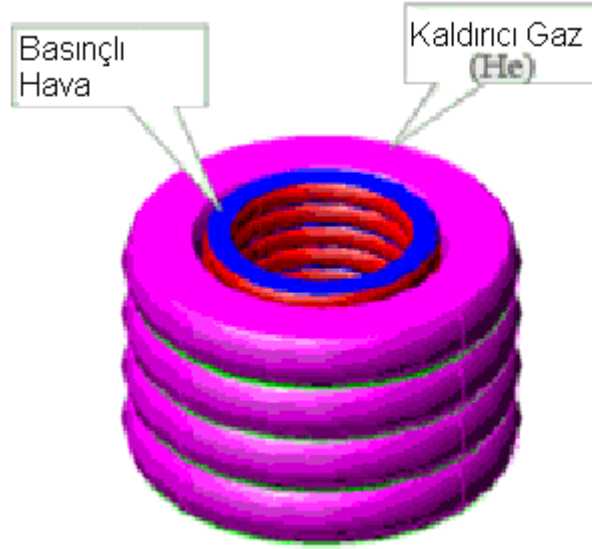
Böylece tüm kumaş silindir dış rüzgarlar ve basınç tarafından deforme edilemez ve havanın yapısından daha hafif olabilir. Bu serbest duran silindir seranın ılık havasını soğuk hava akımına dönüştürür. Onun esnek özel yapısından dolayı dış rüzgarlar görüldüğü zaman, yapı eğilir. Tabi ki onun sıcak hava akımını yükseltme çalışması yapısının eğiminden dolayı engellenmez. Bununla birlikte güneş bacasının çalışma yüksekliği küçülür. Dış rüzgarların HYGB'nın boyutunu doğru bir şekilde belirlemek için yıllık ortalama çalışma yüksekliği üzerinde pek az bir etkisi vardır (Kurban ve Gün 2011).

HYGB güç santralleri, hidroelektrik güç santrallerine benzer. Hidroelektrik güç santrallerinde akan suyun dinamik enerjisi, yer çekiminden dolayı uygun elektrik generatörlerine bağlı su türbinleri aracılığıyla kısmen elektriğe dönüşür. HYGB 'larında ılık havanın dinamik enerjisi havanın yükselmesinden dolayı uygun elektrik generatörlerine bağlı hava türbinleri aracılığıyla kısmen elektriğe dönüşür. Ayrıca her iki güç santrallerinin yeterliliği onların yüksekliğine uygundur (Kurban ve Gün 2011).

Şekil 4.12 ve Şekil 4.16'da baca uç kısımlarına yerleştirilen farklı yapılarıdaki hidrojen balonları görülmektedir.



Şekil 4.12.Bacayı havada tutan kaldırıcı halka balonlar



Şekil 4.13. Bacayı havada tutan helyum dolu halka balonlar

Yıllık verim, sera çatısına ulaşan yıllık güneş ışınının elektriği kWh ile üretme oranı olarak tanımlanır. Örneğin eğer HYGB'nın kurulduğu yerdeki yıllık yatay ışıma 2000 kWh/m^2 ve HYGB'nın serasının 4 Km^2 lik çatısı varsa, yılda 8000 GWh ışınlı güneş enerjisi çatısına ulaşır. Eğer HYGB yüksekliği 900 m yaklaşık olarak verimliliği % 1 ise böylece yıllık elektrik üretimi 80 GWh'dir.

Yıllık verim, seranın verimliliği %55, turbo jeneratörlerinin verimliliği %80, HYGB verimliliği de %2.6 alındığında kapsamlı HYGB'nın km^2 'deki verimliliği yaklaşık %1.15 olur.

Bununla birlikte eğer çift camlı çatı varsa sera verimliliği daha da artar. İç camlar ince kristal saydam plastik malzemeden yapılır. Çatının dış güçlü camının altına asılır, tek camlı çatı verimliliği %40'dan fazla değildir. Yer termal deposu HYGB'nın tüm yıl boyunca günde 24 saat çalışabileceğini gösterir (Kurban ve Gün 2011).

HYGB'nın düzgün bir şekilde çalışması için iç çapının doğru değerlendirilmesi dikkate alınmalıdır. 10 m/s için uygun HYGB çapının hesaplanması gereklidir. 4 km^2 alan yüzeyi 900 m yüksekliğinde ve 64 m. İç çapı olan havada yüzen güneş bacası 20 MW ayrıntılı güç üreten uygun elektrik jeneratörlerine bağlı bir dizi hava türbini ile bu santral 80 GWh den daha fazla elektriği yıllık olarak üretebilecektir. Bu HYGB'nın yapım maliyeti 40-48 milyon Eurodan daha fazla olmayacak. Böylece bu yapım

maliyetinin ürettiği enerji kWh başına yaklaşık olarak 0.5-0.6 Euro olacaktır (Kurban ve Gün 2011)

HYGB ve rüzgar çiftliklerinin neredeyse eşit çalışma ve bakım maliyetine sahip olması gerektiğini varsayarsak, her bir üretilen kWh için eşit doğrudan üretime sahip olmaları gerekir. Bununla birlikte, HYGB'lar rüzgar türbinlerine göre daha üstündür. Çünkü rüzgar türbinleri aralıklı enerji üretirken HYGB 'lar devamlı elektrik enerjisi üretebilirler (Kurban ve Gün 2011).

4.4. Eğik Güneş Bacaları

Yüksek dikey bir bacanın yan rüzgar kuvvetlerine ve deprem sarsıntılarına karşı ayakta kalabilmesi oldukça güçtür. Bu nedenle baca bir dağın güney yamacına yaslanacak şekilde yapılırsa bunun pek çok avantajı olacaktır. Bunlar şöyle sıralanabilir.

1. Fırtına ve deprem gibi doğal afetlere karşı daha güvenli olması,
2. İmalat ve montajının dik bacaya göre daha kolay gerçekleştirilebilmesi
3. Maliyetinin daha düşük olması

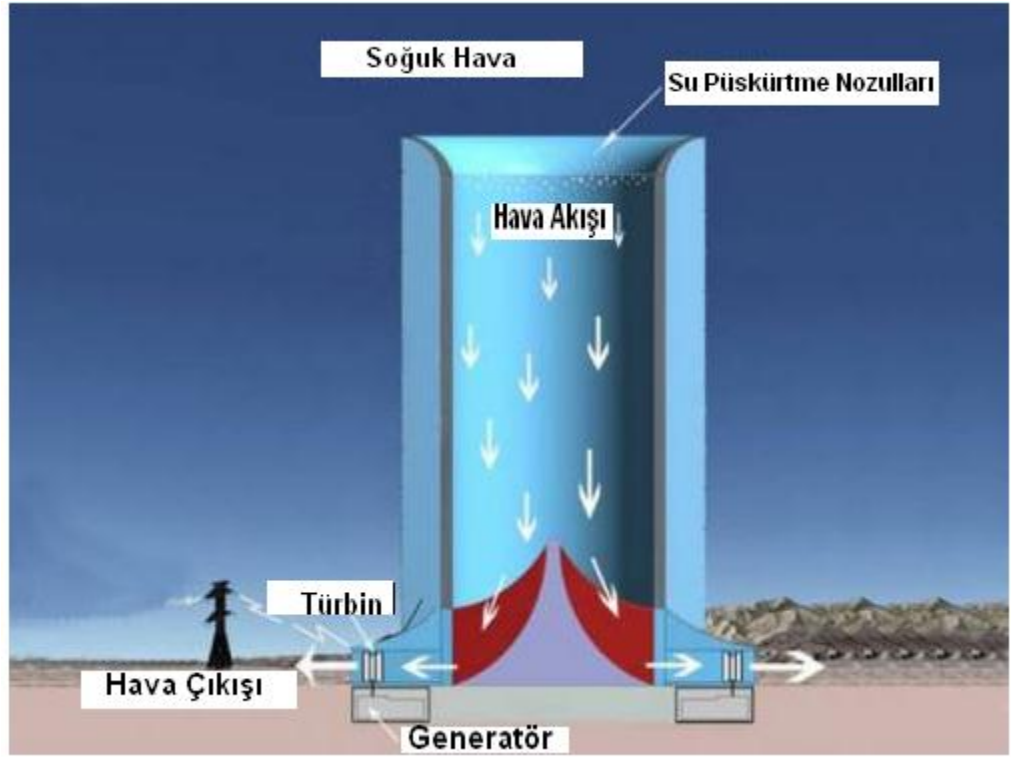
Bu gibi avantajlarının yanı sıra eğik güneş bacalarında seranın 180° yapılabilmesi ve günün belirli bir zamanından sonra dağın seraya gelecek güneş ışığına engel oluşturması dezavantajları olarak söylenebilir. Şekil 4.14'de temsili eğik baca sistemi görülmektedir (Neptün 2009).



Şekil 4.14. Eğik güneş baca fütürist gösterimi (Günther, 1931)

4.5. Altan Çekişli Baca Sistemleri

Amerika Birleşik Devletleri'nde farklı bir baca çeşidi olan alttan çekişli baca sistemleri konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Şekil4.15'de prensip şeması görülmektedir.



Şekil 4.15. Ters hava akımı ile elektrik enerjisi üretimi. (futureenergy)

Bu baca sistemi güneş bacalarının çalışma prensibinin tersidir. Güneş bacalarında ısınan hava yükselirken türbinleri döndürür, buna bağlı olan alternatör elektrik üretirken, alttan çekişli bacalarda bacanın üst kısmındaki hava soğuduğunda ağırlaşır ve yere doğru hareket etmekte, bu hava akımı bacanın alt kısmında bulunan rüzgar türbinlerini çevirmektedir.

Baca deniz, göl veya akarsuya yakın bir bölgeye kurulmalıdır. Buradan borular vasıtası ile taşınan su pompalar vasıtası ile bacanın en üst kısmına pompalanır. Basınçlı su nozullarla bacanın uç kısmında bacanın içerisine doğru püskürtülür. Burada su buharlaşma sırasında ortamdan ısı alarak bacanın üst kısmındaki havanın soğumasını sağlar. Soğuyan hava daha yoğun ve ağır olduğu için bacanın alt kısmına doğru

harekete geçer. Böylece bacanın üst kısmından alt tarafa doğru bir hava akımı yani yapay bir rüzgar hareketi oluşur. Hava akımı bacanın alt kısmından baca dışına çıkarken rüzgar türbinlerini döndürür. Türbinlerde jeneratörü döndürmek suretiyle elektrik enerjisi elde edilmiş olacaktır. Nozullardan püskürtülen suyun beliri bir kısmı bacanın tabanında toplanır ve tekrar suyun alındığı kaynağa gönderilir (futureenergy).

4.6. Yatay Güneş Bacaları

Güneş ve rüzgardan elektrik elde etmek için yeni bir teknolojidir. Bu sistemde rüzgar oluşturmak için güneş ısısı kullanır yatay büyük çaplı boru içine rüzgar türbinleri kullanılarak elektrik üretilir. Bu teknoloji çok yeni denenmemiş ve uygulanmamıştır. Amerikalı bilim adamı Ronald L.Conte Jr. tarafından teorik çalışmalar ve hesaplamalar yapılmıştır.

Güneş bacası olarak yatay hava kanalları kullanılır. Güneş ışınları ile havayı ısıtmak için sera kullanılmaz.

4.7. Yatay Güneş Bacası Sisteminin Kısımları

Kollektör: Büyük bir alan koyu renkli bir malzeme ile kaplıdır. Bu malzeme, güneş ışığını ısı enerjisine dönüştürür.

Hava Isıtma: Kollektör üzerindeki havanın sıcaklığı artar, ısıtılmış hava hacmi arttıkça basıncı azalır.

Sıcak Hava Doğar : Kollektörde oluşan sıcak hava yükselir. Soğuk hava yükselen sıcak havanın yerine kollektör çevresinde karadan kullektöre doğru hareket eder. Kollektör sürekli havayı ısıtır. Böylece, kollektör yüzeyindeki hava basıncı kollektör dışındaki hava basıncı altında kalır.

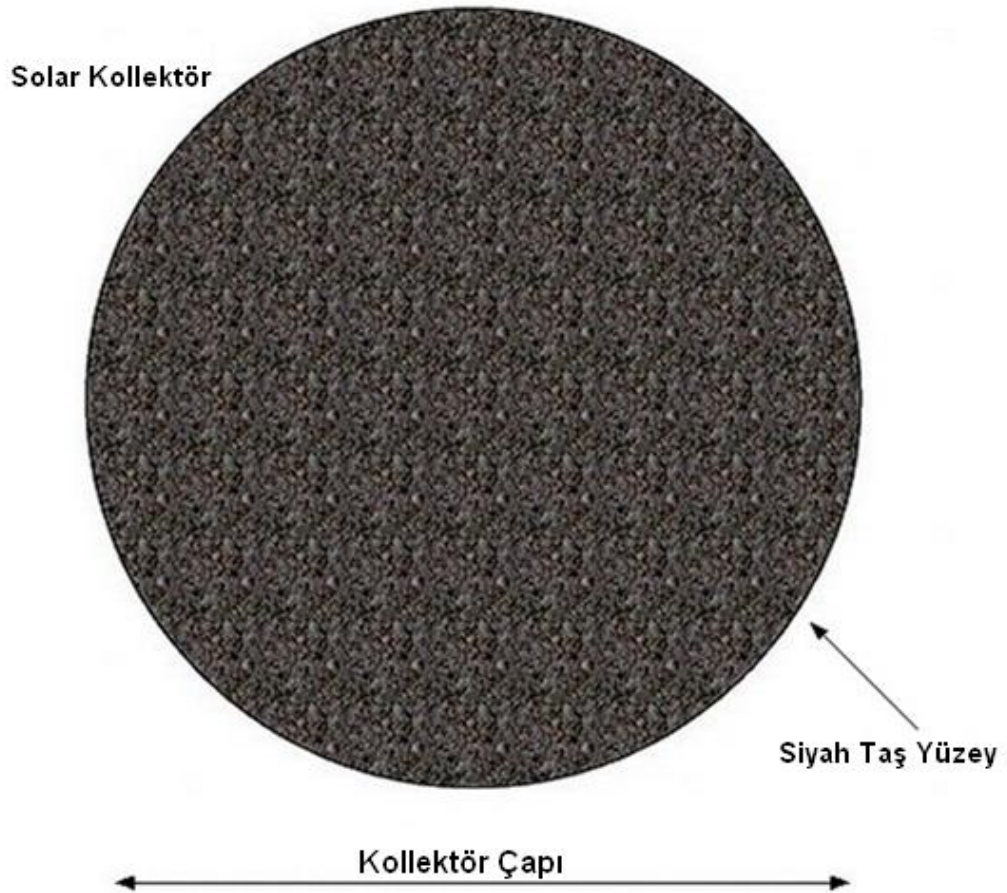
Hava Kanalları: Çok büyük çaplı boru (veya "hava kanalı") uzak mesafedeki kollektör ısısından daha yüksek basınçlı havayı kollektör üzerinde alçak hava basıncı alanına bağlar. Hava rüzgar yaratarak, hava kanalı boyunca ilerler.

Rüzgar Türbinleri : Bir dizi çok büyük hava kanalı içine rüzgar türbinleri yerleştirilir. Her bir hava kanalı birkaç türbin içerebilir ve kollektörü birden fazla hava kanalı destekleyebilir.

4.8. Güneş Kolektörü

Arazinin büyük bir alan koyu renkli bir malzeme ile kaplıdır. Bu malzeme, ısı şeklinde güneş enerjisi toplamakta ve bu nedenle toplayıcısı olarak adlandırılmaktadır. Kaplanmış, arazinin alanı daireseldir. Güneş ışığı koyu renkli bir malzeme çarptığında ısıya dönüşür. Materyal, beyaz veya açık renkli, olduğu takdirde, güneş ışığını yansıtacaktır. Siyah bu amaç için kullanılacak en iyi renktir.

Kollektör siyah seramik çakıl olmalıdır. Çakıl her yağmurda suyun aşağıdaki zemine geçmesine izin verir. Büyük bir arazi bölgelerini siyah seramik çakıl ile kaplamak gerekmektedir. Kollektör boyutu, üretilecek elektrik miktarını belirler. Kollektör çok küçükse, çok az rüzgar oluşturulur. Kollektör çok büyük ise, rüzgar çok kuvvetli olabilir. Şekil 4.16' da kollektörün şekli görülmektedir.



Şekil 4.16. Kollektör gösterimi(Varghese,2009)

Bu noktada, kollektör için en uygun boyutu belirlemek ve bir bütün olarak enerji santrali için yeni çalışmalar yapılabilir. Yatay Güneş bacalı elektrik santrallerinde 30 MW'lık enerji santrali için 2200 m çapında bir kollektöre ihtiyaç olacaktır. 100 MW bir tesiste ise 3600 m çapında bir kollektöre ihtiyaç olur ve 200 MW bir tesiste 4000 m çapında bir kollektöre ihtiyaç olur (Jorg Schlaich , Edition Axel Menges).

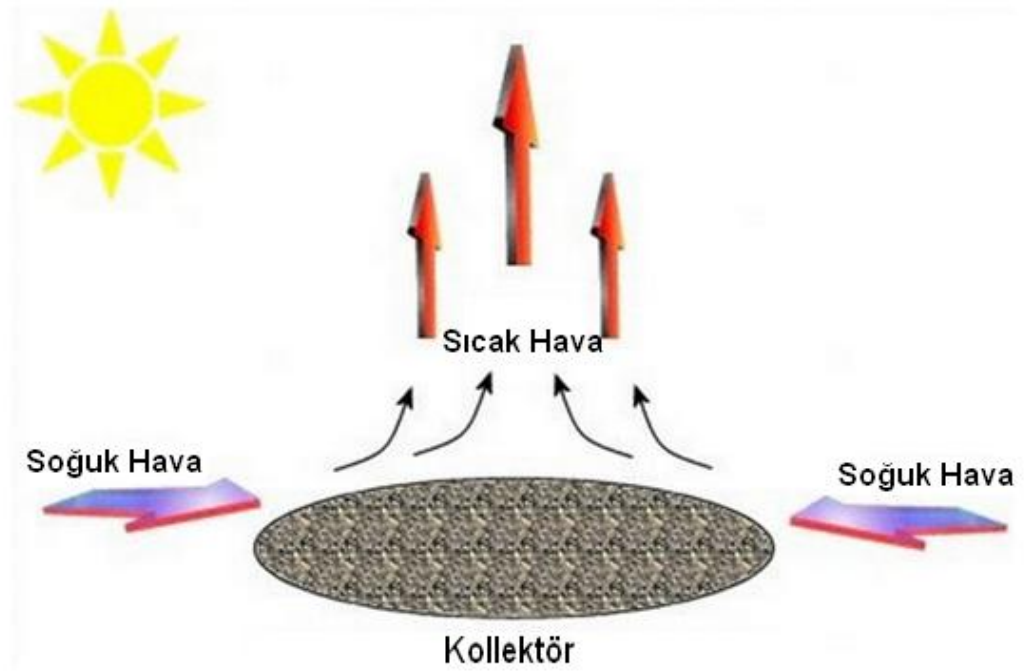
Amerika Birleşik Devletleri'nin güneybatısında böyle bir güneş enerjisi santrali kurulur ise, uygun bir yerde güneş enerjisi miktarı $2300 \text{ kWh} / \text{m}^2$ (yılda metrekare başına kilovat saat). Böylece 4 km güneş kollektörü ile yaklaşık 28, 900 GWh / y (gigavat-saat yıllık) elektrik enerjisi üretilir ve böyle bir santralin verimliliği % 2.08 olmaktadır.

4 km boyutu güneş kollektörü ile yaklaşık 600 GWh / y (gigavat-saat başına yıllık) elektrik enerjisi üretilebilir. Güneş kolektörü güneş ışığını ısı enerjisine dönüştürür. Kollektörde ısınan hava sıcaklık artışına neden olur.

Deneyssel olarak 36 m^2 bir alan siyah seramik ile kaplanmıştır. Doğrudan güneş ışığı altında seramik ortam sıcaklığı 40°C kadar artmıştır. Test Ağustos ayında 42 derece enlemde yapılmıştır. Bu yer ve zaman için tahmini güneş radyasyonu günlük 5 ila $6 \text{ kWh} / \text{m}^2$ 'dir. Daha güney yerlerde bulunan, siyah seramik kollektörün sıcaklığı da daha yüksek olacaktır.

Büyük ölçekli toplayıcı 40 santigrat dereceden daha büyük bir sıcaklık artışı verir. Küçük kollektör çevresinde bir miktar ısı kaybeder. Büyük bir kollektör birim alan başına daha az ısı kaybeder. Kollektör kendi merkezine doğru daha sıcak olacaktır.

Sıcak hava yükselir, çevredeki hava kütesinin sıcaklığına göre daha sıcak hava, daha hızlı yükselir. Sıcak olduğu için kolektör merkezi üzerinde hava, daha hızlı yükselir. Kollektör merkezinde sıcak hava içeri doğru eğilerek yukarı doğru daha hızlı yükselir. Bu etki ile kollektör üzerindeki hava yükselirken daralır. Soğuk hava toplama merkezine doğru hareket ettikçe, sıcak toplayıcısı üzerinde daha fazla zaman geçiren hava yavaş yavaş sıcaklığı artar. Sıcak hava daha hızlı yükselir. Bu nedenle, hava basıncı da toplayıcı merkezine doğru düşük olacaktır. Şekil 4.17'de kollektör üzerinde ısınan havanın yükselmesi görülmektedir.



Şekil 4.17. Kollektörde ısınan havanın yükselmesi(Sriraj RR, 2013)

Kollektör çevresindeki havaya göre kollektör üzerindeki hava basıncı düşüktür. Bu şekilde, güneş kollektörü rüzgar oluşturur. Bu rüzgar da merkezi ve yukarı doğru da kollektör etrafında 360 derece hareket eder.

Bu sanal baca etkisi kollektör çap ve merkezi toplayıcı kenarlarındaki sıcaklık farkına bağlıdır.

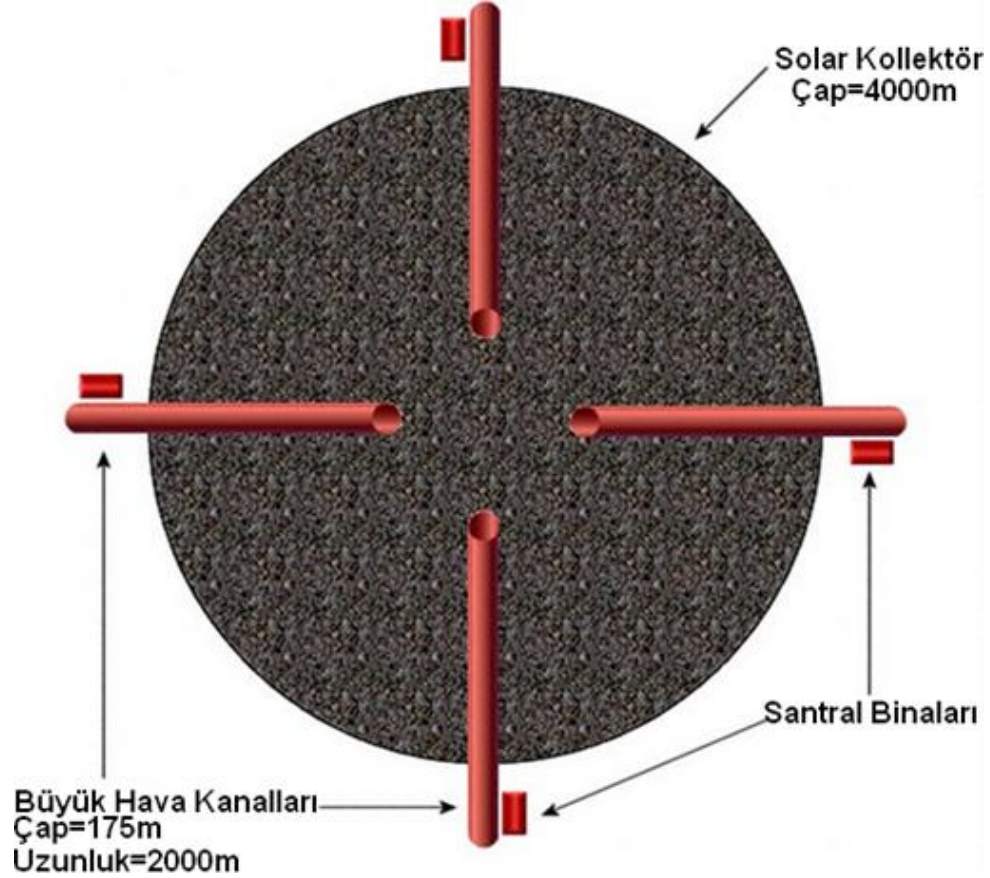
4.9. Hava Kanalı

Çok büyük çaplı boru veya hava kanalı uzaktaki yüksek hava basınçlı bir alanı güneş kollektörü üzerinde alçak hava basınçlı alana bağlar. Hava borusu içinde bir rüzgar yaratarak, yüksek basınç düşük basınca doğru hareket eder.

Bu sistem tarafından üretilen rüzgar enerjisinin miktarı çevreleyen topraklara, kollektör merkezindeki hava basıncı farkına bağlıdır. Yaklaşık 400 Paskal bir hava basınç farkı saniyede 15 m/s rüzgar hızı üretmektrdir. 700 Paskal bir hava basınç farkı 20 m/s rüzgar hızı üretmektedir.

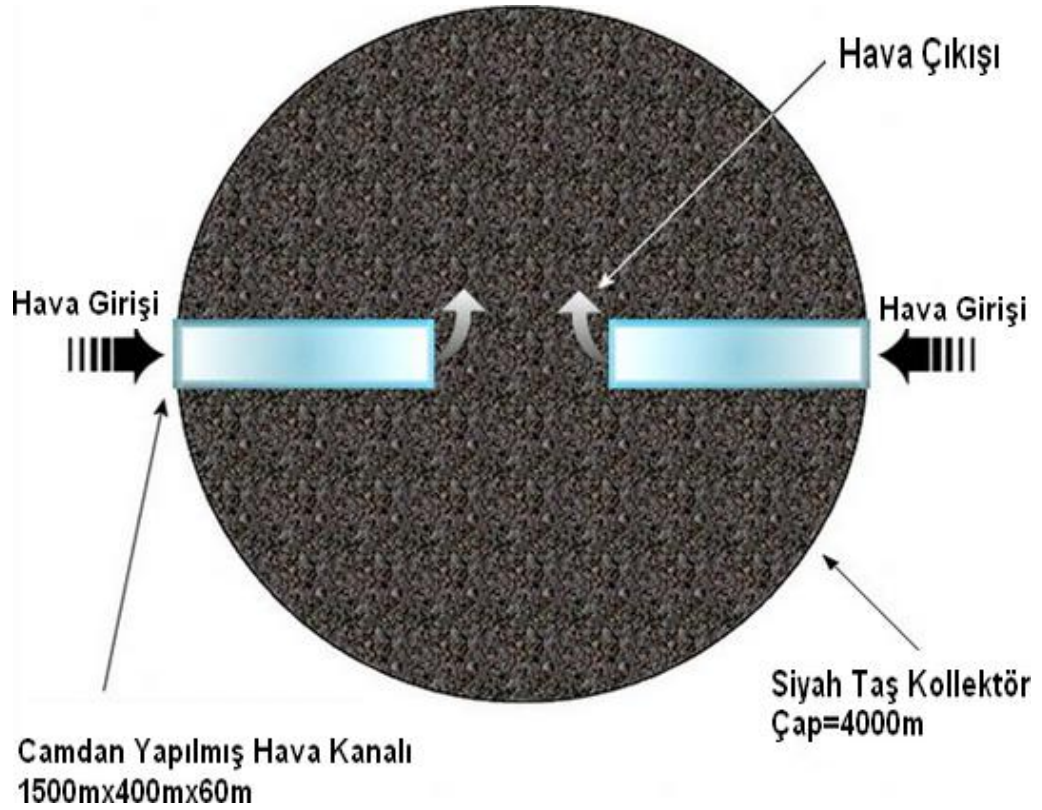
Birden fazla boru büyük bir kollektör içine hava besleyebilir. kollektör boyutu, borunun uzunluğu ve çapı, meydana gelen ısı miktarına bağlı olacaktır.

Şekil 4.18’de uzunluğu 2000 m ve çapı 175 m her biri 4 borudan oluşan bir sistemi gösterir. Güneş kolektörü 4000 m bir çapa sahiptir. Kollektör iç kısmının en düşük hava basıncını sağlamak için boru kolektör içine 1500 m uzatılır.



Şekil 4.18. Kollektör üzerine yatay hava kanallarının yerleşimi(Sriraj RR, 2013)

Boruların kesiti daireseldir. Bununla birlikte, bunlar dikdörtgen kesitinde de olabilir. Bu şekilde daha ucuz ve kolay inşa etmek daha mümkün olacaktır. Yer seviyesine yakın olacağı için de, kolektöre gelen ısıdan daha iyi yararlanmak mümkün olacaktır. Aynı kesit alanı elde etmek için, bu dikdörtgen hava kanalları 400 m genişliğinde 60 m yüksekliğinde olması gerekir. Aynı kesit alanına sahip boru yaklaşık 175 m bir çapa sahip olmalıdır. Şekil 4.19’da camdan yapılmış dikdörtgen şeklindeki hava kanalları görülmektedir



Şekil 4.19. Hava kanallarında hava akışının gösterimi(Varghese, 2009)

Şekil 4.18 ve 4.19’da görüldüğü gibi toplayıcı başına 4 ve toplayıcı başına 2 hava kanalı örneği görülmektedir. Ancak, optimum sayıda henüz tespit edilmemiştir. Belki de böyle bir enerji santralinde yeterli güç üretmek için sadece bir hava kanalı yeterli olacaktır.

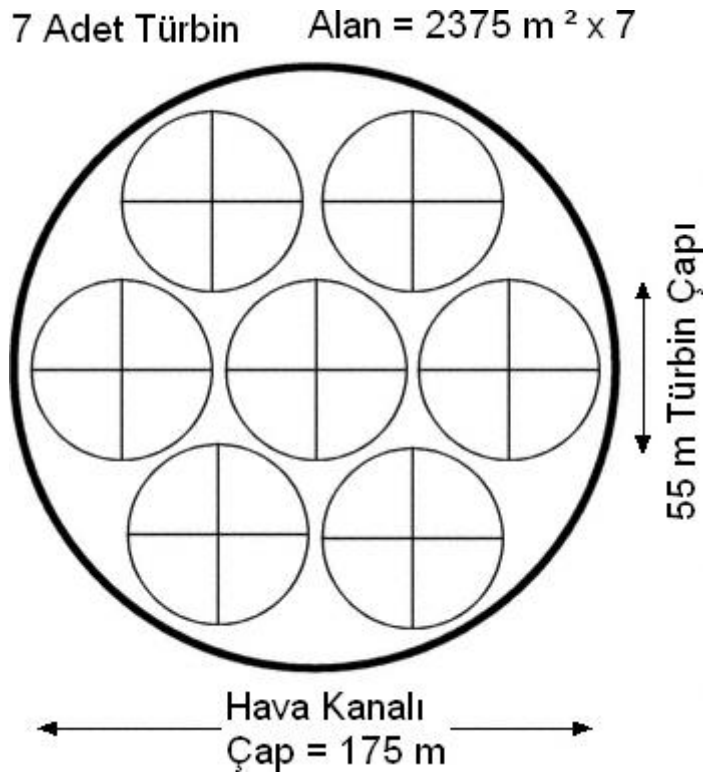
Rüzgar türbinleri borulardaki rüzgardan mekanik enerji, mekanik enerjiden de elektrikenerjisi dönüşümünü gerçekleştirirler.

Rüzgar hızı kollektör boyutu artırılıp ya da azaltılarak kontrol edilebilir. Santral inşa edildikten sonra bu tür bir değişiklik, beyaz bir malzeme ile toplayıcısı yüzeyinin bir bölümü kaplayarak yapılabilir. Yaz aylarında, kollektör daha yüksek bir sıcaklığa ulaşması ve daha yüksek rüzgar hızı üretmek eğiliminde olacaktır. Böylece kollektör etkili boyutunu azaltarak, kollektör parçası örterek rüzgar hızını azaltmak mümkündür. Kışın, kollektörün yüksek bir sıcaklığa ulaşmasını ve böylece kollektörden maksimum rüzgar gücü elde etmek için kollektörün tamamı kullanılabilir.

4.10. Rüzgar Türbinleri

Her boru birden fazla türbin içerebilir ve her kollektör çok sayıda boru ile desteklenebilir.

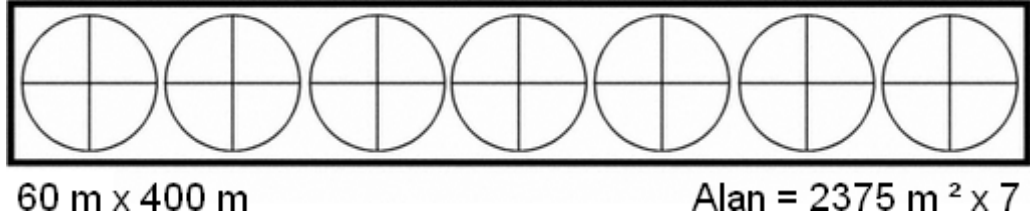
4000 m kollektör çaplı bir enerji santrali için, boruların iç çapı 175 m ve kesit alanı 24.050 m^2 olacaktır. Bu büyüklükte bir boru çeşitli konfigürasyonlarda birden fazla rüzgar türbinini destekleyebilir. Olası bir konfigürasyon şekil 4.20’de gösterilmiştir. Yedi büyük türbin, yaklaşık 55 m çapında ve her biri bu boyutta bir boru içine sığabilir.



Şekil 4.20. Silindir şeklindeki hava kanallarına türbinlerin yerleşimi(Varghese, 2009)

Boru kesiti yuvarlak olmak zorunda değildir. Aşağıda gösterildiği gibi, dikdörtgen de olabilir. Yine, her çap yaklaşık 55 m yedi adet büyük türbin, yuvarlak boru, aynı kesit alanına sahip bir dikdörtgen kanal içindeki sığabilir. Şekil 4.21’de böyle bir yapı görülmektedir.

7 Adet Türbin ve Dikdörtgen Hava Kanalı



Şekil 4.21. Dikdörtgen şekle sahip hava kanalına türbinlerin yerleşimi(Varghese, 2009)

Hava kanalındaki hava hızı (V) diğer hava kanalının bir ucundan toplam basınç farkı ΔP , ve hava kanalının çapı (D) ise

$$V = \sqrt{\frac{2}{3} \frac{\Delta P}{D}} \quad (\text{E.4.3})$$

Mevcut rüzgar kuvveti formülü aşağıdaki gibidir:

$$\Delta P = V^2 \cdot D \cdot \frac{3}{2} \quad (\text{E.4.4})$$

15 m/s rüzgar metrekare başına yaklaşık 1965 Watt üretecektir. Rüzgar türbinlerinin toplam süpürme alanı 25.000 m², üretilen güç 49 MW olacaktır. 20 m/s rüzgar metrekare başına yaklaşık 4660 Watt üretecektir. Rüzgar türbinlerinin toplam süpürme alanı 25.000 m², üretilen güç yaklaşık 115 MW olacaktır.

Büyük güneş kolektörü, daha büyük hava basıncı farkı, daha fazla güç üretir. Daha büyük güneş kolektörü de daha büyük bir toplam süpürme alanı ve üretilen fazla toplam güç sağlayan, birden fazla hava kanalı desteklemek için mümkün olabilir. Çizelge 4.1’de Ronald L.Conte Jr tarafından hazırlanan basınç farklarına göre oluşan rüzgar hızları ve güçler görülmektedir (L.Conte Jr Port St.Lucie,FL34986).

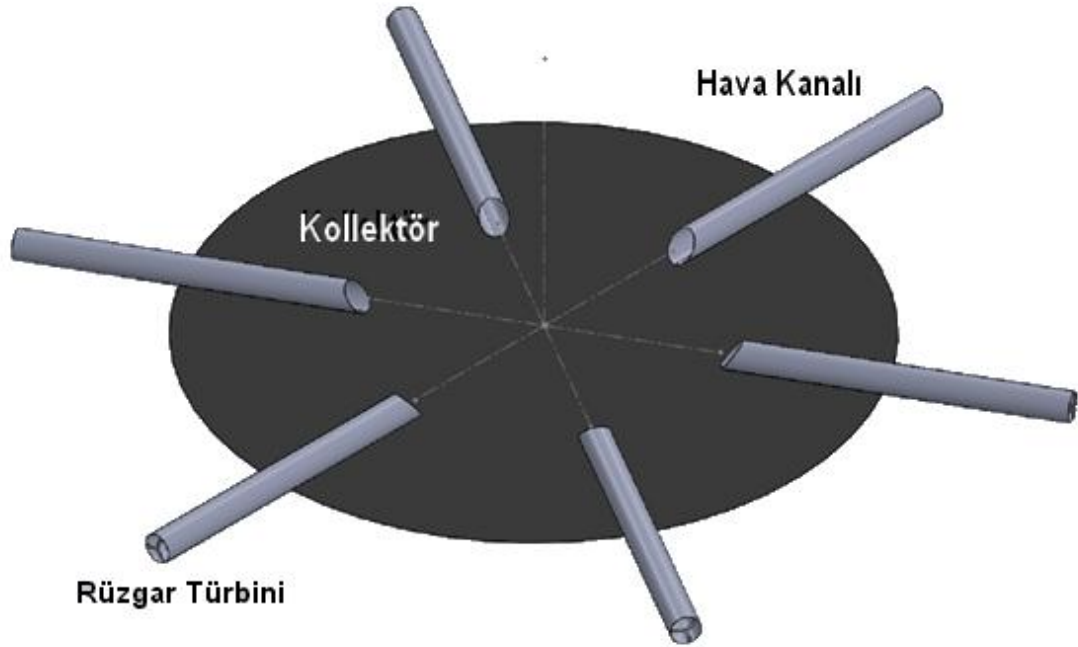
Çizelge 4.1. Basınç farklarına göre oluşan rüzgar hızı ve elde edilen elektrik enerjisi

(Ronald L.Conte Jr Port St.Lucie,FL34986,USA)

ΔP (PA)	V (m/s)	P1 (W/m ²)	P2 (W/m ²) (A=10,000m ²)	P2 (W/m ²) (A=25,000m ²)	P2 (W/m ²) (A=50,000m ²)
10.92	2.5	9.10	0.091	0.228	0.455
43.69	5.0	72.81	0.728	1.820	3.640
98.30	7.5	245.74	2.46	6.14	12.29
174.75	10.0	582.50	5.82	14.56	29.12
273.05	12.5	1137.70	11.38	28.44	58.88
393.19	15.0	1965.94	19.66	49.15	98.30
535.17	17.5	3121.84	31.22	78.05	156.09
699.00	20.0	4660.00	46.60	116.50	233.00
884.67	22.5	6634.04	66.35	165.88	331.70
1092.19	22.0	9101.56	91.02	227.54	455.08

5. GELİŞTİRİLEN YATAY GÜNEŞ BACASI SİSTEMLERİ VE UYGULAMASI

Tasarlanan güneş bacası sisteminde 6adet yatay baca kullanılmıştır. Bu şekilde uygun bir kollektör yapısı ile daha fazla elektrik enerjisi üretilebilecektir. Şekil 5.1’de prensip şema görülmektedir.



Şekil 5.1. Altı adet yatay bacalı santral

5.1. Örnek Hesaplama



Şekil 5.2. Siyah taş ile kaplı kollektör yapısı

Kollektör yüzeyin depolayacağı ısı enerjisi:

$$Q_1 = mc_p \Delta T \quad (E.5.1)$$

Birim zamanda havaya geçen ısı

$$Q_h = hA\Delta T \quad (\text{E.5.2})$$

h: Taşınım katsayısıdır (3-4 arasında alınır)

cp: 1 kJ/kg°C

$\dot{m} = \rho_h AV$ den kollektör yüzeyinden yukarıya doğru yükselen havanın hızı;

$$V = \frac{\dot{m}}{\rho_h A} \text{ m/s} \quad (\text{E.5.3})$$

Hava yoğunluğu 1,165 kg/m³, R=8,2056 · 10⁻⁵, T₁ sıcaklığı 303,15°K, M_A 28.97 · 10⁻³ olarak alındığında hava kanallarının girişindeki basınç;

$$P_1 = \frac{\rho_1 \cdot R \cdot T_1}{M_A \cdot 10^{-3}} \text{ atm} \quad (\text{E.5.4})$$

$$P_1 = \frac{1,165 \cdot 8,2056 \cdot 10^{-5} \cdot 303,15}{28,97 \cdot 10^{-3}} = 1,000334726 \text{ atm}$$

olarak bulunur. Kollektör üzerindeki hava sıcaklığı T₂=309,15° K olarak kabul edildiğinde hava yoğunluğu 1,142 kg/m³, R=8,2056 · 10⁻⁵, M_A 28.97 · 10⁻³ alındığında;

$$P_2 = \frac{\rho_2 \cdot R \cdot T_2}{M_A \cdot 10^{-3}} \text{ atm} \quad (\text{E.5.5})$$

$$P_2 = \frac{1,142 \cdot 8,2056 \cdot 10^{-5} \cdot 309,15}{28,97 \cdot 10^{-3}} = 0,999993557500863 \text{ atm}$$

Olarak hesaplanır.Basınç farkı ise;

$$\Delta_p = P_1 - P_2 \quad (\text{E5.6})$$

$$\Delta_p = 1,000334726 - 0,999993557500863 = 0,0003411685 \text{ atm}$$

Olarak bulunur. Bu durumda hava kanalları içerisinde oluşacak hava akımının hızı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilir.

$$V = \sqrt{\frac{25000 \cdot D \cdot \Delta P}{L}} \text{ Feet / s} \quad (\text{B.F.Sturtevant Company}) \quad (\text{E.5.7})$$

V=Hava hızı (Feet/S)

D=Hava kanal çapı (İnç)

L=Hava kanalı uzunluğu (Feet)

ΔP =Basınç farkı (Ounces/square inch)

$$V = \sqrt{\frac{25000 \cdot 196,8503937 \cdot 0,080220674}{3280,839895}} = 3,34351861865518 \text{ m/s}$$

Bu rüzgar hızında üretililebilecek elektrik enerjisi;

$$P = \frac{1}{2} \cdot A \cdot V^3 \quad (\text{E.5.8})$$

Elektrik gücü ise;

$$P = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot A \cdot V^3 \cdot \eta_G \cdot \eta_D \cdot \eta_C \quad (\text{E.5.9})$$

P =Elektrik gücü (w)

C_p =Betz limiti (%59.26)

η_G =Jeneratör verimi

η_D =Dişli kutusu verimi

η_C =Kaplin verimi

$$P = \frac{1}{2} \cdot 19,63495408 \cdot 3,34351861865518^3 = 366,95 \text{ W olarak bulunur.}$$

Çizelge 5.1 hava kanalının çapı 10 m ve boyu 1000 m için hava kanallarının girişi ile kollektör merkezindeki ısı farklarına göre oluşan rüzgar hızları ve üretililecek elektrik güçleri görülmektedir.

Çizelge 5.1. Sıcaklık farkları, oluşan rüzgar hızı ve elde edilen elektrik gücü
(L=1000m, D=10m)

Sıcaklık Farkı $^{\circ}\text{C}$	ΔP	V(m/s)	P(W)
1	0.147021285	21.0015203300046	10.300
2	0.506599052	38.9845758736076	65.884
3	0.883493029	51.4828037967056	151.736
4	0.896546787	51.8617427622237	155.112
5	0.914928611	52.3907036792609	159.907
6	0.946630596	53.2906350773911	168.289
7	1.024287139	55.4333962163401	189.417
8	1.092619569	57.2525868892819	208.684
9	1.193586395	59.8394450497674	238.268
10	1.293221205	62.2869457726615	268.717
11	1.407508192	64.9809554970231	305.114

Çizelge 5.2. farklı hava kanalı çapları ve 1000 m hava kanalı uzunluğu için hava kanallarının girişi ile kollektör merkezindeki ısı farklarına göre oluşan rüzgar hızları ve üretilebilecek elektrik güçleri görülmektedir.

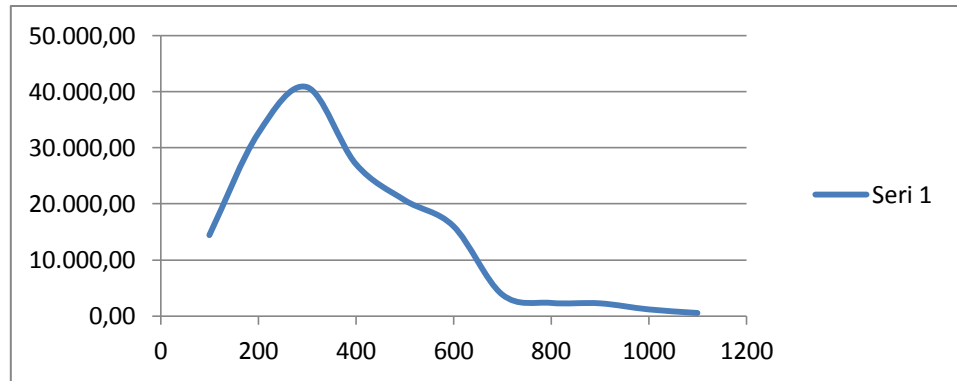
Çizelge 5.2. Değişen baca çaplarına ve elde edilen rüzgar hızları ve elektriki güç

D(m)	L(m)	V(m/s)	P(W)
5	1000	14.8503174405734	910.44
10	1000	38.9845758736076	65.884
15	1000	63.0532999148746	627.206
20	1000	71.7174593813762	1.640738
25	1000	62.3971155623234	1.688411
30	1000	56.0383327283342	1.761176
35	1000	50.4156881465356	1.745572
40	1000	58.482629338038	3.558815
45	1000	54.2582609444589	3.596892
50	1000	55.9950848390494	4.880839
55	1000	53.2929783365937	5.091434

Çizelge 5.3.de ise 5 m hava kanalı çapı ve farklı hava kanalı uzunlukları için elde edilebilecek %50 elektrik güçleri görülmektedir.

Çizelge 5.3. Değişen baca boylarına göre elde edilen elektriki güç (D=5m)

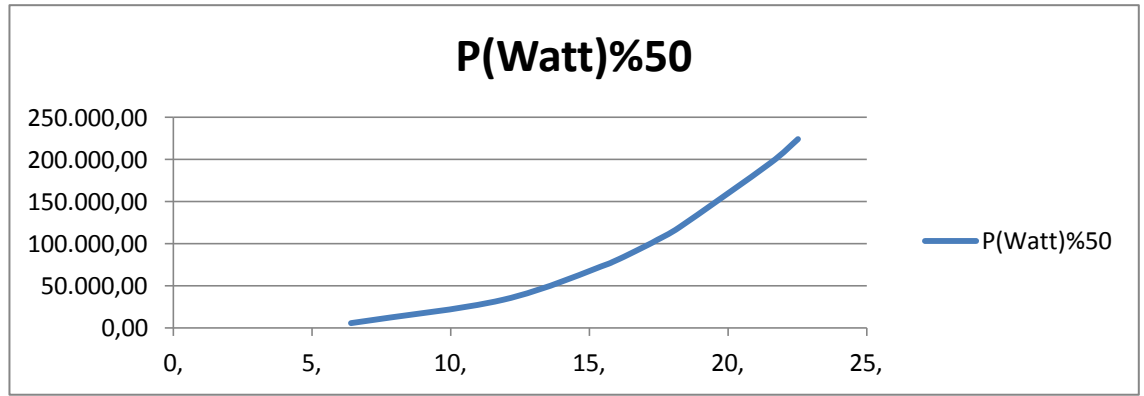
L(m)	P(W)%50
100	14.395
200	32.553
300	40.810
400	27.096
500	20.640
600	16.002
700	3.787
800	2.292
900	2.221
1000	1.135
1100	499.86



Şekil 5.3. Değişen baca boylarına göre elde edilen elektriki güç (D=5m)

Çizelge 5.4. Rüzgar hızına göre elde edilen elektrik üç (L=1000m, D=10m)

V(m/s)	P(W)%50
6.40126339658542	5.15023
11.8824987262756	32.94225
15.6919585972359	75.86847
15.8074591939258	77.55612
15.9686864814387	79.95350
16.2429855715888	84.14484
17.0607206613699	97.50390
17.4505884838531	104.34223
18.2390628511691	119.13447
21.5187748486169	195.65120
22.517899076401	224.18858



Şekil 5.4. Rüzgar hızına göre elde edilen elektriki güç (L=1000m, D=10m)

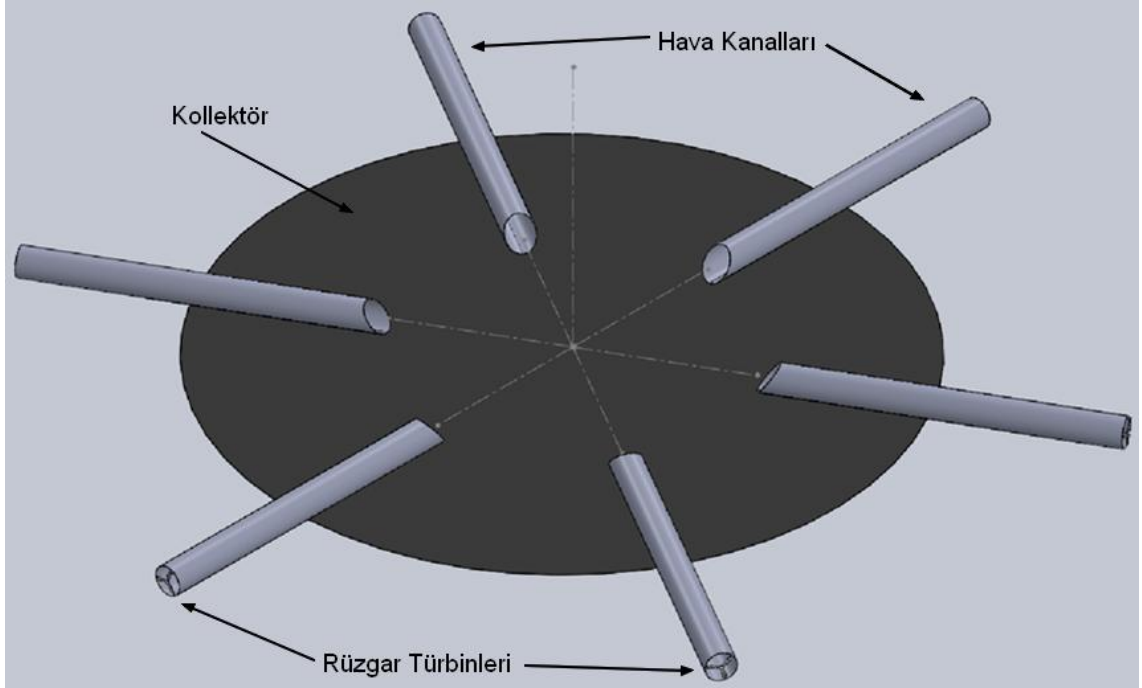
Çizelge 5.5. Bilecik İlının uzun yıllar içinde gerçekleşen ortalama sıcaklık değerleri (1960 - 2012)

BİLECİK	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Hazira	Temm	Ağust	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ortalama Sıcaklık (°C)	2.4	3.5	6.6	11.5	16.1	19.9	22.1	21.9	18.3	13.9	8.9	4.7
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	5.9	7.5	11.5	16.9	21.9	25.8	28.3	28.4	24.8	19.4	13.4	8.0
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-0.4	0.1	2.5	6.7	10.7	14.1	16.2	16.2	13.0	9.6	5.4	1.9
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.2	3.5	4.5	6.0	8.0	9.5	10.3	10.0	8.2	5.5	4.2	3.0
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	14.2	13.2	13.0	11.6	10.3	7.6	4.2	3.6	5.1	8.8	10.2	13.8
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (kg/m2)	49.2	40.9	46.1	44.9	45.5	37.6	17.7	12.1	21.6	42.4	39.4	57.4

Çizelge 5.6. Bilecik İlinde 1960-2012 yılları içinde gerçekleşen en yüksek ve en düşük sıcaklık değerleri (Meteoroloji Genel md. www.mgm.gov.tr)

BİLECİK	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
En Yüksek Sıcaklık (°C)	22.0	24.6	29.0	32.7	35.8	37.6	41.0	40.2	38.4	34.3	27.4	25.0
En Düşük Sıcaklık (°C)	-14.4	-14.3	-10.1	-6.0	1.0	6.0	7.7	8.2	3.2	-0.8	-6.4	-12.8

Şekil 5.5’de Bilecik ili için tasarlanan yatay güneş bacalı santralin şeması görülmektedir.



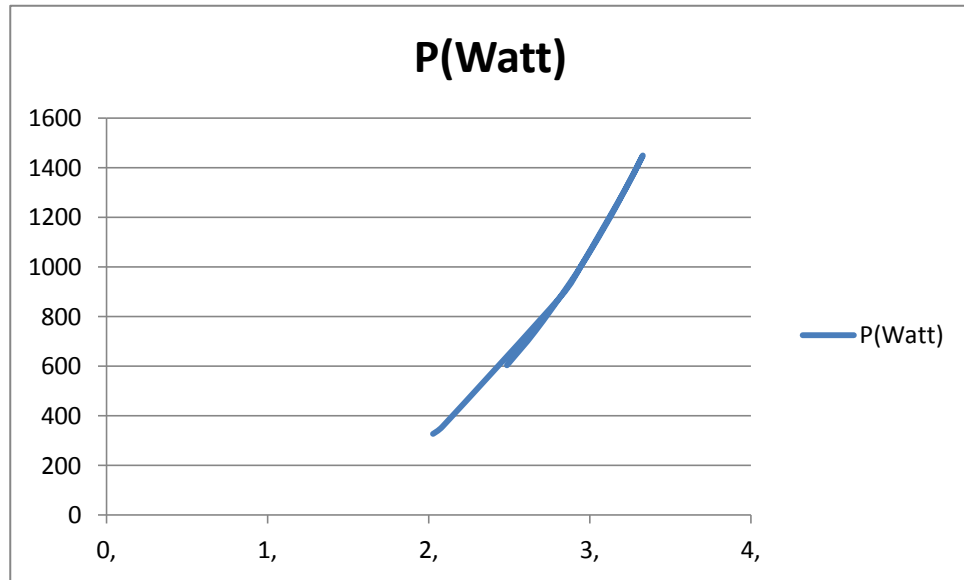
Şekil 5.5. Bilecik ili için tasarlanan santral

Bilecik ili için tasarlanan santralde 6 adet hava kanalı kullanılmış ve rüzgar türbinleri hava kanallarının girişine yerleştirilmiştir. Meteoroloji genel müdürlüğünün Bilecik ili için 1960-2012 yılları arasında gerçekleşen aylara göre ortalama sıcaklık değerleri kullanılarak hesaplamalar yapılmış ve aşağıdaki tablolardaki sonuçlar elde edilmiştir. Tasarlanan sistemde 6 adet rüzgar turbine bulunduğu için hesaplanan güç değerlerinin 6 katı alınmalıdır.

Çizelge 5.8.'da hava kanalı çapı 10m ve uzunluğu 500m için yılın her ayı için üretilebilecek saatlik elektrik güçleri görülmektedir

Çizelge 5.7. Bilecik ili için aylık üretilebilecek elektrik enerjisi
(D=10m, L=500m)

Aylar	V (m/s)	PWh	6 x PWh
Ocak	2.02852589997351	327.7944	1966.7664
Şubat	2.08729094305143	357.1156	2142.6936
Mart	2.8190031679063	879.7243	5278.3458
Nisan	2.94798013780851	1006.082	6036.492
Mayıs	3.22571797182422	1318.072	7908.432
Haziran	3.30501508692851	1417.687	8506.122
Temmuz	3.3286486014653	1448.317	8689.902
Ağustos	3.16633200467626	1246.606	7479.636
Eylül	3.01398825722404	1075.188	6451.128
Ekim	2.87365957312698	931.8926	5591.3556
Kasım	2.66078780040568	739.7596	4438.5576
Aralık	2.48664472099708	603.8111	3622.8666



Şekil 5.6. Bilecik ili için aylık üretilebilecek elektrik enerjisi
(D=10m, L=500m)

Çizelge 5.8. Bilecik İli için günlük ve aylık üretilen toplam elektrik enerjisi

Aylar	V(m/s)	PWh	6XP kWh	Gunluk üretim P _T kWh	Aylık üretim P _T kWh
Ocak	2.86876883936763	3708.571	22.25	534.25	16027
Şubat	2.95187516028186	4040.302	24.24	581.76	17454
Mart	3.98667251242581	9952.944	59.71	1433.04	42996
Nisan	4.16907349249529	11382.52	68.29	1638.96	49172
Mayıs	4.56185410414445	14912.28	89.47	2147.28	64419
Haziran	4.673997159782	16039.29	96.23	2309.52	69288
Temmuz	4.70741999656647	16385.84	98.31	2359.44	70783
Ağustos	4.47786966398916	14103.74	84.61	2030.64	60928
Eylül	4.26242307019948	12164.37	72.98	1751.52	52550
Ekim	4.06396834195946	10543.16	63.25	1518.01	45546
Kasın	3.76292219393059	8369.424	50.21	1205.04	36159
Aralık	3.51664668923753	6831.343	40.98	983.52	29511

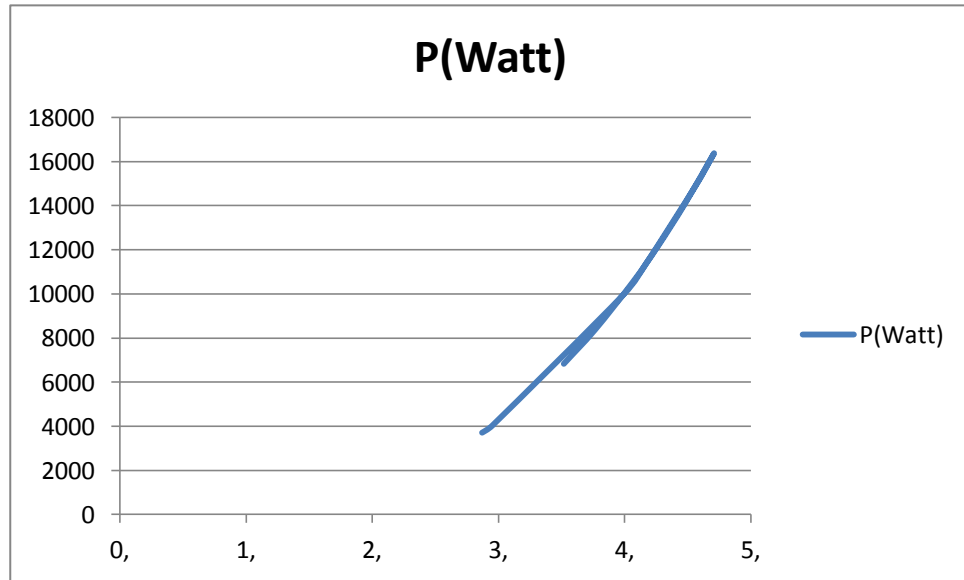
Toplam yıllık elektrik enerjisi üretimi P= 554833 kWh

Toplam sistem verimi Betz limiti de dikkate alınarak %50 alındığında
 $P=554833 \times 0.5=277.416$ kWh olarak bulunur.

Çizelge 5.11.Aynı veriler için hava kanalının çapı 20 m ye çıkarıldığında oluşan rüzgar hızları ve her bir hava kanalında üretilebilecek elektrik enerjisi değerleri görülmektedir.

Çizelge 5.9. Hava kanalı çapı 20 m için rüzgar hızı ve elektriki güç
(D=20m, L=500m)

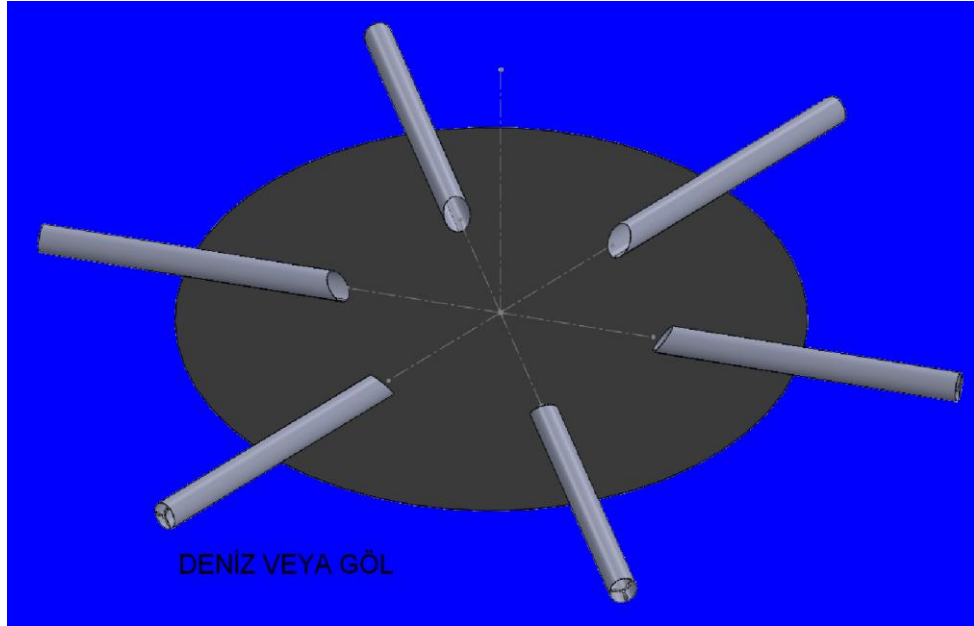
Aylar	V(m/s)	PWh
Ocak	2.6876883936763	3708.571
Şubat	2.95187516028186	4040.302
Mart	3.98667251242581	9952.944
Nisan	4.16907349249529	11382.52
Mayıs	4.56185410414445	14912.28
Haziran	4.673997159782	16039.29
Temmuz	4.70741999656647	16385.84
Ağustos	4.47786966398916	14103.74
Eylül	4.26242307019948	12164.37
Ekim	4.06396834195946	10543.16
Kasım	3.76292219393059	8369.424
Aralık	3.51664668923753	6831.343



Şekil 5.7. Hava kanalı çapı 20 m için rüzgar hızı ve elektriki güç
(D=20m, L=500m)

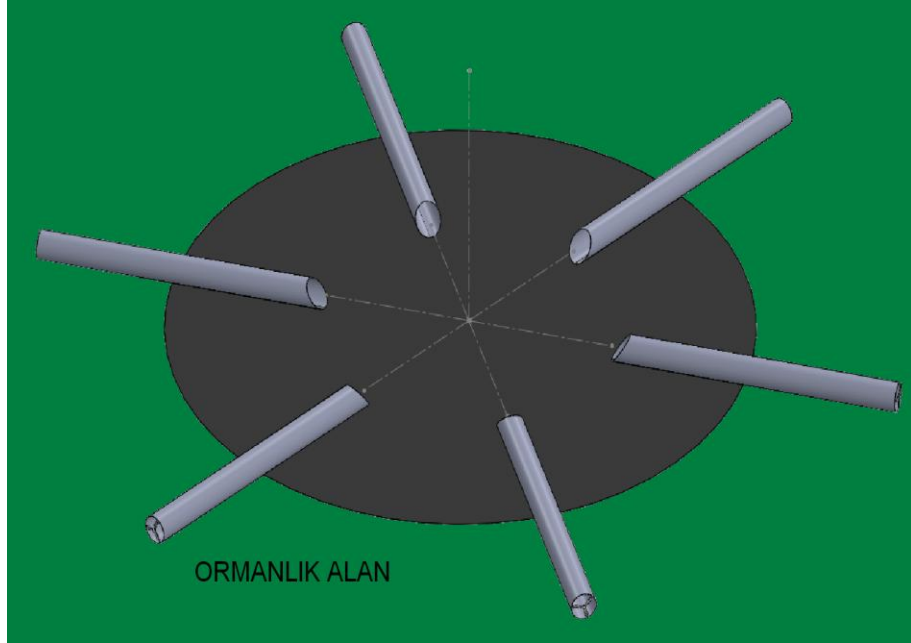
5.2. Farklı Tasarım Örnekleri

Yatay güneş bacalı elektrik santrallerinde hava kanallarında oluşan rüzgarın hızı bu kanalların iki ucu arasındaki basınç farkına bağlıdır. Basınç farkını oluşturan ise kollektör dışındaki ve kollektör üzerindeki havanın sıcaklık farkıdır. Havanın sıcaklık farkını daha da arttırabilmek için kollektör deniz veya göl içerisindeki uygun bir adanın üzerine inşa edilebilir. Yatay bacaların birer uçları da su yüzeyinde bulunur ise su üzerindeki hava sıcaklığı daha düşük olacağından küçük çaplı bir kollektör ile yatay bacaların iki ucu arasında daha büyük basınç farkı oluşturulabilecektir. Böyle bir tasarımda rüzgar türbinleri yatay bacaların kollektör üzerindeki uç kısımlarına yerleştirilebilir. Şekil 5.8’de böyle bir tasarım görülmektedir.



Şekil 5.8. Hava girişlerinin su üzerinden yapılması

Bir başka tasarımda yatay bacaların birer uçları ormanlık, yani gölge olan bir noktada olabilir. Gölgedeki hava sıcaklığı güneş altındaki kollektör üzerindeki hava sıcaklığından çok daha düşük olacağından yatay bacaların iki ucu arasındaki ısı farkı daha da arttırılmış olacaktır. Bu da üretilecek elektrik enerjisinin artması anlamına gelecektir. Şekil 5.9’de hava girişlerinin ormanlık bir bölgeden yapıldığı santral şekli görülmektedir.



Şekil 5.9. Hava girişlerinin ormanlık alanda olduğu santral

5.3. Maliyet Analizi

Bilecik ili için tasarlanan 10 m çapında ve 500 m uzunluğundaki yatay bacalar ve 1000 m çapındaki kolektör için inşaat maliyeti hesaplamaları yapılarak ,santrali kurulum maliyetini amorti süresi belirlenmiştir.

Kollektör yüzeyi 50 cm yüksekliğinde taş ile kapladığında,

$$H = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (\text{E. 5.10})$$

H=Kollektörün hacmi m³

r =Kollektörün yarıçapı m

h = Kollektörün yüksekliği m

$$H=3.14 \cdot 500^2 \cdot 0,5 = 392500 \text{ m}^3$$

1m³ taş 3TL olduğundan kolektörü taş ile kaplamak için,

$$3 \cdot 392500 = 1177500 \text{ TL}$$

Yatay bacanın yüzey alanı,

$$A = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot l \quad (\text{E.5.11})$$

A= Yatay bacanın yüzey alanı m²

r = Yatay bacanın yarıçapı m

l = Yatay bacanın uzunluğu m

$$A = 2 \cdot 3,14 \cdot 5 \cdot 500 = 15700 \text{ m}^2$$

Bacalar 2 mm kalınlığında sac ile kaplanırsa, sacın 1m²'si 13 TL olduğuna göre bir baca,

$$13 \cdot 15700 = 204100 \text{ TL}$$

Altı adet yatay baca bulunduğundan,

$$6 \cdot 204100 = 1224600 \text{ TL}$$

$$2\text{kw gücündeki 6 adet rüzgar türbini ve jeneratörü} = 89.700 \text{ TL}$$

Çizelge 5.10. Santralin maliyet tablosu

Cinsi	Miktarı	Birim Fiyatı	Fiyat(TL)
Taş	392500m ³	3TL/ m ³	1177500
Sac	408200m ²	13 TL /m ²	1224600
Rüzgar türbini	6 ad(2kw)	14.950TL	89700
Montaj	1	200.000 TL	200000
Toplam			2691800

Tasarlanan santralde yılda 277.416 kwh elektrik enerjisi üretildiğine göre ve 2013 yılında elektrik enerjisinin satış fiyatı 15 Krş/kwh olduğuna göre bir yılda elde edilecek gelir,

$$15 \cdot 277416 = 41612.4 \text{ TL olmaktadır. Bu durumda santral kendisini,}$$

$$2691800 : 41612.4 = 64 \text{ yılda amorti edebilmektedir.}$$

6. SONUÇ

Her geçen gün artan enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için sürekli yeni kaynaklar araştırılmakta ve en önemlisi de bu kaynakların çevreye zarar vermesi istenilmemektedir. Bu nedenle gün geçtikçe yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlilerinden olan rüzgar ve güneş enerjisinden daha fazla yararlanabilmek için sürekli yeni çalışmalar yapılmaktadır.

Rüzgar her yerde aynı hızda ve kararlılıkta esmediği için istenilen her yerde rüzgar enerjisinden yeterince faydalanmak mümkün olmamaktadır. Fakat güneş enerjisi yüksek tepelere, düzlüklere ve dolayısı ile her yere hemen hemen aynı miktarda ulaşabilmektedir.

Güneş enerjisinden elektrik elde etmenin farklı yolları vardır. Güneş ışınlarının fotovoltaik pillerin üzerine düşmesi ile doğrudan elektrik enerjisi üretilebilmektedir. Sistem veriminin düşük, maliyetlerin yüksek olması nedeni ile bu yöntem gerektiği kadar kullanılmamaktadır. Güneş enerjisinin aynalarla odaklanarak suyun buharlaştırılması ile elektrik enerjisi üretimi ise yine maliyetlerin yüksekliği nedeniyle fazla bir uyguamaya ulaşamamıştır. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretmenin farklı bir yolu da güneş bacalarıdır. Bu yöntemde rüzgarın esmesi beklenmez. Güneş ışınları seranın altındaki havayı ısıtır, ısınan havanın basıncı düşer ve seranın merkezinde bulunan bacadan yukarıya doğru yükselir ve bacanın tabanında bulunan rüzgar türbinleri jeneratörü döndürerek elektrik enerjisi üretir.

Bu sistemde üretilen enerji miktarını arttırabilmek için seranın çapı ve bacanın uzunluğunu arttırmak gerektirmektedir. Fakat çok yüksek bir bacayı yandan gelen rüzgar kuvvetine karşı dik tutabilmek oldukça güçtür. Öyleki İspanya'nın Manzanares bölgesine inşa edilen güneş bacası 1986 yılında fırtınadan yıkılmıştır. Bu sorunu çözmek için Yunan bilim adamı Prof.Christos D. Papagergiou tarafından esnek bacalar geliştirilmiştir. Farklı bir tasarım da bacanın bir dağa yaslanmasıdır. Fakat bu yöntemde sera yarım daire şeklinde yapıldığı için verim düşmektedir.

Amerikalı bilim adamı Ronald L.Conte Jr.ise farklı bir güneş bacası geliştirmiştir. Bu sistemde güneş ışınlarının havayı ısıtması için seraya gerek yoktur. Büyük çaplı siyah taşlardan oluşan büyük çaplı bir kollektör bulunmaktadır. Kollektör

üzerindeki hava ısınarak yükselirken kollektörün çevresindeki daha soğuk hava kollektör tabanından kollektörün merkezine doğru hareket etmektedir. Kollektörün dışındaki havayı kollektör merkezine taşıyacak yatay bacaların yerleştirilmesi ile bu bacaların içerisinde hava akımı oluşmaktadır. Yatay baca girişlerine yerleştirilen rüzgar türbinleri ve jeneratörler ile elektrik enerjisi üretilmektedir. Bu sistemde sera kullanılmadığı için maliyetler düşmekte ve fırtınalarda bacaların yıkılması tehlikesi ortadan kalkmaktadır. Böyle bir santrali inşaa etmek için ileri teknolojilere gerek yoktur. Hemen hemen her ülke kendi imkanları ile böyle bir santrali kurabilir. Santralin işletim maliyetleri oldukça düşük olacaktır. Yatay güneş bacalı santralde, düşey güneş bacalı santral için en büyük risk olan fırtına ve depremlerde yıkılma tehlikesi olmadığından güvenli bir şekilde çok uzun yıllar çalışabilecektir.

Bu tez çalışmasında güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten güneş bacası sistemleri ele alınmış, bunlardan gelişme aşamasında olan ve henüz büyük çapta uygulanmamış “yatay güneş bacası sistemleri” detaylı olarak incelenmiş, bu konuda çeşitli modeller geliştirilmiş ve uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi amacıyla Bilecik ili için örnek bir tasarım yapılarak hesaplamalar verilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda oluşacak sıcaklık farkı ile bu sistemden elektrik enerjisi üretilebileceği görülmüştür. Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden Bilecik ili için uzun yıllar (1960-2012) ortalama sıcaklık verileri alınarak böyle bir santralde kollektör üzerindeki sıcaklık artışı 10°C için farklı baca çapları ve uzunlukları için hesaplamalar yapılarak çizelge ve grafikler elde edilmiştir. Kış aylarında üretilen elektrik enerjisinde azalma olurken yaz aylarında artış gözlemlenmiştir. Tasarlanan bu santralin yapılan maliyet analizi sonunda 64 yılda kendini amorti edebileceği görülmüştür. Santralin uzun yıllar çalışabileceği düşünüldüğünde bu süre çok uzun değildir.

Ülkemizin güney sahillerinin yıl boyunca güneşlenme sürelerinin daha fazla olduğu göz önüne alındığında santralin bu bölgelerde daha fazla elektrik enerjisi üreteceği düşünülmektedir. Dolayısı ile ekvatora yakın bölgelerde böyle bir santralden daha da fazla elektrik enerjisi üretmek mümkün olacaktır.

Çok yeni olan bu tasarımı daha da geliştirmek şüphe ki mümkün olacaktır. Kollektör çapını ve yatay baca boyu ve çapını küçülterek aynı enerjiyi üretmenin temel prensibi çok kısa mesafelerde yüksek hava ısı farkları dolayısı ile basınç farkları oluşturmaktır. Bunun için kollektör deniz içerisinde uygun bir ada üzerine kurulabilir.

Deniz üzerindeki hava sıcaklığı ile karadaki kollektör üzerinde hava sıcaklık farkı oldukça yüksek olacaktır.12 Ağustos 2013 saat 12:30'da Çeşme Ildırı mevkiinde yapılan ölçümlerde deniz üzerinde gölgede ölçülen hava sıcaklığı 26°C , karada gölgede ölçülen hava sıcaklığının da 31°C olduğu tespit edilmiştir. Karada bir kollektör yapısı oluşturulduğunda bu ısı farkının daha da fazla olacağı muhakkaktır. Farklı bir yaklaşımda santrale hava girişlerinin gölge olan ormanlık bir alandan sağlanması olacaktır. Yatay baca içerisindeki hava hızı ve debisi, baca içerisine yerleştirilecek klepeler ve bu klepelerin rüzgar türbinlerinin devir sayısına göre açılıp kapanması bir servo sistem ile kontrol edilebilecektir

Bu tür farklı tasarımlarla yenilenebilir enerjilerden daha fazla yararlanılacak ve gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakılacaktır.

KAYNAKLAR

- Birsen, F.A., “Güneş Pilleri” Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Ankara, <http://www.balacakir@eie.gov.tr>
- Clean Wind Energy Tower,
<http://www.treehugger.com/wind-technology>
- D, Papageorgiou. Christos, “Floating Solar Chimney Technology” PhD of Imperial College Nymfon 1b Kifissia, 14563 Athens Greece,
<http://www.floatingsolarchimney>
- Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, “Türkiye’nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli”,
<http://www.eie.gov.tr>
- E, Bilgen. J, Rheault., “Solar chimney power plants for high latitudes” *Departement de Genie Mecanique, Ecole Polytechnique*, C.P. 6079, 15 July 2004.
- Güneş Lalesi** ile Hibrit Santral - Solar Tulip - **Elektrik**
- Gün,A.R.,Kurban.M., “Güneş Bacası Sistemlerinin Analizi ve Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi’’,^{6th} *International Advanced Technologies Symposium (IATS’11)*, 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey
- Gün,A.R.,Kurban,M., “Yatay Güneş Bacası Sistemlerinin Analizi ve Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi’’,*Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi (UGHEK2012)*,Eskişehir.
- İbrahim Üçgül.i,Koyun,A., “Güneş Bacası Tasarım Parametreleri ve Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi’’, *Pamukkale Üniv.Müh.Bilimleri dergisi* cilt:16 sf:255-264 sayı:3 2010.
- Koyun.A.,’’Güneş Bacası İle Enerji Üretiminin İncelenmesi’’Doktra Tezi,*Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.Isparta 2006.
- L, Ronald. Jr,Conte . “The Wind From The Sun Power Plant’’ Port St. Lucie, FL 34986, USA,
www.WindfromtheSun.com

KAYNAKLAR

- Neptün,M.,’’Dik ve Eğimli Güneş Bacası Sistemlerinin Teorik Olarak İncelenmesi’’Doktora Tezi.*Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.İzmir 2009.
- Schlaich, J. “Solar Chimney Electricity from the Sun”. Stuttgart, Edition Axel Menges, p.16.(1995).
- Sökmen,H.M.,Erdallı.Y.,’’Güneş Havuzları’’Makine Mühendisleri Odası Dergisi.
- Sriraj RR, “Wind from Sun Power Plant”,2013,
<http://www.seminarpaper.com>
- Üçgül,İ.,Koyun,A.,’’Güneş Bacası Tasarım Parametreleri ve Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi’’, *Pamukkale Üniv.Müh.Bilimleri dergisi*. cilt:16 sayı:3sf:255-264 2010.
- Varghese, B., “Winf from Sun Power Plant”, 2009,
<http://www.dspace.sngce.ac.in/>
- Varınca K. B. & Gönüllü M. T. ,’’Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve BuPotansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine BirAraştırma.’’*UGHEK’2006: I. Ulusal Güneş Ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*2006 , ESOGÜ, ESKİŞEHİR.
- Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü’’Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası’’
<http://www.eie.gov.tr>

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler:

Adı Soyadı : Ali Rıza GÜN
Doğum Yeri ve Tarihi : Bilecik / 1972

Eğitim Durumu:

Lisans Öğrenimi : Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi
Yüksek Lisans Öğrenimi : Bilecik Şeyh Edebali Üni. Müh. Fak. Elektrik Elektronik Mühendisliği
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce
Bilimsel Faaliyetleri :

Uluslararası Sempozyum/Konferans/Kongre Bildirileri

- 1) Gün A. R. ve Kurban M., 2011. Güneş Bacası Sistemlerinin Analizi ve Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi, 6th *International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey.
- 2) Gün A. R. ve PEHLİVAN İ., "Tigan(T) Kaotik sisteminin Elektronik Devre Gerçeklemesi ve Senkronizasyon Uygulamaları", 6th *International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey.
- 3) Gün, A. R. ve Kurban, M., 2011. Generation of Electrical Energy using Municipal Water Pipe Line, *International Conference on Energy Systems and Technologies (ICEST2011)*, Cairo, Egypt, 14-17 Feb. 2011.
- 4) Gün, A. R. ve Kurban, M., 2010. Bilecik İli İçme Suyu Boru Hattı Kullanılarak Elektrik Enerjisi Üretim Analizi, *ISTEC2010-International Science and Technology Conference*, Turkish Republic of Northern Cyprus. 27-29 Oct. 2010

Ulusal Sempozyum/Konferans/Kongre Bildirileri

- 1) Gün A. R., Bakkal N. ve Kurban M., 2007. Elektrikle Yapılan Çalışmalarda İş Güvenliğinin Sağlanması, Ulusal Teknik Eğitim, Mühendislik ve Eğitim Bilimleri Genç Araştırmacılar Sempozyumu, Kocaeli, 20-22 Haziran 2007.
- 2) Gün A. R., Menek O. ve Kurban M., 2007. Elektrik - Elektronik Teknolojilerinde Sayısal Tasarımın Önemi ve Pratik Uygulaması, IV. Ulusal Meslek Yüksekokulları Sempozyumu, Bergama-İzmir, 14-16 Mayıs 2007.
- 3) Gün,A.R.,Kurban,M., “Yatay Güneş Bacası Sistemlerinin Analizi ve Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi’’*Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi (UGHEK2012)*,Eskişehir.
- 4) Gün,A.R., Kurban.M., “Yatay Güneş Bacası Sistemlerinin Bilecik Uygulaması’’,*Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu (YEKSEM 2013)*, 4-6 Ekim 2013 K.K.T.C

Poster sunum

- 1) Gün,A.R.,Kurban,M., “Güneş Enerjisi İçeren Hibrit Enerji Sistem Uygulamaları’’*Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi (UGHEK2012)*,Eskişehir.

İş Deneyimi:

Çalıştığı Kurumlar :Milli Eğitim Bakanlığı, Anadolu Üniversitesi, BilecikŞeyh Edebali Üniversitesi

İletişim Bilgileri:

Adres :Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Meslek Yüksekokulu, 11210 - BİLECİK

Tel : 0 228 216 00 61

E-Posta Adresi : aliriza.gun@bilecik.edu.tr

03.10.2013

İmza