

**GÜNEŞ ENERJİSİ KULLANIMINDA SODYUM SIVILI GÜNEŞ  
PANELLERİNİN İNCELENMESİ**

**Pamukkale Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi  
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Emin Hülagü YARKAN**

**Danışman: Prof. Dr. Mehmet ATILGAN**

**Ocak 2006  
DENİZLİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU**

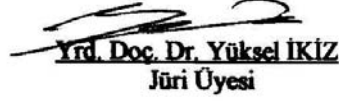
Emin Hülagü YARKAN tarafından Prof. Dr. Mehmet ATILGAN yönetiminde hazırlanan “Güneş Enerjisi Kullanımında Sodyum Sıvılı Güneş Panellerinin İncelenmesi” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir



**Prof. Dr. Mehmet ATILGAN**  
Jüri Başkanı (Danışman)



**Prof. Dr. Rasim KARABACAK**  
Jüri Üyesi



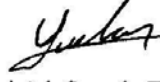
**Yrd. Doç. Dr. Yüksel İKİZ**  
Jüri Üyesi

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
.../.../..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

**Prof. Dr. Mehmet Ali SARIGÖL**  
Müdür

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırılmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.

İmza:



Öğrenci Adı Soyadı: Emin Hülagü YARKAN

## ÖZET

# GÜNEŞ ENERJİSİ KULLANIMINDA SODYUM SIVILI GÜNEŞ PANELLERİNİN İNCELENMESİ

Yarkan, Emin Hülügü  
Yüksek Lisans Tezi, Makina Mühendisliği ABD  
Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Mehmet ATILGAN

Ocak 2006, 51 Sayfa

Bu çalışmada, öncelikle güneş enerjisi uygulamaları ve tarihsel gelişimden bahsedilmiştir. Daha sonra, Türkiye'nin enerji kaynakları potansiyeli, elektrik enerjisi üretimi ve tüketimi ile sektörel dağılımı, kurulu güç ve talep ile ilgili tahminler, birincil enerji kaynakları üretim hedefleri ve 1990-2003 yılları arasındaki birincil enerji üretim ve tüketimleri tablolar halinde verilmiştir.

Güneş enerjisi yüksek sıcaklık uygulamaları ve güneş kuleleri hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. Son olarak, merkezi alıcılı güneş enerjisi güç santralleri ile ilgili bir hesaplama örneği sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş Enerjisi, Sodyum Sıvılı Güneş Kuleleri, Merkezi Alıcılar.

Prof. Dr. Mehmet ATILGAN  
Prof. Dr. Rasim KARABACAK  
Yard. Doç. Dr. Yüksel İKİZ

## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF MOLTEN SODIUM SALT SOLAR PANELS IN SOLAR ENERGY USAGE

Yarkan, Emin Hülügü  
M.Sc. Thesis in Mechanical Engineering  
Supervisor: Prof. Dr. Mehmet ATILGAN

January 2006, 51 Pages

In this study; firstly, it has been mentioned about some applications and historical development of solar energy. Thereafter, potential of energy sources, energy productions, consumptions and sectorial distribution, future projections of installed power capacity in Turkey; and also targets of primary energy productions and demands, and energy productions and consumptions of Turkey between the years of 1990-2003 have been presented.

Meanwhile, it has been given some detailed knowledge about high temperature solar energy applications and solar towers. Finally, it has been explained and a sample solution which is related with a central receiver power plant..

**Keywords:** Solar energy, Molten Sodium Salt Solar Towers, Central Receivers.

Prof. Dr. Mehmet ATILGAN  
Prof. Dr. Rasim KARABACAK  
Asst. Prof. Dr. Yüksel İKİZ

## TEŞEKKÜR

Tez çalışması sırasında babamın vefatı ve yaşadığım bir çok zorluklardan kaynaklı yaşanan sorunlarda ve bu tez çalışmasında bana göstermiş olduğu destek, sabır ve yardımlarından dolayı sayın hocam Prof.Dr. Mehmet ATILGAN'a; Araş.Gör. Öner ATALAY'a ve Araş.Gör. Ahmet YILANCI' ya teşekkürü bir borç bilirim.

15-Aralık-2005

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
Yüksek Lisans Tez Onay Formu .....	i
Bilimsel Etik Sayfası .....	ii
Özet .....	iii
Abstract .....	iv
Teşekkür .....	v
İçindekiler .....	vi
Şekiller dizini .....	viii
Tablolar dizini .....	ix
Kısaltmalar dizini .....	x
1. GİRİŞ .....	1
2. GÜNEŞ ENERJİSİ .....	3
2.1 Güneş Enerjisinin Tarihi Gelişimi .....	3
3. DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE GÜNEŞ ENERJİSİ .....	8
3.1 Türkiye'de Enerji ve Üretim Alanları .....	8
3.1.1. Türkiye'nin enerji üretimi ve ihtiyaç miktarları .....	8
3.2 Dünyada Güneş Enerjisi ve Uygulanma Alanları .....	16
3.2.1 Amerika'daki güneş enerjisi araştırmaları .....	16
3.3. Güneş Enerjisi Isıl Uygulamaları .....	19
3.3.1. Odaklamalı ve odaklamasız orta ve yüksek sıcaklık güneş enerjisi ısıl uygulamaları .....	19
3.3.1.1. Çanak / Stirling sistemi .....	19
3.3.1.2. Güneş bacası sistemi .....	20
3.3.1.3. Silindirik-parabolik yoğunlaştırıcı .....	20
3.4. Sodyum Sıvılı Güneş Enerjisi Sistemleri .....	22
3.4.1 Erimiş sodyum sıvılı parabolik toplayıcı sistem .....	22
3.4.2 Erimiş sodyum sıvılı güneş güç kulesi sistemi .....	25
3.4.2.1 Sistem tanımı .....	27
3.4.3.2 Uygulamalar .....	29
3.4.3.3. Solar One .....	30
3.4.3.4. Solar Two .....	30
3.5. Güneş Güç Kulesi Kurma Çalışması .....	33
3.5.1. Güneş enerjisi potansiyeli .....	34
3.5.2. Tesisin kurulumu .....	37
3.5.2.1 Silindirik alıcı .....	37
3.5.2.2 Başlangıç sistem uygulamaları .....	37
3.5.3 Sistemin yararları-enerji depolaması .....	39
3.5.4 Tuz eriyiği .....	40
3.5.5 Heliostatlar .....	40
3.5.6 Çevresel etkileri .....	41
4. ÖRNEK TESİSLER VE HESABI .....	42
4.1. Merkezi Toplayıcı Güç Santrali .....	42

4.2. Örnek Tesis Hesabı.....	44
5.SONUÇ.....	49
Kaynaklar.....	50
Ekler.....	51



## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Mouchout'un yatığı ilk güneş kolektörü.....	4
Şekil 2.2. İlk büyük çaplı parabolik yansıtıcı güneş enerjisi tesisi.....	6
Şekil 2.3. 1911 deki çanak tipi yansıtıcı.....	7
Şekil 3.1. Amerika ve komşu ülkeleri ile ortak çalışma yapan kurumlar.....	16
Şekil 3.2. Amerika'daki ölçüm istasyonlarının yer haritası.....	17
Şekil 3.3. Amerikanın kuzey-güney aksındaki güneş enerjisi haritası.....	18
Şekil 3.4. Amerikanın kuzey-güney aksındaki güneş enerjisi haritası.....	18
Şekil 3.5. Çanak/Stirling sisteminin parçaları.....	19
Şekil 3.6. Güneş bacasının şematığı.....	20
Şekil 3.7. Silindirik-parabolik yoğunlaştırıcı temel prensibi.....	21
Şekil 3.8. Silindirik-parabolik yoğunlaştırıcı toplu çalışma sistemi.....	21
Şekil 3.9. Parabolik tip güneş enerjisi dönüştürme tesisi.....	24
Şekil 3.10. Transfer tüpünün şekli.....	25
Şekil 3.11. Solar Two güneş güç kulesi sistemi/erimiş sıcak tuz karışımı.....	26
Şekil 3.12. Solar Two güneş güç kulesi sistemine ait soğuk sıcak tuz eriyiği depoları.....	26
Şekil 3.13. Tuz eriyikli güç kulesi şematığı.....	28
Şekil 3.14. Peak noktası grafiği.....	28
Şekil 3.15. Tuz eriyiği pompaları.....	32
Şekil 3.16. Tuz eriyiği depolama tankları.....	32
Şekil 3.17. Solar Two'ya ait sıcak depolama tankının soğuması.....	33
Şekil 3.18. Güneş enerjisi haritası.....	34
Şekil 3.19. Alıcının yukarıdan görünüşü.....	37
Şekil 3.20. Bir hibrid tesise ait kuramsal bir güç profili.....	38
Şekil 3.21. Bir güneş güç kulesinde, tesis tasarımı farklı kapasite faktörleri uygulanarak yapılabilir.....	39
Şekil 3.22. m <sup>2</sup> 'ye yıllık yapılan birim maliyet (www.solarpaces.org).....	41
Şekil 4.1. Merkezi toplayıcı güç tesisi.....	42
Şekil 4.2. Güneş merkez toplayıcı buhar güç tesisi.....	45

## TABLOLAR DİZİNİ

### Sayfa

Tablo 3.1. Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelleri.....	8
Tablo 3.2. Elektrik enerjisi kurulu güç kapasitesi gelişimi (MW).....	9
Tablo 3.3. Türkiye kurulu gücünün yıllar itibariyle gelişimi (MW).....	10
Tablo 3.4. Elektrik enerjisi tüketiminin sektörlere dağılımı (Milyon kWh).....	11
Tablo 3.5. Türkiye elektrik enerjisi bilançosu.....	11
Tablo 3.6. Uzun dönemde kurulu güç kapasitesi gelişimi (MW).....	12
Tablo 3.7. Uzun dönemli elektrik enerjisi talebi (Milyon kWh).....	12
Tablo 3.8. Türkiye'de yerli birincil enerji üretim hedefleri (Btep).....	13
Tablo 3.9. Türkiye'nin 1990 yılından 2003 yılına kadar olan enerji kaynakları üretimi.....	14
Tablo 3.10. Türkiye'nin 1990 yılından 2003 yılına kadar olan enerji kaynakları tüketimi.....	15
Tablo 3.11. Odaklı sistemler ve güneş bacası için bazı parametreler.....	22
Tablo 3.12. Kaliforniya'daki SEGS I-IX güç tesislerinin teknik bilgileri.....	23
Tablo 3.13. Güç kulelerinin karşılaştırılması .....	29
Tablo 3.14. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli.....	35
Tablo 3.15. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı.....	35
Tablo 3.16. Enerji depolama sistemlerinin karşılaştırılması.....	39

**KISALTMALAR DİZİNİ**

APK: Araştırma, Planlama ve Koordinasyon Kurulu

Btep: Bin ton petrol eşdeğeri

ETKB: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı

GWh: Gigawatt-saat ( $1W \times 10^9$ )

kWh: Kilowatt-saat ( $1W \times 10^3$ )

Mt: Milyon ton

Mtep: Milyon ton petrol eşdeğeri

MW: Megawatt ( $1W \times 10^6$ )

ENE.BİL.: Enerji bilançosu

## 1. GİRİŞ

Sanayi sektörü 19. yüzyılın sonlarında ileri bir hamle yaparak, makineleşmeyi zorlamış ve bunun sonucu olarak enerjide büyük bir talep yaratmıştır. Özellikle 1950-1973 yılları arasında sabit seyreden petrol fiyatları nedeniyle, bu enerji talebi petrolden karşılanmıştır. Fakat 1972’de 2,5 \$ olan bir varil petrol, 1974’de 11 \$’a, 1980’de de 30\$’a çıkmış ve bu olay politik bir baskı unsuru olarak da kullanılmıştır. Petroldeki bu tırmanış günümüzde de sürdürülmekte olup bugün 65 \$ civarındaki bir varil petrol yakın gelecekte 70 \$ civarına çıkacağı tahmin edilmektedir. 1973’deki petrol krizi dolayısıyla meydana gelen gelişmeler dünya ekonomisini derin bir şekilde etkilemiştir. Bir yandan dünya nüfusundaki hızlı artış ve öte yandan da ülkelerin daha hızlı bir kalkınmayı arzulamaları sonucu; artan enerji talebine paralel olarak çevre kirlenmesi gibi bir takım konuları güncel konu haline getirmiştir. Bu nedenle, *ucuz ve bol enerji*’ye dayanan ekonomiden *pahalı, çevresel, teknolojik ve sosyo-ekonomik sorunları* da beraberinde getiren yeni bir enerji dönemine geçilmiş ve bu süreç hala yaşanmaktadır.

Gelişmiş ve sağlam bir ekonomik yapıya sahip olan ülkeler bir yandan ekonomilerinde gerekli bazı yapısal değişiklikler yaparak ve öte yandan da uluslar arası organizasyonlar kurarak enerji sorunlarını hep birlikte çözüm aramışlar ve bazı planlar geliştirerek gerekli önlemleri almışlardır. Daha da ileriye giderek enerji tasarrufuna önem vermek suretiyle petroldeki tüketimi asgari düzeyde tutmuşlardır.

Zengin petrol kaynaklarına sahip ülkeler hem mali hem de politik üstünlükler kazanırken, yeterli enerji kaynağına sahip olmayan ülkeler ekonomik yönden büyük darboğazlara itilmişlerdir. Dolayısıyla bu ülkelerin petrole ödedikleri döviz her yıl artmış ve sanayi mamüllerinde o nispette pahalıya satın almalarına neden olmuştur. Bu durum; hızlı kalkınma isteğinde olan ülkelerin kalkınmasına aksi yönde tesir etmiş ve bu etki hala devam etmektedir. Bütün bu gelişmeler; sanayici işadamları, sektör firmaları ve hükümetlerin diğer enerji kaynaklarından yararlanma yollarını araştırmaya yönlendirmiştir.

Bilindiği gibi enerjinin ana kaynağı güneştir. Bu kaynaktan ya doğrudan ya da dolaylı olarak yararlanılır. Dolaylı olarak yararlanmada; rüzgar, gel-git, hidrolik, dalga ve termik ısı farkı gibi dönüşümlerle gerçekleşirken, doğrudan güneş enerjisi kullanımı ise başlangıçta düzlemsel toplayıcılarla banyo ve mutfak sıcak su ihtiyaçlarımızı karşılama şeklinde olmuştur. Daha sonraları bu çalışmalar yoğun toplayıcılar üzerinde yoğunlaşmış ve daha yüksek sıcaklıklara erişmek için yeni teknolojiler geliştirilmiştir.

Bu çalışmada ise; büyük bir alana yayılmış yüzlerce aynadan ibaret olan heliostat denilen sistemin oluşturduğu kuleli toplayıcı sisteminin üzerindeki merkezi alıcıya ışınların yoğunlaştırılması prensibi üzerinde durulacaktır. Buradaki aynalar gerçekte yoğun bir toplayıcı bir geometrisini oluşturmakta ve bunun odağında da bir merkezi alıcı bulunmaktadır. Bu sistemlerde yoğunlaştırıcıların geometrisi parabolik veya küreseldir. Buradaki sıcaklıklar 1000 °C'ye kadar çıkabilmektedir. Sistemde alıcıda ya metal tuzları(sodyum eriyiği gibi) veya su-su buharı kullanılmaktadır. Bu sistemlerde Rankine veya Brayton çevrimleri kullanılmaktadır (Kreider 1979). İleri teknoloji ürünü olan bu sistemler; yüksek güç kapasitelerinde tesis edilmelerine rağmen hala günümüzde deneysel amaçlı olarak kullanılmaktadır. Fakat ürettiği enerjileri de ulusal şebekeye taşımaktadırlar. Bu konudaki çalışmalar genellikle ABD, Japonya, Fransa ve İtalya gibi ülkelerde sürdürülmektedir (Hsieh 1986).

Bu çalışmada ayrıca 50 MW'lık örnek bir sistemin hesap yöntemi tanıtılmıştır. Bu sistemde dolaşan sıvı ergimiş sodyum olup alçak ve yüksek sıcaklık olmak üzere iki kademedir oluşmaktadır.

Bu sistemlerde bir takım zorluklarla karşılaşmaktadır. Bunlardan en önemlisi yüksek sıcaklık ve basınca dayanıklı malzeme ve diğeri ise çevrimde kullanılan sodyum ve benzeri maddelerin zarar verici etkileridir (Hsieh 1986).

## 2. GÜNEŞ ENERJİSİ

### 2.1. Güneş Enerjisinin Tarihi Gelişimi

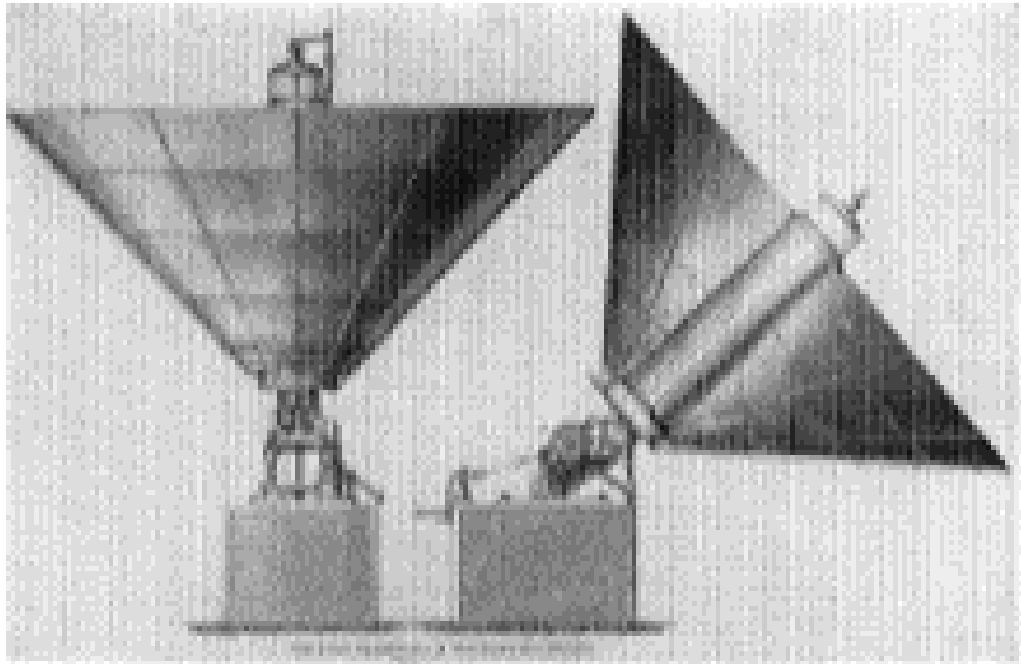
Güneşten pasif yararlanma yazılı tarihinden önceye dayanmaktadır. Bilinen ilk faydalanma şekli eski Mısırda evlerini gündüz güneş ışığından aldığı ısıyı gece geç kaybetmesini sağlayacak mimariler geliştirmektir, ayrıca meyve kurutmada yine güneşten faydalanılıyordu. M.Ö. 3. yüzyıla gelindiğinde ise Roma Yunan savaşında Arşimet'in yaptığı yansıtıcı aynalar ile gelen Roma gemilerinin karaya çıkmadan yanmasını sağladı. Bu kayıtlı ilk güneş reflektörleridir. M.S. 100. yılda ise İtalya'da Genç Pliny isimli bir kişi mimaride güneşi kullanarak mikadan yaptığı camlı bir odaya güneş ışığı yardımıyla daha az odun ateşiyle ısıtılmasını sağladı. Eski Roma'da ise Justinyen kanunu ile kamu ve özel binalarda ilk kez güneş odaları yapılması zorunlu hale getirildi (Meinel ve Meinel 1979).

Aradan binyıldan fazla bir süre geçtikten sonra 1767 yılında ilk güneş kolektörü İsveç bilim adamı Horace de Saussure tarafından yapıldı. 1839 yılına gelindiğinde Fransız bilim adamı Edmand Becquere photoelektirik etkiyi buldu. 1880 yılında ise ilk defa selenyumdan yapılmış fotovoltajik(PV) hücre geliştirildi %1 civarında bir kazanımı sağladı ve ilk güneş enerjisi yardımıyla çalışan motorun patenti alındı. 1891 yılında Amerika'da güneş enerjisinin babası olarak kabul edilen Clarence Kemp genel kullanım amaçlı ilk güneş su ısıtıcısının patentini aldı. 1908 yılında Willam J. Bailey bir şirket kurarak bakır çanaklı ve koruma kutulu sistemi yaptı. 1954 yılında ise Bell Laboratuvarları tarafından ilk silikon PV pili geliştirildi. İlk başlarda %4 verimle çalışan sistem daha sonra %11 verime kadar çıkarılacaktı. 1958 yılında ise ilk defa bir uyduya elektrik sağlanması için güneş hücreleri kullanıldı.

Yakın tarihte ilk bilimsel çalışmalar 19. yüzyılın ikinci yarısında 1860 yılında Fransa'da başlamıştır. Auguste Mouchout isimli bilim adamı güneş enerjisi üzerine çalışmalara başlamıştır. Mouchout 1880 yılında ilk defa güneş enerjisi yardımı ile çalışan motorun patentini aldı. Fransa'da kömürle çalışan buhar makineli fabrikaların

Fransa'ya kömür gelişinin azalması ve pahalılaşması ile alternatif seçeneklere ihtiyaç duyuldu. Modern açıdan ilk güneş enerjisi buhar makinelerinin çalıştırılması için kullanıldı. Mouchout' un yaptığı ilk sistemlerde gelen güneş ışınları demirle çevrili bir kapalı cam kabın içine girip suyun ısınması sağlıyordu buda buhar elde edilmesine imkân veriyordu. Ama elde edilen buhar basıncı çok düşüktü. Daha sonra 1865'te yansıtıcı yüzey ile gelen güneş ışınlarını odaklamayı başardı bunun yardımıyla elde edilen buhar miktarı arttı.

Mouchout yapmış olduğu sistemi Paris'teki imparator III. Napolyon'a gösterdi. Bu sayede imparatorun endüstride kullanılabilecek tipte bir sistem yapabilmesi için parasal destek almayı başardı. Böylece tasarımını yeniden gözden geçirip çanak tipi toplayıcıları ortaya çıkardı; bu sayede gelen güneş ışığı yoğunlaştırılmış oldu. Diğer taraftan güneş enerjisinden sürekli yararlanabilmek için güneşi, doğu-batı ve kuzey-güney istikametinde izleyebilen sistemi geliştirdi. 1872'de yani altı yıl sonra ilk makinesini evinin arka bahçesinde sergiledi. Sistem gümüş rengi bir çanaktan ve bu çanağın ortasında bulunan ve içinde su olan bir tüpten oluşuyordu (Şekil 2.1).



**Şekil 2.1** Mouchout'un yaptığı ilk güneş kolektörü (Meinel ve Meinel 1979)

Anixious güneş motoru sistemine bir su pompası bağlayarak ilk kullanımını yaptı. Sistem 1,5 BG güce sahipti Mouchout elde ettiği sonuçları Fransız bilim akademisine gönderdi. Bu sistemi inceleyen akademi, sistemin Fransa'nın kömürün pahalı ve iklim

yapısı olarak bol güneş alan sömürgelerinde deneme ve uygulamasının yapılmasını kabul etti. Mouchout bunun üzerine Fransa'nın sömürgelerine gitti. Oralarda daha büyük ve birden çok tüp içeren bir sistem geliştirdi. Bu sistemin kapasitesi 100 litre olarak yapılmıştı. 1878 yılında Mouchout buhar gücüyle soğutma sistemi yapılabileceğini gösterdi. Bu yaptığı sistem sayesinde madalya ile ödüllendirildi. 1881 yılında kömür ihtiyacı krizinin İngiltere'yle yapılan anlaşma sonucu aşılması sağlandı. Bu durumda; Mouchout'a verilen ödeneğin kesilmesine neden oldu ve güneş ışınlarından faydalanarak yapılan çalışmalar da sona erdi. Bu zamana kadar Fransa'nın güneyinde yer alan Montpellier'de 900 tane toplayıcı inşa edilmişti. Mouchout'ta bu durum karşısında akademiye geri döndü. 1885'te Charles Tellier isimli mühendis daha ucuz ve daha büyük bir sistem kurmayı başardı. Bu sistemde güneşli bir günde saate 1.150 litre su pompalayabiliyordu. Aynı sistemi daha ucuz ve daha birleştirerek Mouchout'ın bulunduğu soğutma sistemine uygulayarak Güney Afrika'da kullandı (Meinel ve Meinel 1979).

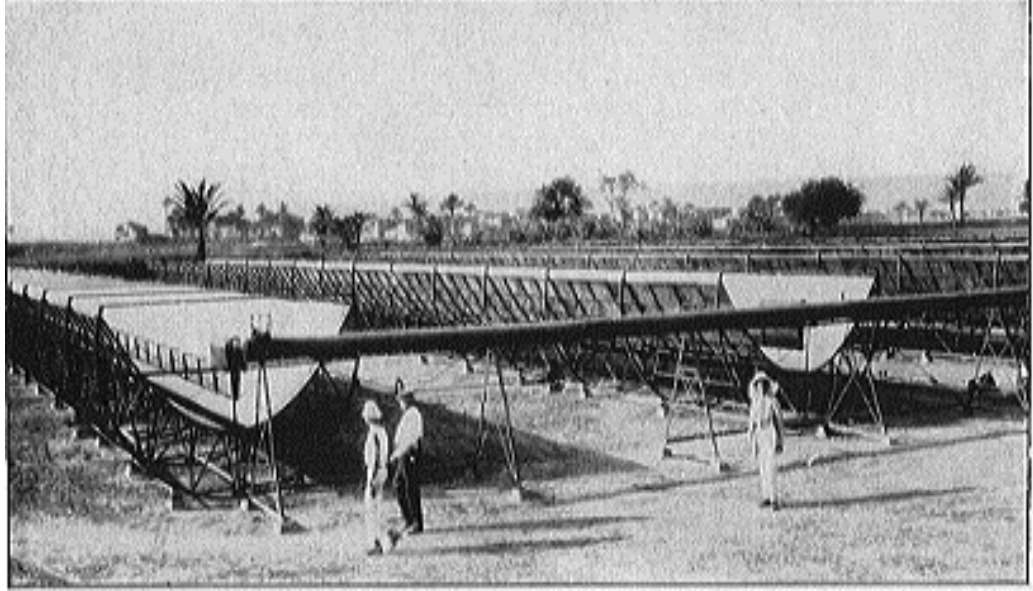
İngiliz William Adams aynı zamanda Hindistan da daha farklı bir sistem üzerinde çalışıyordu. Güneş güç kulesi sisteminin temelleri olan bu sistem yaptığı hesaplara göre aynaların odaklanma noktasında 649 °C'lik sıcaklık elde ediliyordu. Sistem 43,18 cm ve 25,40 cm boyutlarında 72 adet aynadan oluşan bir yapıya sahipti. İlk olarak kurulan bu güneş güç kulesi sisteminin bir su dolu kapalı kaba odaklanmasıyla elde edilen güç 2,5 BG'ne eşitti. Bugün yapılan güneş güç kulesi sistemleri temel ilke olarak bu sistemi örnek almıştır.

İsveç asıllı olan John Ericsson Amerika'nın tarihinde önemli yeri olan bir kişidir. Amerika iç savaşında yeni tip silahların geliştirilmesinde önemli rol almıştır, aynı zamanda dünyanın ilk zırhlı gemilerinden olan Monitor'u yapmıştır. 1870'de güneş enerjisiyle çalışan buhar makinesini de yaptı. Bu sistem diğerlerinden farklı olarak parabolik aynalı bir sistemdi (Şekil 2.2). Bu sistemde yansıtıcı yüzeyin odak noktasında uzun bir boru vardı bu boru buhar makinesine bağlıydı ve sistem sorunsuz çalışıyordu. Yansıtıcı yüzeyin şekil farkının dışında hareket farklılığı da vardı. Yansıtıcı sadece aşağı ve yukarı hareket ediyordu. 1888'de ise sistemi daha hafif ve kolay kurulabilir hale getirdi. Bilgilerini sakladığı için ölümünden sonra hepsi kayboldu.

İlk büyük çaplı kullanım 1900'lerin başında kuruldu. Bu amaçla kurulan ilk şirket ise The Solar Motor Co.(1982) oldu. Yapılan sistem çanak tip yansıtıcıydı. Çanak çapı



10,06 m ve 1788 adet aynadan oluşuyordu, merkezdeki su haznesi ise 3,96 m uzunluğunda olup aynı zamanda 378 litre su tutuyordu. Bu sistem dakikada 5.300 litre su pompalamayı sağlayan bir buhar makinesini çalıştırıyordu.

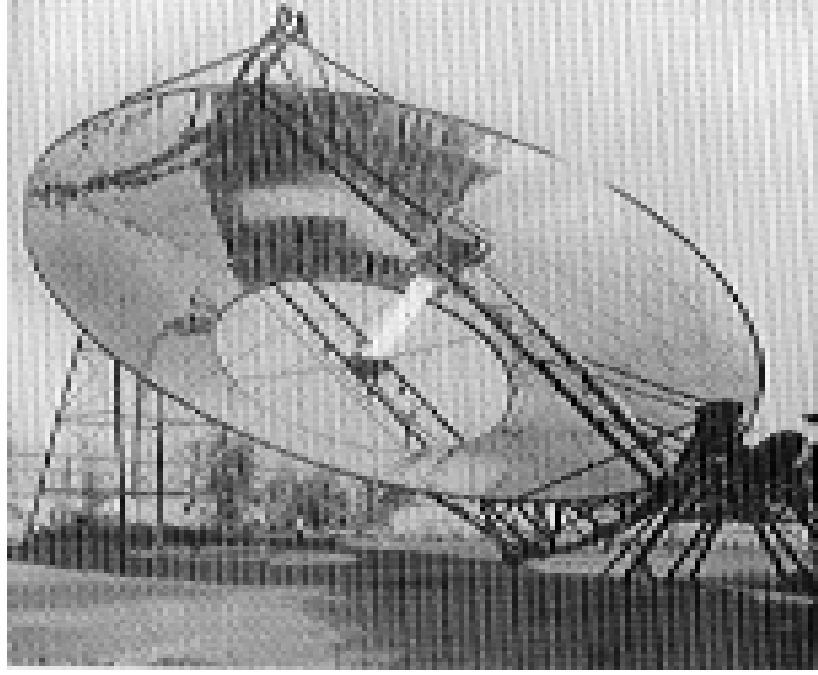


**Şekil 2.2** İlk büyük çaplı parabolik yansıtıcı güneş enerjisi tesisi (Meinel ve Meinel 1979)

Henry E. Willsie ilk kez 1904'te gün batımından sonrada belli bir süre çalışabilen bir sistem geliştirmeyi başardı. Sistem sülfür dioksit gazı yardımıyla çalışan bir yapıya sahipti. İki tane 6 ve 15 BG'ne sahip tesis inşa etti.

1901 yılında yapılan güneş enerjisi sistemi(Şekil 2.3) 33 BG değerindeydi ve dakikada 11.358,71 litre suyu pompalamaktaydı. Aynı sistemin gücü 1912 de %33 artırarak 55 BG değerine çıkarttı.

1860 ile 1914 yılları arasında geçen sürede güneş enerjisi alanında elliden fazla patent alındı. 1914 yılından sonra güneş enerjisiyle ilgili çalışmalar elli yıllık bir duraklama yaşadı. 1970 yılında yaşanan petrol krizi ve nükleer kirlilik nedeniyle yeniden temiz enerji gündeme geldi. İlk endüstriyel tip enerji üretimi 1984 yılında Los Angeles'ta kuruldu kurulan parabolik aynalı sistem bir dizi halinde olup toplam dokuz tanedir ve 354 MW bir güç üretimi sağlamaktadır. 1990'lı yıllarda biri 10 MW'lık Kaliforniya'da, diğeri de 30 MW'lık Ürdün'de olmak üzere iki adet güneş güç kulesi sistemi kuruldu.



**Şekil 2.3** 1901 deki çanak tipi yansıtıcı (Meinel ve Meinel 1979)

### 3. DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE GÜNEŞ ENERJİSİ

#### 3.1. Türkiye'de Enerji ve Üretim Alanları

##### 3.1.1. Türkiye'nin enerji üretimi ve ihtiyaç miktarları

Aşağıda verilen tablonun içeriğinde de belirtildiği üzere brüt, teknik ve kullanılabilir türüne göre enerji potansiyelleri verilmektedir. Tablo 3.1 dikkatlice incelendiğinde görülüyor ki Türkiye'nin yenilenebilir enerjiler arasında en bol olanı güneş enerjisi olarak görünmektedir. Sıralamaya konulacak olursa güneş enerjisi, hidrolik enerji ve jeotermal enerji gelmektedir. Bu tablodan da anlaşılacağı gibi güneş enerjisi en çok kullanılabilir enerji çeşididir.

**Tablo 3.1** Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelleri (TEAŞ-APK 2000)

KAYNAKLAR	Brüt	Teknik	Ekonomik (kullanılabilir)
Hidrolik Enerji			
(MW)	107.500	53.750	34.862
(milyar kWh/yıl)	430	215	124,5
Jeotermal Enerji			
Isı (MW)	31.500	7.500	2.843
(Mtep/yıl)	-	5,4	1,8
Elektrik (MW)	4.500	500	350
(milyar kWh/yıl)	-	-	1,4
Güneş Enerjisi			
Isı + Elektrik (MW)	111.500.000	1.400.000	116.000
(milyar kWh/yıl)	977.000	6.105	305
(Mtep/yıl)	80.000	500	25
Rüzgâr Enerjisi			
Elektrik (MW)	220.000	55.000	20.000
(milyar kWh/yıl)	400	110	50
Klasik Biomas Enerji			
Yakıt (Mtep/yıl)	30	10	7
Modern Biomas			
Yakıt (Mtep/yıl)	90	40	25

Tablo 3.2.'den görüldüğü gibi 1998 yılında Türkiye Kurulu gücü 23.352 MW'a ulaşmıştır ve bu gücün 13.045 MW'ı (%56) termik, 10.307 MW'ı ise (%44) hidrolik kaynaklar oluşturmaktadır. Türkiye'nin Kurulu gücü 1999 yılı sonunda 26.116,8 MW'a ulaşmıştır. Bu gücün, 15.555,9 MW ile %59,6'sını termik, 10.537,2 MW ile %40,3'ünü hidrolik, 23,7 MW ile %0,1'ini jeotermal ve rüzgâr santralleri oluşturmaktadır (Atılğan, 2000).

Tablo 3.2.'den de anlaşılacağı gibi TEAŞ'ın vermiş olduğu bilgilerin içerisinde güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesiyle ilgili bir bilgi yer almamaktadır. Güneş enerjisinden 1990 ve 1998 yılları arasında hiçbir şekilde endüstriyel boyutta faydalanma yapılmamıştır.

**Tablo 3.2** Elektrik enerjisi kurulu güç kapasitesi gelişimi (MW) (TEAŞ-APK 2000)

<b>ENERJİ TÜRÜ/YIL</b>	1990	%	1995	%	1996	%	1997	%	1998	%
Taşkömürü	332	2,0	326	1,5	341	1,6	335	1,5	335	1,4
Linyit	4.896	30,0	6.048	28,9	6.048	28,5	6.048	27,6	6.214	26,6
Petrol	2.098	12,9	1.353	6,4	1.388	6,5	1.409	6,4	1.532	6,6
Doğalgaz	2.210	13,5	2.884	13,8	3.051	14,3	3.490	16,0	4.370	18,7
Jeotermal	15	0,1	15	0,1	15	0,1	15	0,1	15	0,1
Diğer*			463	2,2	469	2,2	489	2,2	579	2,5
<b>Top. Termik</b>	9.551	58,5	11.089	52,9	11.312	53,2	11.787	53,8	13.045	55,9
<b>Top. Hidrolik</b>	6.764	41,5	9.863	47,1	9.935	46,8	10.102	46,2	10.307	44,1
<b>GENEL TOP.</b>	16.315	100	20.952	100	21.247	100	21.889	100	23.352	100

(\*) Odun, odun talaşı, sıvı kükürt, kükürt keki, pirit, rüzgar, atık ve çok yakıtlı santralleri kapsamaktadır.

Kurulu gücün yıllar itibariyle gelişimi Tablo 3.3'de verilmiştir. Bu tabloda jeotermal ve rüzgâr gücünden yararlanma Türkiye'de 1985 yılından sonra başladığı görülmektedir. 12 yıl boyunca kurulu güç aynı kalmış ve 1998 yapılan yeni yatırımlarla %50 oranında artış göstermiştir.

**Tablo 3.3** Türkiye kurulu gücünün yıllar itibariyle gelişimi (TEAŞ-APK 2000)

YIL	TERMİK (MW)	HİDROLİK (MW)	JEOTER.+RÜZ. (MW)	TOPLAM (MW)	YILLIK ARTIŞ %
1963	902,6	478,5	-	1.381,1	-
1965	985,4	505,1	-	1.490,5	3,9
1970	1.509,5	745,4	-	2.234,9	8,4
1975	2.407	1.779,6	-	4.186,6	13,4
1980	2.987,9	2.130,8	-	5.118,7	4,1
1985	5.229,3	3.874,8	15	9.119,1	12,2
1990	9.535,8	6.764,3	15	16.315,1	12,3
1995	1.1074	9.862,8	15	20.951,8	5,1
1996	11.297,1	9.934	15	21.246,9	1,4
1997	11.771,8	10.102,6	15	21.889,4	3
1998	13.021,3	10.306,5	23,7	23.351,5	6,7
1999	15.555,9	10.537,2	23,7	26.116,8	11,8

Tablo 3.4’de verilen elektrik enerjisinin sektörel tüketimi incelendiğinde, 1990 yılında 29.212 milyon kWh ile %62 pay alan sanayi sektörünün, 1998 sonu itibariyle 46.139 milyon kWh’e ulaştığı ancak payının %53 seviyesine indiği gözlenmektedir. Konut ve hizmet sektöründe ise tüketim 16.688 milyon kWh’ den 38.567 milyon kWh’e ulaşırken, payıda aynı şekilde %36’dan %44’e ulaşmıştır. Tarım sektörünün payı %1’den %3’e çıkmış, miktarı ise 2.348 milyon kWh’e ulaşmıştır. Aynı dönemlerde ulaştırma sektöründe önemli bir değişiklik olmamıştır. Kişi başına net elektrik enerjisi tüketimi 1998 sonu itibariyle 1.382 kWh olmuştur.

Elektrik enerjisi üretim, tüketim, ithalat ve ihracat gelişimi Tablo 3.5’te verilmiştir. Bu tablodan da görüleceği üzere bir önceki yıla göre elektrik enerjisinin brüt üretiminde yaklaşık %7,5, net tüketiminde ise yaklaşık %7,4’lük bir artış olmuştur. 1990-1996 yılları arasında net elektrik enerjisi ihracatçısı konumunda olan ülkemiz, 1997 ve 1998 sonu itibariyle ve şu güne kadar da ithalatçı konumunda yer almıştır. Bu arada kişi başına brüt elektrik enerjisi tüketimi 1998 sonu itibariyle 1.797 kWh’e ulaşmıştır.

**Tablo 3.4** Elektrik enerjisi tüketiminin sektörlere dağılımı (TEAŞ-APK 2000)

<b>SEKTÖR/YIL</b>	<b>1990</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>
<b>Sanayi(GWh)</b>	29.212	38.007	40.638	43.491	46.139
<b>Konut ve Hiz.(GWh)</b>	16.688	27.384	31.155	35.778	38.567
<b>Tarım(GWh)</b>	575	1.513	1.825	2.012	2.348
<b>Ulaştırma(GWh)</b>	345	490	539	604	651
<b>Toplam(GWh)</b>	<b>46.820</b>	<b>67.394</b>	<b>74.157</b>	<b>81.885</b>	<b>87.705</b>
<b>Kişi Başına Net Tüketim(kWh)</b>	<b>835</b>	<b>1.112</b>	<b>1.205</b>	<b>1.310</b>	<b>1.382</b>

**Tablo 3.5** Türkiye elektrik enerjisi bilançosu (GWh) (TEAŞ-APK 2000)

<b>ENE. BİL. /YIL</b>	<b>1190</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>
<b>Brüt Üretim</b>	57.543	86.248	94.862	103.296	111.022
<b>İç Tüketim</b>	3.311	4.389	4.777	5.050	5.523
<b>Net Üretim</b>	54.232	81.859	90.085	98.246	105.499
<b>İthalat</b>	176	-	270	2.492	3.299
<b>Brüt Tüketim</b>	54.408	81.859	90.355	100.738	108.798
<b>Şebeke Kaybı</b>	6.680	13.769	15.855	18.582	20.795
<b>İhracat</b>	907	696	343	271	298
<b>Net Tüketim</b>	46.820	67.394	74.157	81.885	87.705
<b>Kişi Baş. Tük. kWh (Brüt)</b>	<b>1.013</b>	<b>1.411</b>	<b>1.540</b>	<b>1.688</b>	<b>1.797</b>

Türkiye'nin 2000–2020 yılları kaynaklar bazında kurulu güç gelişimi Tablo 3.6 'da verilmiştir. Giderek artan talebin karşılanması amacıyla 2020 yılına kadar ülke elektrik sistemine yaklaşık 78.000 MW 'lık bir kapasitenin ilavesi gerekmektedir

**Tablo 3.6** Uzun dönemde kurulu güç kapasitesi gelişimi (MW) (TEAŞ-APK 2000)

<b>ENERJİ TÜRÜ/YIL</b>	<b>2000</b>	<b>%</b>	<b>2005</b>	<b>%</b>	<b>2010</b>	<b>%</b>	<b>2015</b>	<b>%</b>	<b>2020</b>	<b>%</b>
<b>Taşkömürü</b>	555	2	555	1	555	1	1.755	2	1.755	2
<b>İthal Kömür</b>	-	-	1.500	4	3.500	6	6.000	7	10.000	10
<b>Linyit</b>	6.410	23	8.810	22	13.810	23	15.460	19	16.060	15
<b>Petrol</b>	1.614	6	1.614	4	1.614	3	2.214	3	4.614	4
<b>Doğalgaz</b>	7.553	27	13.153	33	19.453	32	26.453	33	34.853	33
<b>Nükleer</b>	-	-	-	-	2.000	3	4.000	5	9.000	9
<b>Yenilenebilir</b>	145	1	145	1	145		145	-	145	-
<b>Top. Termik</b>	<b>16.277</b>	<b>59</b>	<b>25.777</b>	<b>65</b>	<b>41.077</b>	<b>68</b>	<b>56.027</b>	<b>69</b>	<b>76.427</b>	<b>73</b>
<b>Top. Hidrolik</b>	<b>11.123</b>	<b>41</b>	<b>14.119</b>	<b>35</b>	<b>19.413</b>	<b>32</b>	<b>25.139</b>	<b>31</b>	<b>28.466</b>	<b>27</b>
<b>GENEL TOP.</b>	<b>27.400</b>	<b>100</b>	<b>39.896</b>	<b>100</b>	<b>60.490</b>	<b>100</b>	<b>81.166</b>	<b>100</b>	<b>104.893</b>	<b>100</b>

Türkiye'nin uzun dönemli elektrik enerjisi talebine bakıldığında Tablo 3.7'de görüldüğü üzere, 2000 yılında yaklaşık 126,8 milyar kWh elektrik enerjisi talebinin, yıllık ortalama %7,7 artışla 2020 yılında 555,7 milyar kWh'e ulaşması beklenmektedir. 2000 yılında net elektrik enerjisi talebinde yaklaşık 53 milyar kWh ile %53 pay alan sanayi sektörü; 2020 yılında %61'lik pay ile 295 milyar kWh'e ulaşması, konut ve hizmet sektörünün ise 2000 yılında yaklaşık 43 milyar kWh'ten (%43), 2020 yılında da 176 milyar kWh'e (%36) ulaşması beklenmektedir.

**Tablo 3.7** Uzun dönemli elektrik enerjisi talebi (GWh) (TEAŞ-APK 2000)

<b>SEKTÖR /YIL</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
<b>SANAYİ</b>	52.728	86.891	143.925	206.355	295.161
<b>KONUT VE HİZ.</b>	42.518	69.616	99.326	132.138	175.790
<b>TARIM</b>	2.670	3.318	4.428	5.595	7.069
<b>ULAŞTIRMA</b>	989	1.779	2.663	3.807	5.442
<b>NET TALEP</b>	98.905	161.604	250.342	347.895	483.462
<b>BRÜT TALEP</b>	126.800	196.610	294.530	404.560	555.690
<b>KİŞİ BAŞ. TÜK. kWh(Brüt)</b>	1.941	2.816	3.974	5.196	6.794

Tablo 3.8’de ise, 2000-2025 yılları aralığında Türkiye’de yerli birincil enerji üretim hedefleri belirtilmiştir. Bu tabloda, ileriye dönük yıllara göre enerji üretim hedeflerimiz ve enerji ihtiyacına göre enerji açığımız belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Tablodaki verilen değerler bin ton petrol eşdeğeri (Btep) olarak verilmiştir. Tablodan görülebildiği; enerji ihtiyacı hızla artış gösterirken enerji açığı o nispette artış göstermektedir.

**Tablo 3.8** Türkiye’de yerli birincil enerji üretim hedefleri (Btep) (TEAŞ-APK 2000)

<b>ENERJİ TÜRÜ/ YIL</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2025</b>
<b>Kömür</b>	16.151	19.066	28.226	28.580	36.601	40.752
<b>Petrol-D.gaz</b>	3.408	2.127	1.314	877	628	330
<b>Hidrolik</b>	3.763	5.422	7.344	8.526	8.919	9.301
<b>Nükleer</b>	0	0	3.657	9.143	18.286	29.200
<b>Jeotermal</b>	432	1.380	3.760	4.860	4.860	5.400
<b>Güneş</b>	287	716	1.458	2.514	3.882	5.564
<b>Rüzgar</b>	58	260	629	995	1.519	2.167
<b>Deniz Dalga</b>	0	0	10	25	125	175
<b>Biyomas</b>	6,963	7,057	7.158	7.268	7.381	7,479
<b>TOPLAM</b>	<b>31.062</b>	<b>36.028</b>	<b>53.556</b>	<b>62.788</b>	<b>82.201</b>	<b>100.368</b>
<b>Enerji İhtiyacı</b>	<b>91.030</b>	<b>124.748</b>	<b>175.074</b>	<b>233.296</b>	<b>317.353</b>	<b>407.106</b>
<b>Enerji Açığı</b>	<b>59.968</b>	<b>88.720</b>	<b>121.518</b>	<b>170.508</b>	<b>235.152</b>	<b>306.738</b>

Özellikle yatırım yapılması planlanan alanlar içerisinde yer alan güneş enerjisinin miktar olarak aşağılarda kaldığı görülmektedir. Yukarıda daha önceki yıllara ait olan tablolarda 2000 yılı için öngörülen güneş enerjisi üretim miktarına 2001 yılında ulaşılmıştır. Ayrıca tabloya bakıldığında çok düşük bir hızla artış gösterdiği görülmektedir.

2000–2003 yılları arasına bakıldığında sırasıyla toplam enerji açığı miktarları 2000 yılı için 54.396 Bin Tep 2001 yılı için 50.779 Bin Tep, 2002 yılı için 53.984 Bin Tep ve 2003 yılı için 59.992 Bin Tep olarak gözükmektedir.



**Tablo 3.9** Türkiye'nin 1990 yılından 2003 yılına kadar olan enerji kaynakları üretimi (WEB\_1 2005)

BİRİNCİL ENERJİ KAYNAKLARI ÜRETİMİ													
							JEOTERMAL					HAYVAN VE BİTKİ ART.	
	TAŞKÖMÜRÜ	LİNYİT	ASFALTİT	PETROL	DOĞAL GAZ	HİDROLİK	ELEKTRİK	ISI	RÜZGÂR	GÜNEŞ	ODUN		TOPLAM
YILLAR	(BinTon)	(BinTon)	(BinTon)	(BinTon)	(106 m3)	(GWh)	(GWh)	(BinTep)	(GWh)	(BinTep)	(BinTon)	(BinTon)	(BinTep)
1990	2.745	44.407	276	3.717	212	23.148	80	364		28	17.87	8.03	25.478
1991	2.762	43.207	139	4.451	203	22.683	81	365		41	17.97	7.918	25.501
1992	2.83	48.388	213	4.281	198	26.568	70	388		60	18.07	7.772	26.794
1993	2.789	45.685	86	3.892	200	33.951	78	400		88	18.171	7.377	26.441
1994	2.839	51.533		3.687	200	30.586	79	415		129	18.272	7.074	26.511
1995	2.248	52.758	67	3.516	182	35.541	86	437		143	18.374	6.765	26.719
1996	2.441	53.888	34	3.5	206	40.475	84	471		159	18.374	6.666	27.386
1997	2.513	57.387	29	3.457	253	39.816	83	531		179	18.374	6.575	28.209
1998	2,156	65,204	23	3,224	565	42,229	85	582	6	210	18,374	6,396	29,324
1999	1,990	65,019	29	2,940	731	34,678	81	618	21	236	17,642	6,184	27,659
2000	2.259	60.854	22	2,749	639	30.879	76	648	33	262	16.938	5.981	26.855
2001	2.357	59.572	31	2.551	312	24.01	90	687	62	287	16.263	5.79	25.173
2002	2.245	51.66	5	2.42	378	33.684	105	730	48	318	15.614	5.609	24.727
2003	2.011	46.168		2.375	561	35.33	89	784	61	350	14.991	5.439	23.812

**Tablo 3.10** Türkiye'nin 1990 yılından 2003 yılına kadar olan enerji kaynakları tüketimi (WEB\_1 2005)

BİRİNCİL ENERJİ KAYNAKLARI TÜKETİMİ														
							JEOTERMAL					HAYVAN VE BİTKİ ART.	NET ELEK. İTHALATI	
	TAŞKÖMÜRÜ	LİNYİT	ASFALTİT	PETROL	DOĞAL GAZ	HİDROLİK	ELEKTRİK	ISI	RÜZGAR	GÜNEŞ	ODUN			TOPLAM
YILLAR	(BinTon)	(BinTon)	(BinTon)	(BinTon)	(106 m3)	(GWh)	(GWh)	(BinTep)	(GWh)	(BinTep)	(BinTon)	(BinTon)	(GWh)	(BinTep)
1990	8191	45891	287	22700	3418	23148	80	364		28	17870	8030	-731	52987
1991	8824	48851	139	22113	4205	22683	81	365		41	17970	7918	253	54278
1992	8841	50659	197	23660	4612	26568	70	388		60	18070	7772	-125	56684
1993	8544	46086	102	27037	5088	33951	78	400		88	18171	7377	-376	60265
1994	8192	51178	0	25859	5408	30586	79	415		129	18272	7074	-539	59127
1995	8548	52405	66	27918	6937	35541	86	437		143	18374	6765	-696	63679
1996	10892	54961	34	29604	8114	40475	84	471		159	18374	6666	-73	69862
1997	12537	59474	29	29176	10072	39816	83	531		179	18374	6575	2221	73779
1998	13146	64504	23	29022	10648	42229	85	582	6	210	18374	6396	3001	74709
1999	11362	64049	29	28862	12902	34678	81	618	21	236	17642	6184	2045	74275
2000	15393	64384	22	31072	15086	30879	76	648	33	262	16938	5981	3354	81251
2001	11039	61010	31	29661	16339	24010	90	687	62	287	16263	5790	4146	75952
2002	13756	52039	5	29776	17694	33684	105	730	48	318	15614	5609	3153	78711
2003	17487	46051		30669	21374	35330	88,6	784	61	350	14991	5439	570	83804

Yapılan incelemeler sonucunda tahmini kullanılabilir güneş enerjisinin kullanılması sonucunda elde edilebilecek enerji miktarı 25.000 Bin Tep. Gelecekte elektrik enerjisi olarak açığımızın karşılanması için topraklarımız güneş enerjisi elde edilmesi açısından 116.000 MW gibi yüksek bir potansiyele sahiptir. Buda demek oluyor ki 2020 yılında öngörülen 78.000 MW'lık enerji açığını tek başına karşılayabilecek güçtedir.

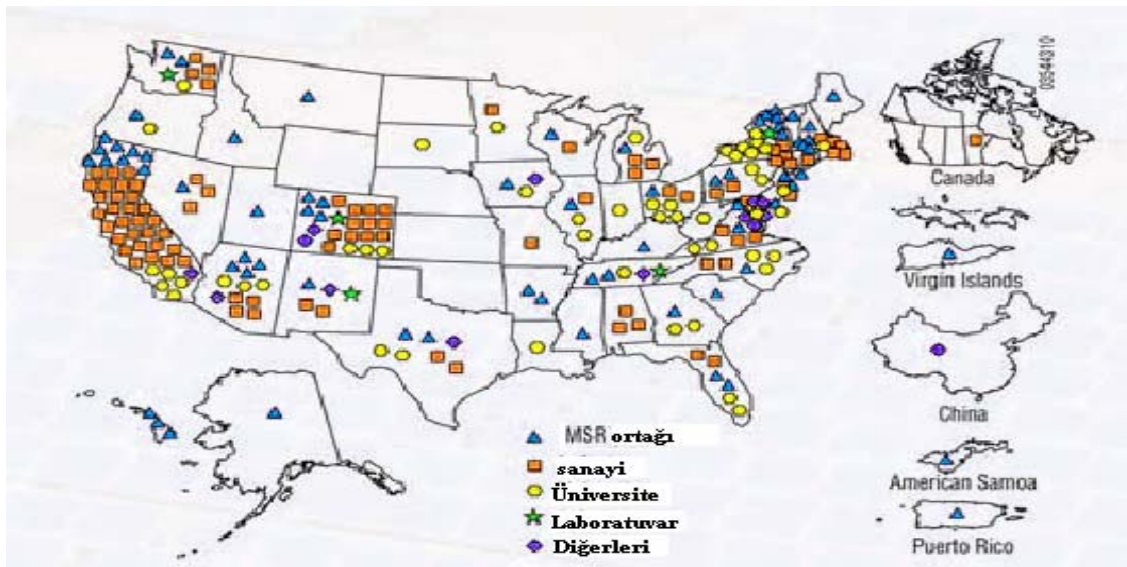
Tablolara bakarak Türkiye'nin enerji ihtiyacının her geçen gün arttığını fakat buna karşılık gereken enerjinin karşılanmasında zorluklar yaşandığı görülmektedir. Güneş enerjisi açısından oldukça zengin olan ülkemizin bu alanda hiçbir yatırım yapmadığı yukarıdaki tablolardan anlaşılmaktadır.

### 3.2. Dünyada Güneş Enerjisi Alanları ve Uygulamaları

Burada sadece ABD'deki güneş enerjisi haritaları, çalışma yapan kurumlar ve ölçüm yapan istasyonlar hakkında bilgi verilecek ve bu konuda çalışmalar yapan ülkelerden de bahsedilecektir.

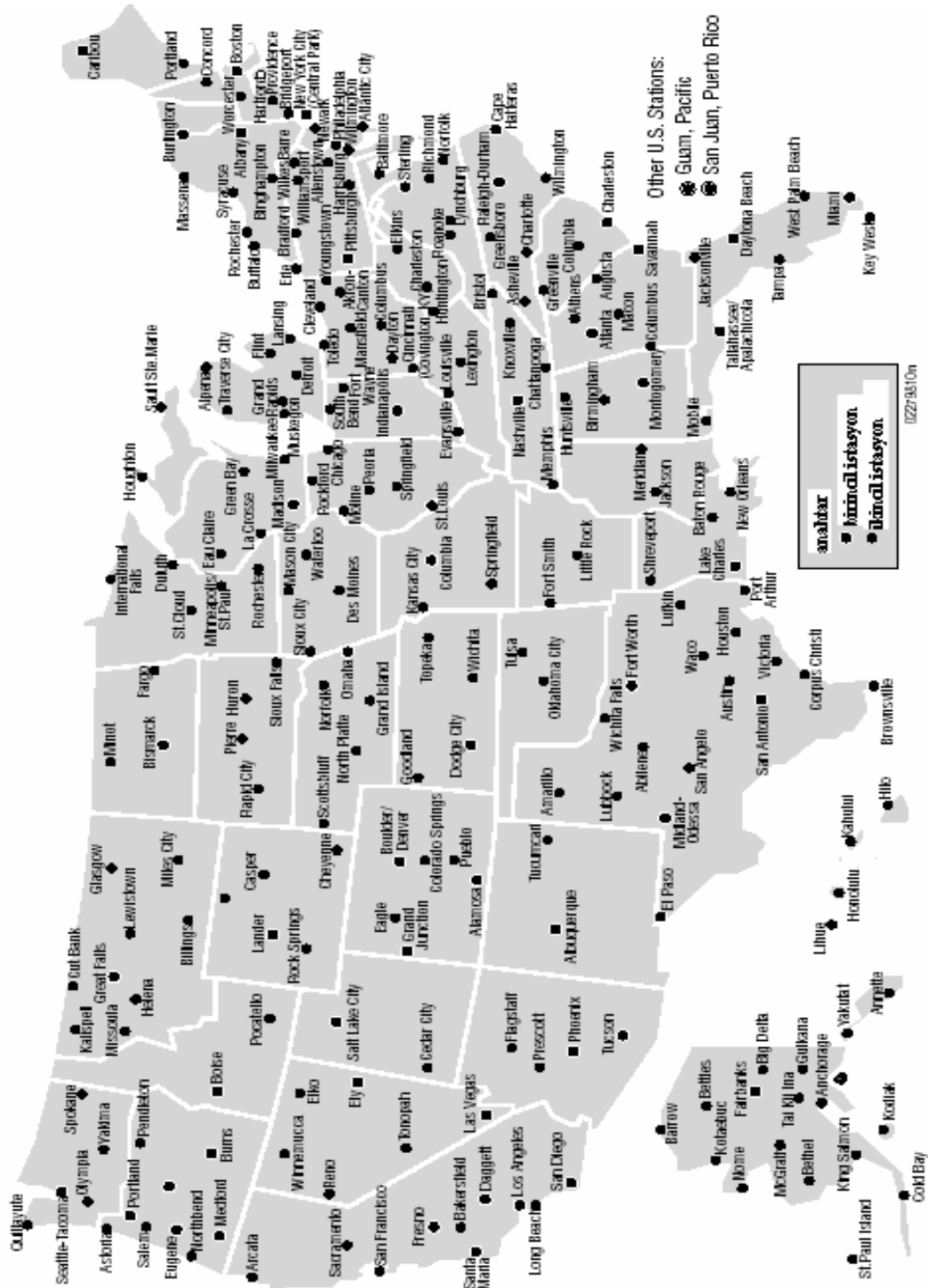
#### 3.2.1. Amerika'daki güneş enerjisi araştırmaları

Amerika'da geliştirilen güneş toplayıcılarının nerede ve ne şekilde çalışabileceğini tespit için ortaklaşa çalışmalar yürütülmektedir. Şekil 3.1'deki haritada bu çalışmaya katılan topluluklar gösterilmektedir.

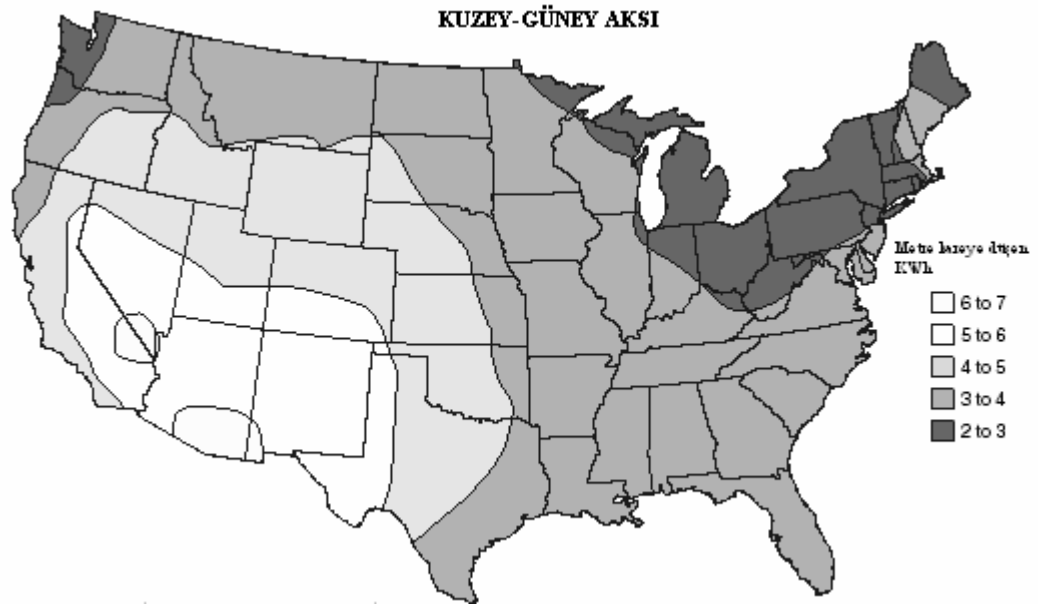


Şekil 3.1 Amerika ve komşu ülkeleri ile ortak çalışma yapan kurumlar (Solar Program Overview 2003)

Amerika'da güneş enerjisini elde edim miktarlarının bölgelere göre çıkarımı Şekil 3.2.'deki haritada gösterilmektedir. Amerika'da 239 ölçüm noktasından alınan veriler sonucunda ortaya çıkmıştır.



Şekil 3.2 Amerika'daki ölçüm istasyonlarının yer haritası (Solar Program Overview 2003)



**Şekil 3.3** Amerikanın kuzey-güney aksındaki güneş enerjisi haritası (Solar Program Overview 2003)

Ölçüm istasyonlarından alınan bilgiler doğrultusunda çıkarılan Şekil 3.3.'de kuzey-güney aksında  $m^2$ 'ye düşen kWh lik güneş enerji miktarları ve Şekil 3.4.'te de doğu-batı aksındaki  $m^2$ 'ye düşen kWh'lik güneş enerji miktarları verilmiştir.



**Şekil 3.4** Amerika'nın kuzey-güney aksındaki güneş enerjisi haritası (Solar Program Overview 2003)

Haritalardan da anlaşılacağı gibi Kaliforniya bölgesi güneş enerjisi açısından en verimli bölge olma özelliğine sahip. Güneş enerjisi kullanım tesislerinin bu bölgede yoğunlaşmasının en önemli nedenidir. Amerikanın dışında İspanya, İtalya, Japonya, Fransa, Rusya, Ürdün ve Hindistan'da tesis kurma çalışmaları ve bölgesel araştırmalar yapılmaktadır. Ürdün özellikle güneş güç kulesi geliştirilmesinde büyük çabalar sergilemektedir. Hindistan ise akademik olarak araştırma ve geliştirme çalışmalarına büyük bir hız vermiştir. Görüldüğü gibi dünyanın bir çok yerinde güneş enerjisinden faydalanma isteği artmaktadır.

### 3.3. Güneş Enerjisi Isıl Uygulamaları

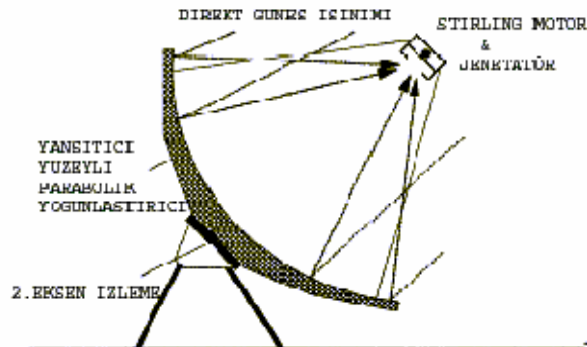
Burada güneş enerjisi yüksek sıcaklık uygulamalarından olan yoğun toplayıcılar ve bunlara ait uygulamalardan bahsedilecektir.

#### 3.3.1. Odaklamalı ve odaklamasız orta ve yüksek sıcaklık güneş enerjisi ısıl uygulamaları

Yüksek sıcaklık uygulamalarından olan çanak tipi, güneş bacası sistemi ve silindirik-parabolik yoğunlaştırıcı sistemlerin yapıları ve çalışma prensiplerinden bahsedilecektir.

##### 3.3.1.1. Çanak / Stirling sistemi

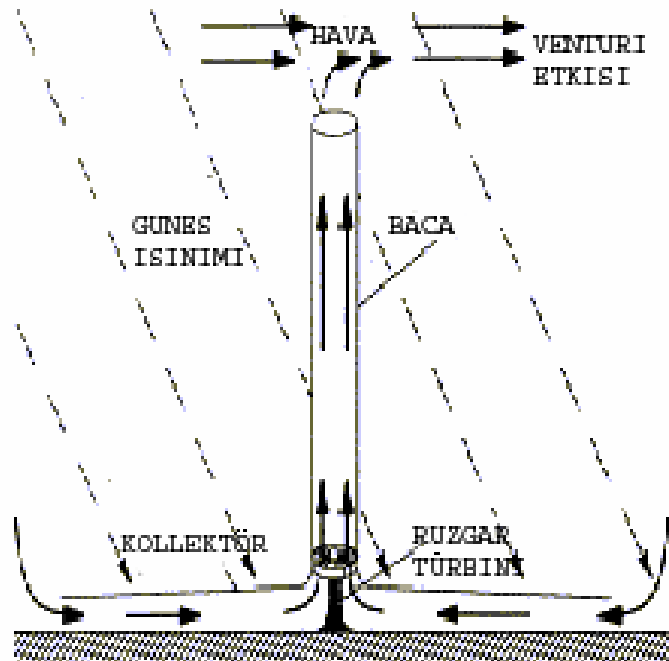
Bu sistemde ise güneş ışınları yansıtıcı yüzeyden yansıtılır ve Stirling motoru üzerine odaklanır ve bu motorun yardımıyla bağlı olan jeneratör sistemi çalışarak elektrik enerjisi üretir. Bu sistem tekli olarak veya bir küme halinde de çalıştırılarak uygulanabilmektedir Şekil 3.5.'deki sistemden 10 kW'a kadar elektrik enerjisi elde edilebilmektedir.



Şekil 3.5 Çanak/Stirling sisteminin parçaları (Beerbaum ve Weinrebe 2000)

### 3.3.1.2. Güneş bacası sistemi

Güneş bacası sistemi odaklamasız bir sistem olup ısınana havanın yükselmesi prensibi ile çalışan bir yapıya sahiptir. Güneş bacasının tasarımı basittir; üç temel yapıdan oluşan sistem ilk kısım üstü güneş ışınlarını geçiren kapalı bir alan yani sera benzeri bir bölüm, ikinci kısım yüksek bir baca kısmı, üçüncü olarak ta bacanın içine yerleştirilmiş bir rüzgâr türbininden oluşmaktadır. Güneş ışınları seranın altındaki havayı ısıtır ısınan hava kolektörün merkezinde yer alan ve içinde bir rüzgâr türbininin bulunduğu bacaya doğru hareket eder ve bacadan yukarıya doğru bir hava akımı oluşturur.



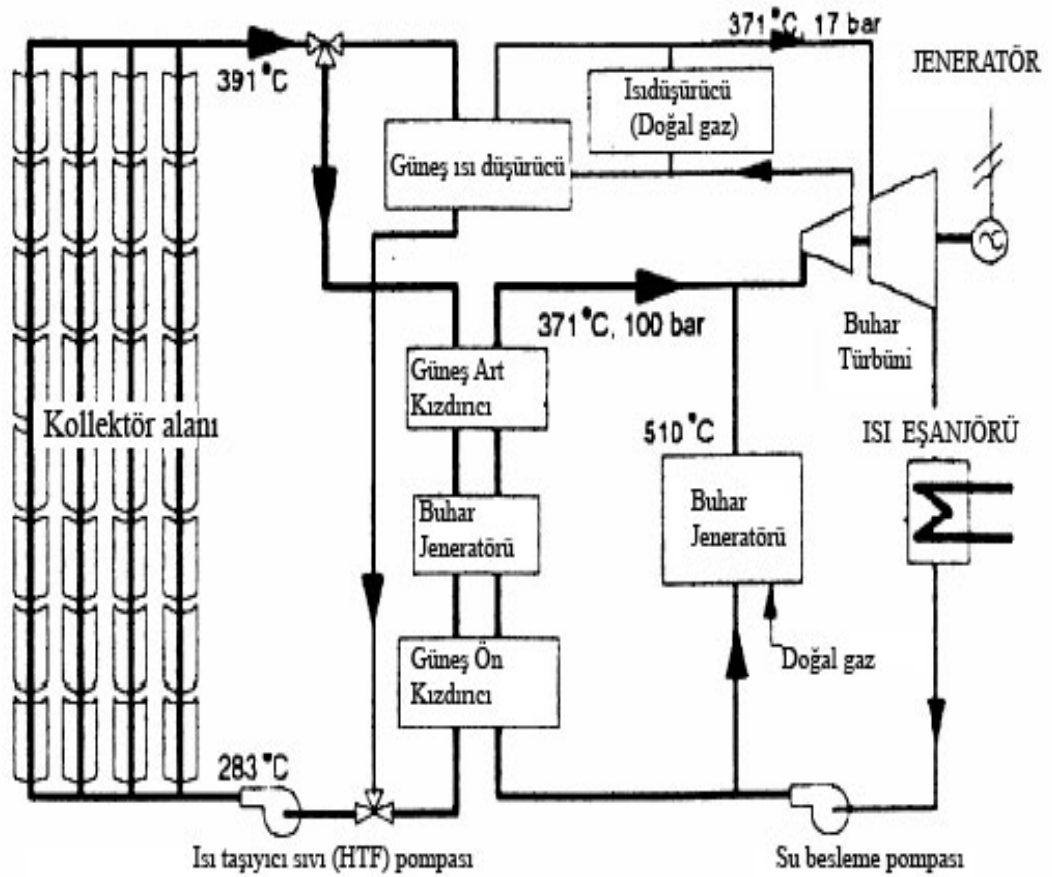
Şekil 3.6 Güneş bacasının şematığı (Beerbaum ve Weinrebe 2000)

### 3.3.1.3. Silindirik-parabolik yoğunlaştırıcı

Şekil 3.7'deki sistemde bir odaklamalı yansıtıcı yüzey, yüzeye gelen güneş ışınlarını yansıtarak odaklar. Odaklama merkezinde bulunana tüpün içinden ısı transferini sağlayacak olan sıvı geçmektedir. Bu tip sistemlerde ısı termodinamik bir çevrimi çalıştırmada kullanılır ve bu ısı makinesi de elektrik jeneratörünü çalıştırır. Aşağıda sistem şematik olarak verilmiştir (Şekil 3.8.). Bu tesislerin ilki 1984 yılında 14 MW gücünde sonuncusu ise 1990 yılında kurulmuş olup toplam güç üretimi 354 MW'tır.



Şekil 3.7 Silindirik-parabolik yoğunlaştırıcı temel prensibi (Beerbaum ve Weinrebe 2000)



Şekil 3.8 Silindirik-parabolik yoğunlaştırıcı toplu çalışma sistemi (Beerbaum ve Weinrebe 2000)



Tablo 3.11 incelenirse yukarıda anlatılan sistemlerin teknik bilgilerinin karşılaştırılması daha rahat yapılabilir.

**Tablo 3.11.** Odaklı sistemler ve güneş bacası için bazı Parametreler (Beerbaum ve Weinrebe 2000)

	Parabolik silindirik	Çanak/motor	Güneş bacası
Güç kaynağı	Merkezi	Lokal/Merkezi	Merkezi
Kapasite oranı	30...100 MW	10 kW...50MW	30...200MW
Tipik çalışma Şekli	Şebeke bağlantılı	Şebeke bağlantılı/şebekeden bağımsız	Şebeke bağlantılı
Alan gereksinimi	18 m <sup>2</sup> /kW	20 m <sup>2</sup> /kW	200 m <sup>2</sup> /kW
Tipik verim (%)	13–15	15–17	0,7–1,1
İşletme sıcaklığı	350 °C	800 °C	50 °C

### 3.4. Sodyum Sıvılı Güneş Enerjisi Sistemleri

Bu kısımda sodyum sıvılı sistemlerin yapısı ve çalışma prensipleri ele alınacaktır. Bu sistemler çok yaygın kullanımda olmayıp ABD deneysel olarak çalışmalara ağırlık verilmektedir. Elde edilen elektrik enerjisi şehir şebekesine iletilmektedir.

#### 3.4.1. Erimiş sodyum sıvılı parabolik toplayıcı sistem

Aşağıda anlatılacak olan sistem Amerika’da bulunan Güneş Enerjili Elektrik Üretim Sistemi, SEGS (Solar Electric Generation System) tesislerinin çalışma prensibidir. Bu tesislerin ürettiği elektrik enerjisi 14 ile 80 MW arasında değişmektedir (Tablo 3.12). Sistem burada temel olarak ele alınmıştır; sistem yapısı tuz tanklarıyla desteklenmiş bir yapıya sahiptir. Sistem aynı zamanda bir termik yağ ile çalışmaktadır. Burada anlatılacak SEGS sistemleri Kaliforniya’da Mojave çölünde kurulmuştur. Sistemde kullanılan sıvı ısı transfer sıvısı, HTF (Heat Transfer Fluid) olarak adlandırılır. Çift tanklı sistemden oluşmaktadır sistemde bulunan HTF 300 °C’ye kadar ısınmaktadır.

Sistemde bulunan HTF 393 °C’ye kadar ısınması sağlanmakta ve bu sayede yüksek basınçlı süper sıcaklığa sahip bir buhar elde edilmektedir. Buharın yaklaşık basınç

miktarı 100 bar ve sıcaklığı 371 °C dir. Yazın 10-12 saat civarında elektrik üretimi sağlamaktadır. Daha sonra ise tuz tanklarındaki ısıtılmış olan tuzunda yardımıyla HTF tekrar ısıtılması sağlanmaktadır (385 °C). Şekil 3.9'da bu sistemin çalışması açıklanmıştır.

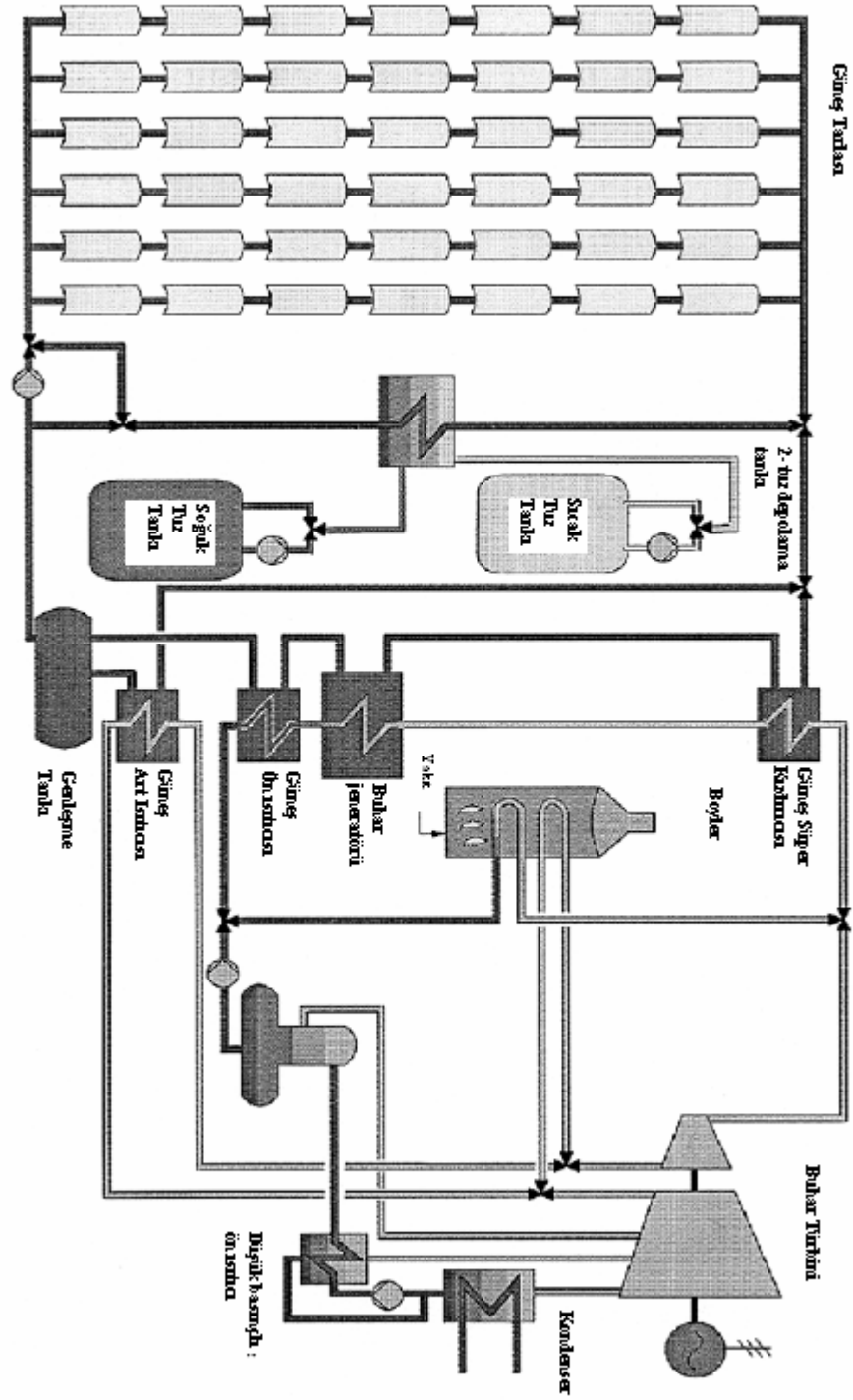
**Tablo 3.12** Kaliforniya'daki SEGS I-IX güç tesislerinin teknik bilgileri (Price ve Kearney 1999)

SEGS	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
<b>Kapasite [MWel ]</b>	<b>14</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>80</b>	<b>80</b>
<b>Kollektör alanı (birim)</b>									
LS-1 (128 m <sup>2</sup> )	<b>560</b>	<b>536</b>							
LS-2 (235 m <sup>2</sup> )	<b>48</b>	<b>518</b>	<b>980</b>	<b>980</b>	<b>992</b>	<b>800</b>	<b>400</b>		
LS-3 (545 m <sup>2</sup> )					<b>32</b>		<b>184</b>	<b>852</b>	<b>888</b>
<b>Ayna parçalarının adedi</b>	<b>41.600</b>	<b>96.464</b>	<b>117.600</b>	<b>117.600</b>	<b>126.208</b>	<b>96.000</b>	<b>89.216</b>	<b>190.848</b>	<b>198.912</b>
<b>Açık (m<sup>2</sup>)</b>	<b>82.960</b>	<b>190.338</b>	<b>230.300</b>	<b>230.300</b>	<b>250.560</b>	<b>188.000</b>	<b>194.280</b>	<b>464.340</b>	<b>483.960</b>
<b>Giriş sıcaklığı °C</b>	<b>240</b>	<b>231</b>	<b>248</b>	<b>248</b>	<b>293</b>	<b>293</b>	<b>293</b>	<b>293</b>	<b>293</b>
<b>Çıkış sıcaklığı °C</b>	<b>307</b>	<b>321</b>	<b>349</b>	<b>349</b>	<b>349</b>	<b>390</b>	<b>390</b>	<b>390</b>	<b>390</b>

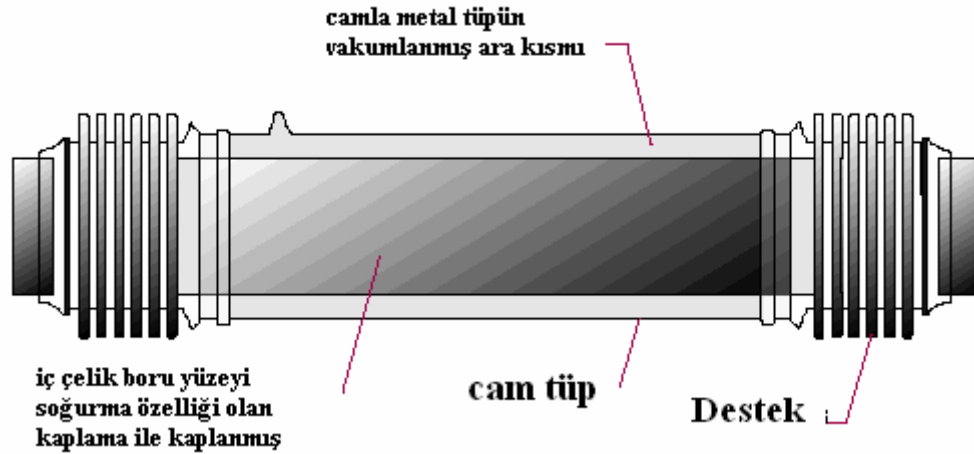
Sistemde kullanılan tuz özel olarak seçilmiştir. Nitratlı olan bu tuzun donma sıcaklığı 80 °C, yoğunluğu 1.880 kg/m<sup>3</sup> olup, ısı taşınım katsayısı 1.500 J/kgK dir. Kimyasal reaksiyon oluşma durumu da yok denecek kadar azdır.

Tuz tankının yapısı ise sırasıyla ele alınırsa 1. Levha kaplaması, 2. Isıl düzenleyici, 3. Cam yünü kaplama, 4. Ateş tuğlası (Tavan ve duvarlar dâhil), 5. İnce çelik levha, 6. Kum; kısımlarından oluşmaktadır.

Şekil 3.10'da gösterildiği gibi HTF'nin taşındığı tüpün dış yüzeyi cam ile kaplı iç yüzeydeki metal ile arası vakumlanmıştır. İç kısımda yer alan metal tüpün yüzeyi soğurucu madde ile kaplanmıştır. Bu sayede HTF'yi daha hızlı ısıtmak ve daha yüksek sıcaklıklara çıkarmak mümkün olmaktadır.



Şekil. 3.9. Parabolik tip güneş enerjisi dönüştürme tesisi (Price ve Kearney 1999)



Şekil 3.10 Transfer tüpünün şekli (Price ve Kearney 1999)

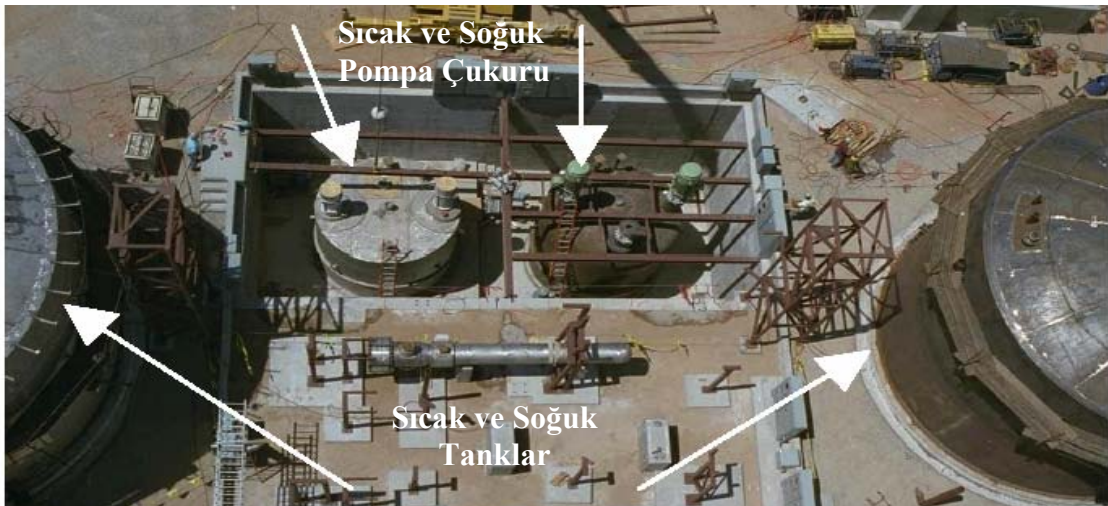
### 3.4.2 Erimiş sodyum sıvılı güneş güç kulesi sistemi

Şekil 3.11’de gösterilen tesis Kaliforniya çölünde kurulmuş olan Solar Two erimiş tuz çözeltisi ile çalışan bir güneş güç kulesi (GGK) sistemidir. Solar Two, Solar One sisteminin yenilenip geliştirmesiyle elde edilmiş bir sistemdir. Solar Two sistemi yeni tip sıcak tuz pompası sisteminin kurulmasında ucuzlama sağlarken aynı zamanda birçok boruyu ve bunlara bağlı problemleri azaltmaktadır. Sistemin kritik noktalarına müdahalede bu sayede kolaylaşmaktadır. Sistemde yerçekimi etkisinden dolayı kulenin kıyısında pompa istasyonu kurmak zorunluluğu vardı. Yeni sistemde erimiş sıcak tuz karışımının depolandığı tanklar ve pompa istasyonları bu sistemin kalbini oluşturmaktadır. Erimiş sıcak tuz karışımı santrifüj pompasının ve destek pompalarının yapıldığı metal dayanımın yüksek olması açısından paslanmaz çelikten yapılmıştır.

Soğuk tuz eriyiği karışımı pompaları ise çok kademeli dikey türbin pompaları olup karbon çeliğinden yapılmıştır. Aynı zamanda depolama tanklarının malzemeleri tuzun yüzeylere verdiği zarardan dolayı önemlidir. Soğuk depolama tankının yapım malzemesi Şekil 3.12’deki sistemin sıcak (hot) ve soğuk (cold) depolama tankları ve pompa sistemleri gözükmemektedir.



Şekil 3.11 Solar Two güneş güç kulesi sistemi (Barth vd 2001)



Şekil 3.12 Solar Two güneş güç kulesi sistemine ait soğuk sıcak tuz eriyiği depoları (Barth vd 2001)

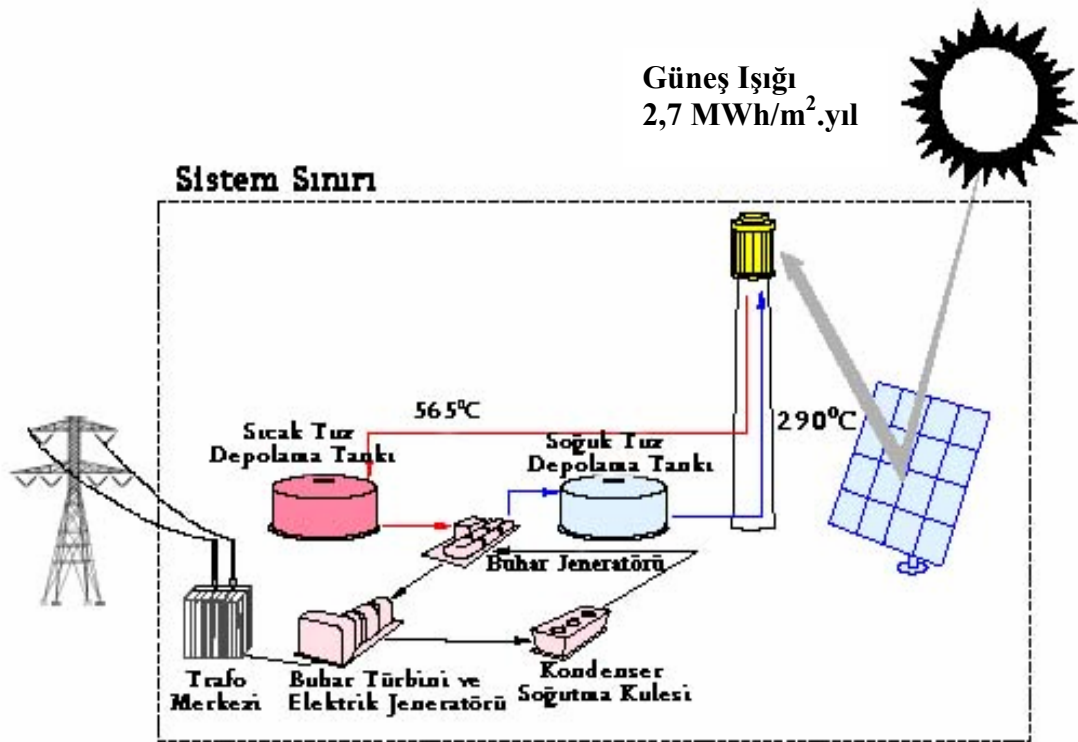
### 3.4.2.1. Sistem tanımı

Güneş güç kuleleri, güneş ışınlarını kule tepesine monte edilmiş olan alıcıya yoğunlaştırarak elektrik enerjisi üretirler. Gelen güneş ışınlarını yansıtma heliostat diye adlandırılan, güneş izleme aynaları kullanılır. Güneş güç kuleleri, 30 ile 400 MWe arası uygulamalar için en uygun sistemlerdir. Dünyada Amerika ve İsrail’de uygulaması olan tesisler mevcuttur.

Şekil 3.13’te şematik olarak verilen güneş güç kulesindeki 290 °C’deki sıvı haldeki tuz eriyiği soğuk depolama tankında alıcıya doğru pompalanır. Sistemde güneş güç kulesi olarak adlandırılan kısımdan geçen tuz eriyiği yoğunlaştırılmış güneş ışınlarından aldığı ısıyla sıcaklığı 565 °C’ye kadar çıkarılarak sıcak depolama tankına gönderilir. Güç çekileceği zaman, sıcak tuz eriyik pompalar yardımı ile klasik bir Rankine çevrim türbini/jeneratör sistemi için aşırı kızdırılmış buhar üreten bir buhar üretme sistemine pompalanır. Buhar jeneratöründeki tuz eriyik kullanımından sonra kendi içinde ayrı bir döngüsü olan soğuk tanka geri döner, burada depolanır ve sonunda da yeniden kızdırılarak sistem hareketi sağlanır. İstenilen güç ihtiyacını karşılayacak olan uygun değerdeki depolama kapasitesini belirlemede sistem tasarımının önemli bir kısmını oluşturur. Depolama tankları on üç saate kadar tam üretimdeki bir türbin için uygun olacak kapasite ile yapılabilmektedir (Güven vd 2004).

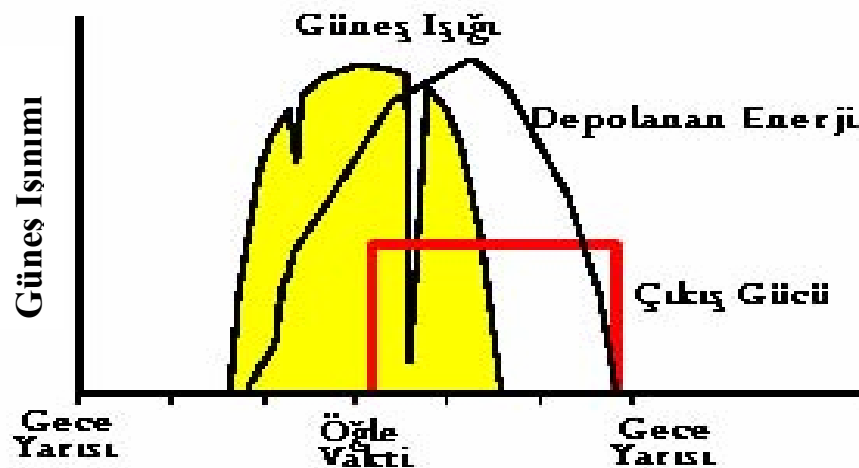
Kulenin çevresine yerleştirilen yansıtıcı ve odaklayıcı ayna sistemi, tesisin yıllık verimini en uygun şekilde karşılayacak yapıda düzenlenir. Her iki yapının da alıcı ve ayna boyutları istenen miktara da bağlı olarak değişir. Standart bir yapıda güneş enerjisinin toplanması, türbine gereken buhar miktarının üzerinde buhar sağlanması koşulu ile uygunluk kazanır. Bu sistemdeki temel nokta aynı anda hem Rankine çevrimini yaparken aynı zamanda eriyiğin ısıtılmasında sağlanacak şekilde dizayn edilmesinde yatmaktadır.

Toplayıcı sistemi tarafından (heliostat alan ve alıcı) karşılanan ısı güç oranının türbin jeneratörü peak ısı güç gereksinimini oranına *güneş çarpanı* denir. Yaklaşık olarak 2,7’lik bir güneş çarpanı ile tesis edilmiş olan Kaliforniya’da Mojave çölündeki bir tesis, yaklaşık %65’lik yıllık kapasite faktörüne göre yapılmıştır. Güç kulesi yedek yakıt kaynağı ihtiyacı olmaksızın yıllık %65 potansiyelle işletilebilir. Enerji depolamaksızın, güneş teknolojilerinde yıllık kapasite faktörü %25 ile sınırlıdır.



Şekil 3.13 Tuz eriyikli güç kulesi şematığı (Güven vd 2004)

Şekil 3.14’de Güney California’daki tipik bir gün için yük-aktarım kapasitesinin gösterildiği tuz eriyikli bir güneş kulesinden elektriğin aktarımı resimlenmiştir. Günün bir fonksiyonu olarak güneş yoğunluğu, sıcak tanktaki enerji depolaması ve elektrik güç çıkışı gösterilmektedir. Şekilde, bulunan güneş enerjisi tesisi güneş doğduktan hemen sonra ısıl enerji toplamaya başlar ve günün her anında biriktirilen enerji sıcak tankta depolanır.



Şekil 3.14. Peak noktası grafiği (Güven vd 2004)

Tesisin tepe noktasında yük ihtiyacı miktarına göre, türbin saat 13.00'de çevrim içi olur ve saat 23.00'e kadar güç üretimine devam eder. Tuz eriyiği bir sistemin maliyet ve depolama açısından en uygun sistem olduğuna inanılmaktadır ve bu sistem üzerine araştırmalar devam etmektedir. Özellikle ekvatorial kuşağa yakın konumda olan ülkelerin bu tesislerin konum uygunluğunun olmasından ötürü Afrika, Hindistan, Orta Doğu gibi bölgeler avantajlıdır.

### 3.4.3.2 Uygulamalar

1980 ve öncesinde de Güneş kuleleri Rusya, İtalya, İspanya, Japonya, Fransa ve Amerika'da tesis edilmektedir. Tablo 3.13'de buralarda kurulmuş olan sistemler, önemli olabilecek karakteristikler bakımından karşılaştırılmıştır.

Alıcılarda ısıl enerji depolamak için bir türbin jeneratörünü direkt olarak süren buhar üretimi kullanılmaktaydı. Güneş güç kuleleri ile bu sistem değişti. Sistemler basitti ama bazı dezavantajları vardı. Amerika'da kurulmuş olan Solar One ve Solar Two sistemlerini ele alalım, bu iki sistem bu farkları anlatmak açısından en iyi iki sistemdir.

**Tablo 3.13** Güç kulelerinin karşılaştırılması (WEB\_2 2005)

Proje	Ülke	Çıkış gücü (MWe)	Isı transfer Akışkanı	Depolama Ortamı	İşletmeye başlangıç Tarihi
SSPS	İspanya	0,5	Sıvı sodyum	Sodyum	1981
EURELIOS	İtalya	1	Buhar	Nitrat tuz/su	1981
SUNSHINE	Japonya	1	Buhar	Nitrat tuz/su	1981
Solar one	Amerika	10	Buhar	Yağ/kaya	1982
CESA-1	İspanya	1	Buhar	Nitrat tuz	1983
MSEE/CatB	Amerika	1	Nitrat eriyiği	Nitrat tuz	1984
THEMIS	Fransa	2,5	Hi-tec tuz	Hi-tec tuz	1984
SPP-5	Rusya	5	Buhar	Su/buhar	1986
TSA	İspanya	1	Hava	Seramik	1993
Solar two	Amerika	10	Nitrat eriyikli tuz	Nitrat tuz	1996



### 3.4.3.3. Solar One

Solar One, 1982 ve 1988 yıllarında dünyanın en geniş güneş güç kulesi tesisi olmuştur. Tesis güneş kuleleri ile geniş ölçekte güç üretiminin mümkün olduğunu ispatlamıştır. Sistemde, alıcıda su buhara çevrilir ve klasik bir Rankine buhar türbin çevrimi güç sağlamada kullanılır. Bu tesiste bulunan 1.818 tane heliostattan oluşan heliostat alanında her bir heliostatın yansıtma alanı 39,3 m<sup>2</sup> idi kapasitesi de 10 MWe'ti. Solar One'ın son yılındaki çalışması boyunca kullanılabilirliği %96 ve yıllık verimi de yaklaşık olarak %7 olmuştur (tesisin küçük ve altyapının gelişmemiş olmasından ötürü yıllık verim rölatif olarak düşüktür). Güç kulesi teknolojisini başarılı bir şekilde temsil eden Solar One su/buhar sisteminin dezavantajlarını da ortaya çıkarmıştır. Isıl depolama sisteminde, kaya ve kumlar kullanılmıştır sistemin güç üretim yeteneği geceye kadar genişletme imkânı doğmuştur. Çalışmadığı saatlerde ve sabah çalışmaya başlayacağı ilk anda sistem bileşenlerinin hala ılık olsa bile bir sıcaklığa sahip olmasına imkân sağlanmıştır. En önemli problem ise depolama sistemi karmaşıktır ve termodinamik olarak yetersizdir. Bulut geçişleri ve efektif ısıl depolamanın olmayışından dolayı türbinin fasıllı olarak çalışmasına sebep olmaktadır. Solar Two ise tuz eriyikli sistemlerin araştırılıp bulunması sonucu oluşmuştur (Güven vd 2004).

### 3.4.3.4. Solar Two

Solar Two tesisinin Amerika'da bulunan Solar One tesisinin yeniden ele alınıp tuz eriyikli sistemin oluşturulması için bir şirketler birliği kurulmuştur. Solar Two'nun yapılma nedeni, nitrat tuz teknolojisini kanıtlamak ve güç kulelerinin teknik ve ekonomik risklerini azaltmaktır. Güç kulesi teknolojilerinin ticarileştirilmesinin gerçekleştirilmesi için yapılan bu yeni tasarıma Solar Two adı verildi.

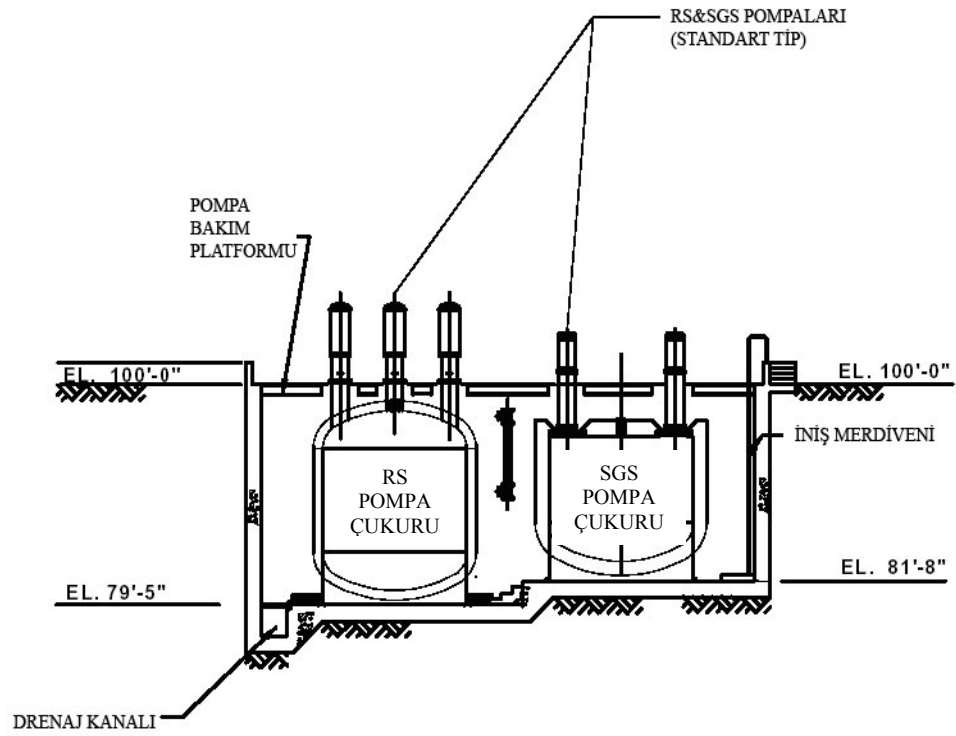
Solar Two uygun koşullarla 10 MW elektrik üretme ve gün batımından sonra bile tam kapasite 3 saat süreyle çalışmaya devam edebilmektedir. Solar Two'da yeni bir tuz eriyikli ısı transfer sistemi (alıcıyı, ısıl depolamayı, boruları ve buhar jeneratörünü kapsayan) ve yeni bir kontrol sistemini içermektedir. Eski Heliostat alanda, kule ve türbin-jeneratör sisteminde çok küçük uyum çalışmaları yapılmıştır. Solar Two 1996'nın başlarında şebekeye bağlanmış ve 1997'nin sonunda tam olarak faaliyete başlamıştır. Solar Two'ya ait alıcıların tasarımı Boeing's Rocketdyne Division firması tarafından yapılmıştır. Solar Two, bir panel serisinden her biri 32 adet ince cidar

paslanmaz çelik tüpten oluşur. Paneller boruları çevreleyen silindirik bir kabuktan, yapısal desteklerden ve kontrol donanımlarından oluşur. Güçlü, yüksek sıcaklık ve ısı çevrime dayanıklı ve güneş ışığını %95 soğurma özelliğine sahip olan siyah pyromark boya ile tüplerin dış yüzeyi kaplanmıştır.

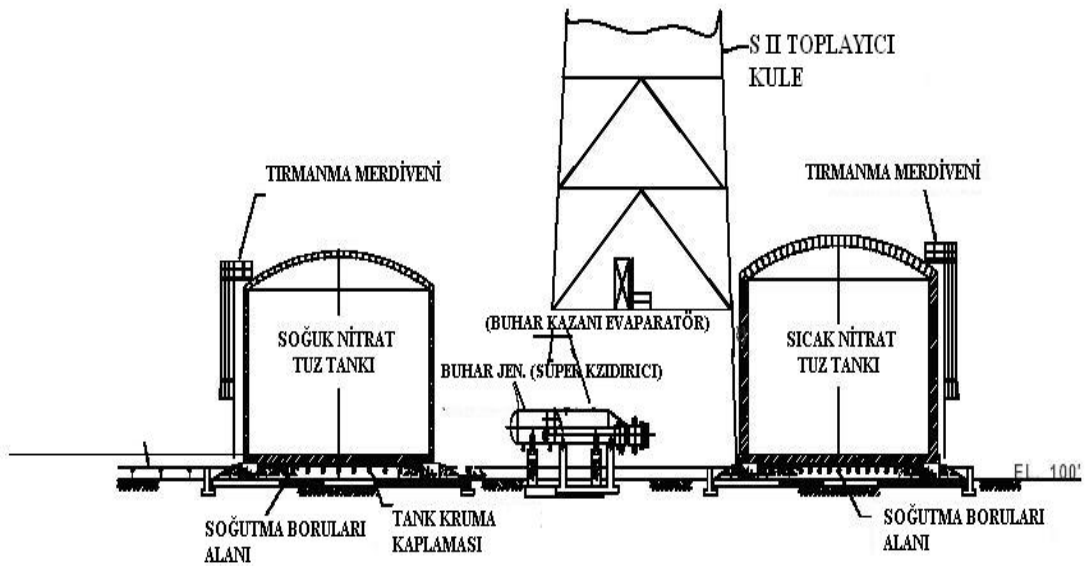
Güneş enerjisinin soğurulma miktarını maksimuma çıkarma; konveksiyon ve radyasyon ile oluşan kayıp miktarlarının minimize edilmesi için alıcı tasarımı geliştirilmiştir. Sıcaklık değişimlerini çok hızlı bir şekilde güneş ışını miktarının azalıp artmasına bağlı olarak yapabilmektedir. Alıcı, lazer kaynak, karmaşık tüp-meme-manifold bağlantıları, bir tüp kelepçesi tasarımı (tüpün genişlemesi ve büzülmesi) ve temassız akı ölçüm cihazlarını bulundurmaktadır. Bu tasarım sayesinde sistem 290°C'den 570°C'ye güvenli bir biçimde bir dakikadan daha az bir sürede erişebilmektedir.

Depolarda %60 sodyum nitrat ve %40 potasyum nitrat vardır. Karışım soğuk tankta 290°C'de korunmaktadır. Karışımın eriyik haline geçme sıcaklığı 220°C'dir. Düşük viskoziteli ve metal yüzeyleri ıslatan bir yapıya sahiptir. Bu durumun sonucunda taşınması ve kontrolü zordur. Tuz eriyiği ile çalışabilecek pompaların, vanalar, vana contaları ve contalık malzemelerin belirlenmesi tesisin istenildiği gibi verimli çalışabilmesi için zorunludur. Solar Two bu yüzden; minimum sayıda conta bileziği ve en fazla transdüser elemanı, vanaları ile tasarlanır ve uygun yerlere kaynak yapılır; 875.000 litrelik 2 adet depolama tankı enerji depolama sistemini oluşturmaktadır. Tanklar dış ortamdan yalıtılmış olup sıcak tank paslanmaz çelikten soğuk tank ise karbonlu çelikten yapılmıştır. Isıl kapasitesi 110 MWh<sub>t</sub>'dir. Doğal konveksiyonlu bir soğutma sistemi her bir tank tesisinin aşırı ısınması ve toprak altındaki aşırı dehidrasyonun minimize edilmesinde kullanılır.

Borular, vanalar, kaplar sıcak tuz eriyiği için ve ayrıca tuz eriyiği çevresindeki korozyona dayanımı için paslanmaz çelikten yapılmıştır. Soğuk tuz sistemi yumuşak karbonlu çelikten yapılır. Kabuk ve tüp süper kızdırıcısı; buhar jeneratör sistemi ısı dönüştürücüleri, bir ısıtıcı boyler ve bir kabuk ve tüp ön kızdırıcısından oluşur. Paslanmaz çelikten yapılmış dirsekli pompalar tuzu sıcak tank pompasından buhar jeneratörü sistemi boyunca pompalar grubu vasıtasıyla soğuk tanka taşırlar. Soğuk tanktaki tuz eriyiği çok kademeli merkezkaç pompası vasıtası ile kule tepesindeki alıcıya pompalanır.

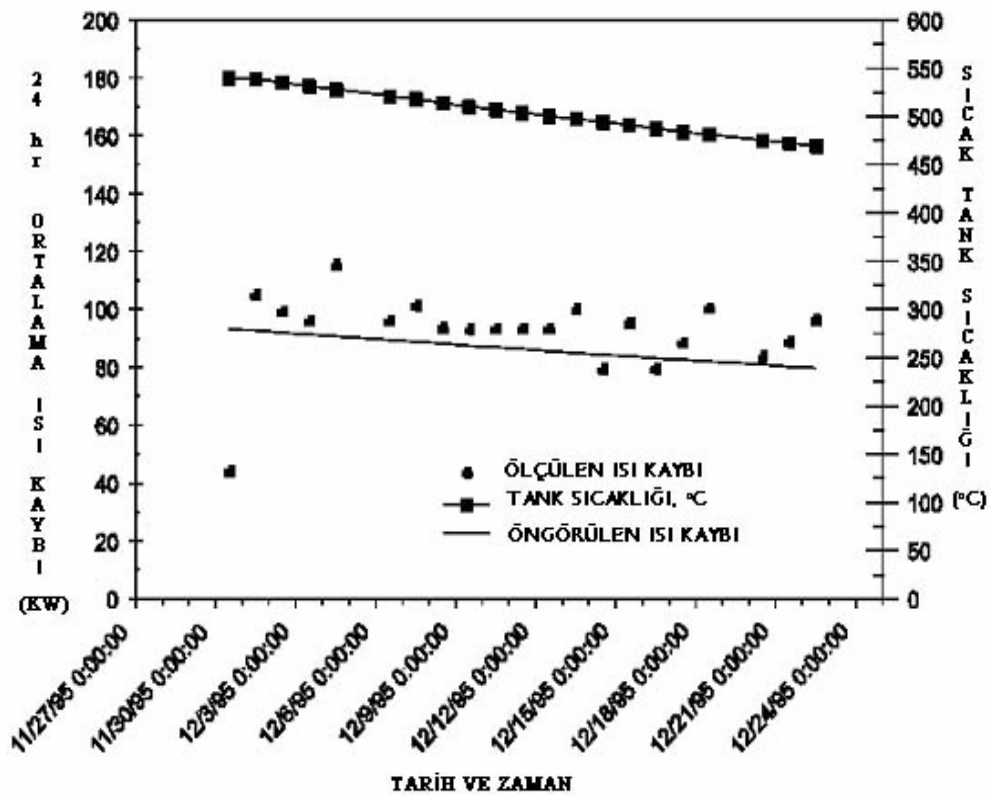


Şekil 3.15. Tuz Eriyiği Pompaları (Barth vd 2001)



Şekil 3.16. Tuz Eriyiği Depolama Tankları (Barth vd 2001)

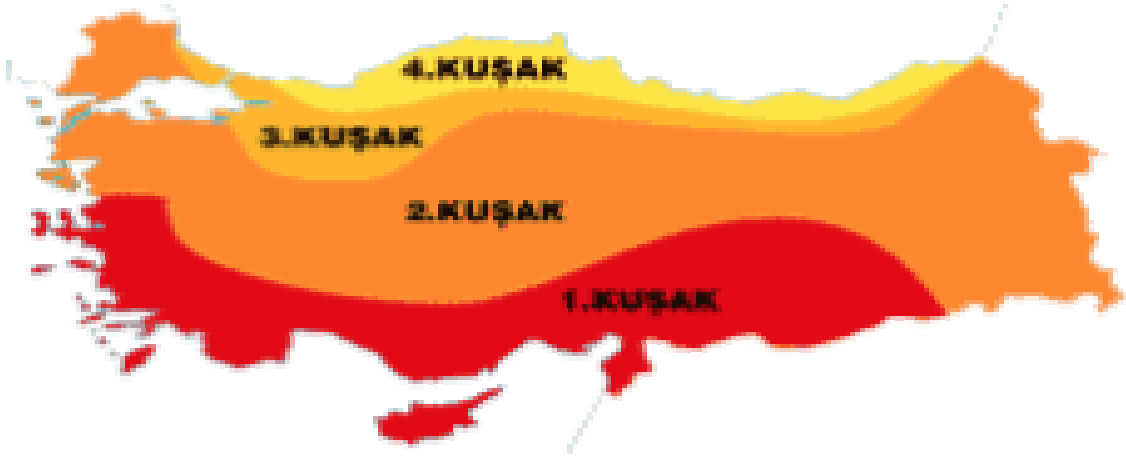
Tesiste toplanılan başlangıç verileri tasarım boyunca tahmin edilen alıcıdaki ve ısı depolama tanklarındaki değerleri göstermiştir. Örneğin; 26 Mart 1997’de toplanan verilere göre alıcının soğurduğu enerjinin 39,8 MW<sub>t</sub> (bu tasarım değerinin %93’ü dür.) olduğu ortaya çıkmıştır. Isıl depolama sistemindeki sıcak tank çok iyi ısı karakteristikler sergilemektedir. Şekil 3.17’de tuz eriyiği ile doldurulmuş sıcak depolama tankına ait aylık uzun soğuması görülmektedir. Tankın çok yavaşça soğuduğu (bir ay boyunca yaklaşık 75°C ve ölçülen ısı kayıplarının tasarımında tahmin edilen değerlere göre %10 farklılık gösterdiği anlaşılmıştır.



Şekil 3.17 Solar Two'ya ait sıcak depolama tankının soğuması (Güven vd 2004)

### 3.5. Güneş Güç Kulesi Kurma Çalışması

Şekil 3.18 güneş enerjisinden yararlanmada kırmızı bölgeler en çok ve sarı bölgeler en azı göstermektedir. Buna göre; Türkiye’de coğrafik konum dolayısıyla güneş enerjisinden sıcak su elde edilmesinde, güney kesimler ile Ege bölgesinin bir kısmından fazlasıyla yararlanılmaktadır.



**Şekil 3.18** Türkiye'nin güneş enerjisi haritası (WEB\_1 2005)

Türkiye'de bölgelerin yıllık güneşlenme süreleri aşağıdaki gibidir;

- Güneydoğu Anadolu Bölgesi : 3.016 saat
- Akdeniz Bölgesi : 2.923 saat
- Ege Bölgesi : 2.725 saat
- İç Anadolu Bölgesi : 2.712 saat
- Doğu Anadolu Bölgesi : 2.693 saat
- Marmara Bölgesi : 2.529 saat
- Karadeniz Bölgesi : 1.965 saat şeklindedir

### 3.5.1. Güneş enerjisi potansiyeli

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut bulunan 1966–1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak; EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.640 saat (günlük toplam 7,2 saat). Ortalama toplam ışınım şiddeti 1.311 kW/m<sup>2</sup>-yıl (günlük toplam 3,6 kW/m<sup>2</sup>) olduğu tespit edilmiştir. Aylara göre Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri ise Tablo 3.14'te verilmiştir.

**Tablo 3.14.** Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli (WEB\_3 2005)

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ		GÜNEŞLENME SÜRESİ (saat/ay)
	(kcal/cm <sup>2</sup> -ay)	(kW/m <sup>2</sup> -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	1.311	2.640
ORTALAMA	308,0 cal/cm <sup>2</sup> -gün	3,6 kW/m <sup>2</sup> -gün	7,2 saat/gün

Ancak, bu yukarıdaki değerlerin, Türkiye'nin gerçek potansiyelinden daha az olduğu, daha sonra yapılan çalışmalar ile anlaşılmıştır. 1992 yılından bu yana EİE ve DMİ, güneş enerjisi değerlerinin daha sağlıklı olarak ölçülmesi amacıyla enerji amaçlı güneş enerjisi ölçümleri yapılmaktadır. Devam etmekte olan ölçüm çalışmalarının sonucunda, Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin eski değerlerden %20-25 daha fazla çıkması beklenmektedir. EİE'nin ölçü yaptığı 8 istasyondan alınan ölçümler Tablo 3.15'te gösterilmiştir.

**Tablo 3.15** Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı (WEB\_3 2005)

BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kWh/m <sup>2</sup> -yıl)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/yıl)
G.DOĞU ANADOLU	1.460	2.993
AKDENİZ	1.390	2.956
DOĞU ANADOLU	1.365	2.664
İÇ ANADOLU	1.314	2.628
EGE	1.304	2.738
MARMARA	1.168	2.409
KARADENİZ	1.120	1.971

Şekil 3.18'deki harita üzerinde belirtilen ve bir yıl içerisinde toplam saat olarak güneş ışığı alım miktarları belirlenmiştir. Buradan da anlaşılacağı gibi Türkiye yılda oldukça fazla bir süre güneş ışığından faydalanmaktadır. Buda Türkiye üzerinde kurulabilecek olan güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etmeyi sağlayacak tesislere imkân vermektedir. Bölgeler bazında ele alındığında Karadeniz bölgesi güneş enerjisi potansiyeli en düşük bölge olarak göze çarpmaktadır fakat bu bölge bile birçok Avrupa ülkesinden yıllık güneş görme açısından oldukça fazladır. Karadeniz bölgesinin aşırı dağlık ve yağışlı yapısı kurulmak istenen bir güneş enerjisi dönüşüm tesisi için uygunluk içermeyebilir. Marmara bölgesi haritadan ve belirtilen güneş görme saati olarak Karadeniz bölgesine kıyasla oldukça fazla güneş almaktadır. Fakat Marmara bölgesinde kışları balkanlar üzerinden gelen soğuk ve yağışlı havanın etkisinin yüksek olması uygun bir tesis kurmada zorlanılmasına sebep olmakta ve ayrıca deprem aktivitesi son yıllarda yüksek olan bir bölgedir. Ege bölgesi bu iki bölgemize oranla daha fazla güneş ışığı almasına rağmen; metre kareye düşen güneş enerjisi bakımından, sondan üçüncü durumdadır. Bu durumun nedeni; kuzey Ege bölgesinin güneş enerjisinin düşük olmasından kaynaklı olabilmektedir.

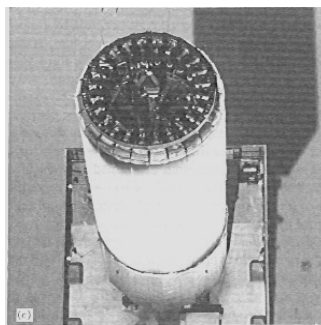
Güney Ege bölgesi ise özellik olarak Akdeniz İklimi sergilemektedir. İç Anadolu bölgesi Ege bölgesine oranla daha az saat güneş ışığı almasına karşın daha çok güneş enerjisi potansiyeli vardır. İç Anadolu bölgesinin kış şartları açısından zorluğu tesis kurulumunu zorlaştırabilmektedir. Doğu Anadolu bölgesi yıllık ortalama güneşlenme süresi 2.664 saat olup; 1.365 kWh/m<sup>2</sup> gibi yüksek bir güneş enerjisi miktarına sahiptir. Diğer bölgelere göre daha fazla güneş almasına karşın yeryüzü şekli ve iklimsel koşullar olarak diğer iki bölgemize oranla daha sert bir yapıdadır. Kışın özellikle hava koşulları çok sertleşerek ulaşım ve iletişim imkânlarını büyük oranda engellemektedir. Akdeniz bölgesi diğer bölgelerimize göre nispeten metre kareye düşen güneş enerjisi miktarı daha iyi bir duruma sahiptir. Ayrıca toplam güneşlenme miktarı saat açısından da oldukça yüksek bir miktara sahiptir. Akdeniz bölgesinin yeryüzü şekilleri açısından oldukça dağlık olduğu bilinmektedir. Bu durumun yanında turistik bir bölge olması ve gelişmiş bir tarım bölgesi olması tesisin maliyetini etkileyebilmektedir. Güneydoğu Anadolu bölgemiz ise metre kareye düşen güneş enerjisi miktarı en yüksek bölgemizdir. Yıllık bazda 1.460 kWh/m<sup>2</sup> gibi oldukça yüksek bir miktardır, güneşlenme süresi saat olarak yıllık 2.993 saattir. Güneydoğu Anadolu bölgesi bu yüzden potansiyeli en yüksek

bölgemizdir. Fakat bölgenin arazi koşullarının yanı sıra yaşanan bazı bölgesel sorunlar tesisin inşasının zorlaşmasına neden olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca bölgedeki elektrik üretimi Atatürk barajı tarafından büyük oranda karşılanmaktadır. Yapılması düşünülen bu tesisin özellikle inşasının kolay olması açısından seçilen bölgenin kolay ulaşım imkânlarına sahip olması aynı zamanda bölgesel yapının uygun olması gerekmektedir. Bunlar göz önüne alınarak batı bölgesinde tesisin kurulmasına çalışılmalıdır.

### 3.5.2. Tesisin kurulumu

#### 3.5.2.1. Silindirik alıcı

Kullanılabilecek diğer bir sistem ise boşluklu silindirik alıcı sistemidir. Alıcı, boşluk tipi olup su/buhar soğutmalıdır. Ayrıca, termal depolama yapmak üzere ergimiş Na-K tuzlarının dolaştığı üçüncü bir kapalı devre oluşturulur. Alıcı içinde aktif ısı transfer yüzeyini teşkil eden boru demetinin içinden, çevrim akışkanı su/buhar geçmektedir. Oluşturulan üçüncü bir çevrim sayesinde, alıcıda kaybolacak enerjinin bir kısmı daha faydalı hale getirilmektedir. Sıvı haldeki Na-K tuzları, aynı zamanda çok iyi bir ısı depolama özelliğine sahiptir. Alıcıya gelen besleme suyu, içinden sıcak erimiş tuz geçen bir ısı değiştiricisinden geçirilerek, ön ısıtma işlemi yapılabilir. Ayna tarlasının çalışma prensibi ise aynalar aracılığı ile yüksekte bulunan kule üzerindeki bir alıcıya enerji yoğunlaştırması ve alıcıda elde edilen buhar türbin-alternatörlerle elektrik enerjisi üretilmesi şeklindedir ( Şekil 3.19).



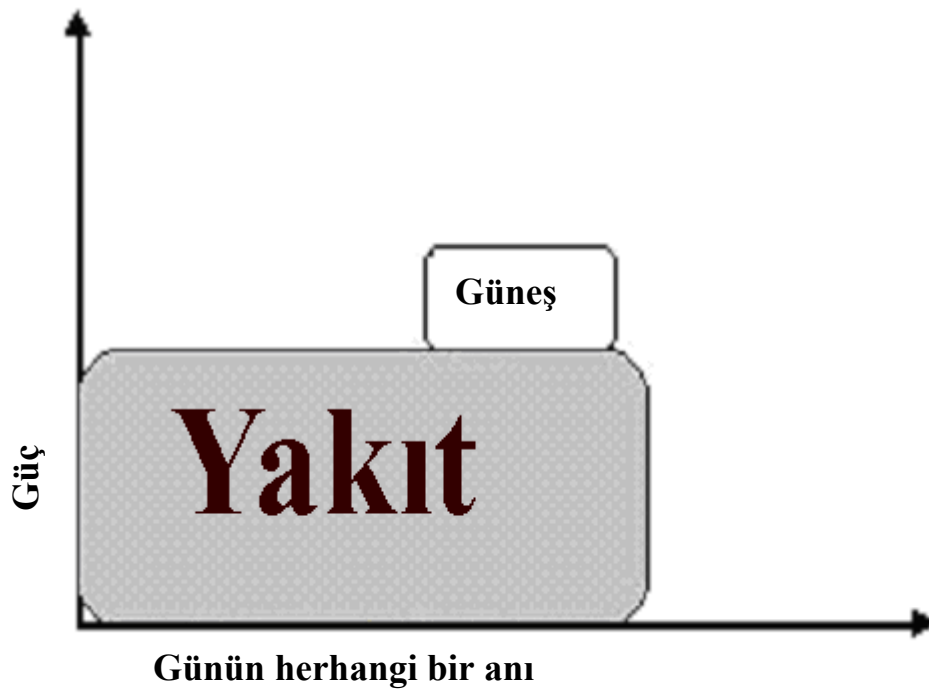
Şekil 3.19. Alıcının yukarıdan görünüşü (Duffie ve Beckman 1991)

#### 3.5.2.2. Başlangıç sistem uygulamaları



Kombine çevrimli pek çok hibrit sistem seçeneği vardır. Kombine çevrimli hibrit entegrasyon için bir seçenek Şekil 3.20’de gösterilmiştir. Hibrit tesisler, ileride maliyetlerin aşağı çekilmesi ve güçlü tesislerin elde edilmesinde (>30 MWe) kullanılması için tasarlanmaktadır. Hibrit bir tesiste, güneş enerjisi fosil yakıt kullanımını azaltmada yada buhar türbinin çıkış gücünü artırmada kullanılabilir. Kuramsal artırılmış güçlü hibrit güç tesisinden alınan tipik günlük çıkış gücü Şekil 3.20’de gösterilmiştir.

Hibrit bir tesiste, toplam elektrik üretimi; kömür yakmalı bir Rankine çevrimini yada kombine bir çevrim tesisinin taban kısmını içine alan yüksek kapasiteli bir buhar türbini ile yapılır. Sistem her iki sistemin birleşiminden oluşmaktadır. Bu kavrama ait çalışmalar türbinin sadece fosil çalışma konumunda buhar türbininin kapasitesini %25’ten %50’nin üzerine çıkarır. Kapasite üzerindeki bu oran tavsiye edilmez çünkü ısıda elektrige çevrim verimi, sadece yakıt konumunda çalışmayla birleştirilmiş kısmi yüklerde azalacaktır (Şekil 3.20).



**Şekil 3.20** Bir hibrit tesise ait kuramsal bir güç profili (WEB\_2 2005)

Fosil yakma tesisi üzerine temellendirilmiş olan bir hibrit güneş güç kulesinde, güneşin katkısı tesisten peak çıkış gücünün yaklaşık %25 ve yıllık elektriğin

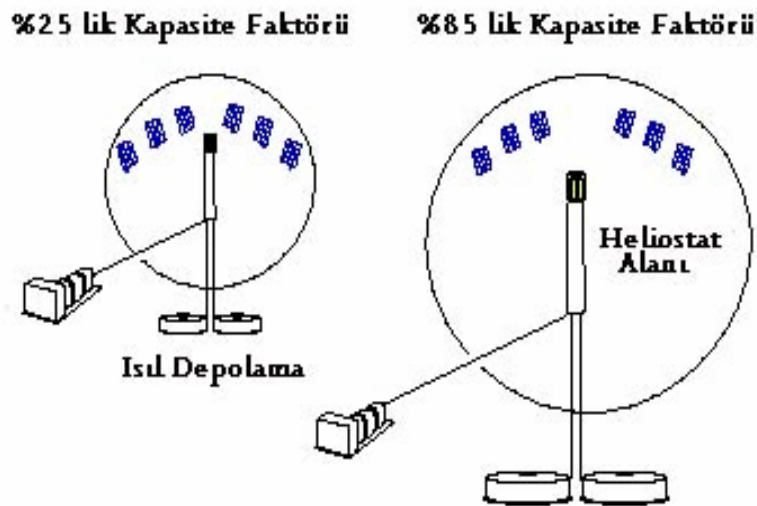
%10 ila %25 arasındır (daha yüksek bir yıllık güneşlenme miktarı 13 saatlik bir ısı depolama ile elde edilebilir ve daha düşük güneşlenme miktarı ise birkaç saatlik depolama ile elde edilebilir) (WEB\_2 2005).

### 3.5.3. Sistemin Yararları-Enerji Depolaması

200 MW lık tesislerin maliyet, verim, ömür ve işletim sıcaklıkları açısından karşılaştırılması aşağıdaki Tablo 3.16'da yapılmıştır.

**Tablo 3.16** Enerji depolama sistemlerinin karşılaştırılması (WEB\_2 2005)

Tesis Tipi	200MW'lık bir tesis için enerji depolamasının tesis maliyeti (\$/kWhe)	Depolama sisteminin ömrü (yıl)	Depolama verimi (%)	Maksimum işletme sıcaklığı (°C)
Tuz eriyikli güç kulesi	30	30	99	567
Sentetik Yağlı Parabolik Yalak Tip	200	30	95	390
Batarya Depolamalı Şebeke bağlantılı	500 – 800	5 – 10	76	-



**Şekil 3.21.** Bir güneş güç kulesinde, tesis tasarımı farklı kapasite faktörleri uygulanarak yapılabilir. Verilen bir türbin boyutu için kapasite faktörünü artırmada; 1) Heliostat sayısı artırılır. 2) Isıl depolama tankları genişletilir. 3) Kule yüksekliği artırılır. 4) Alıcı boyutları artırılır (WEB\_2 2005)

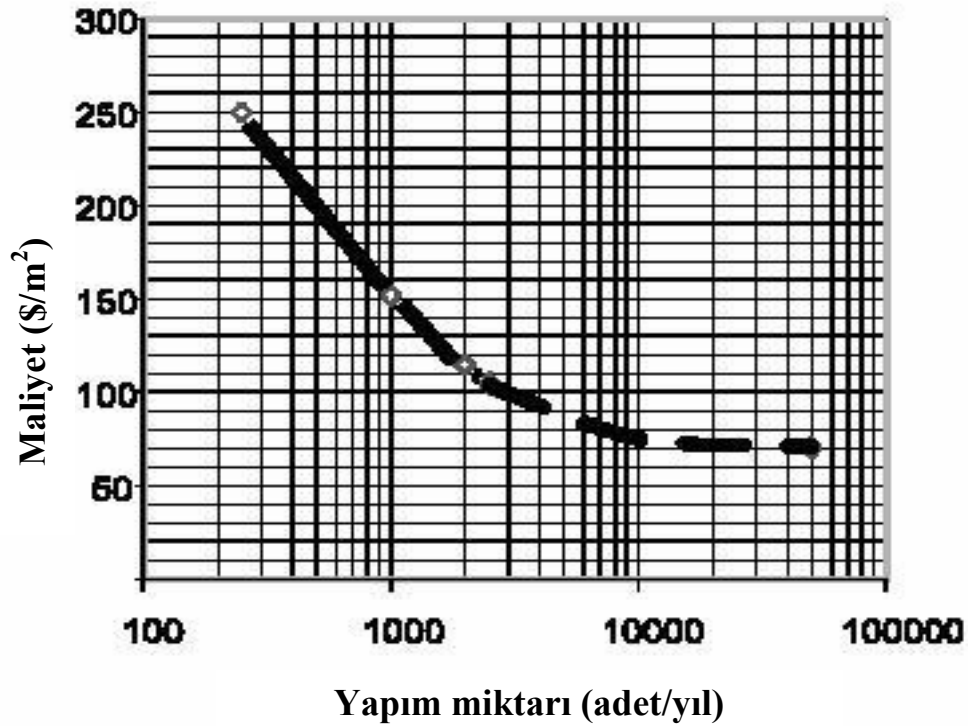
### 3.5.4. Tuz eriyiği

Tuz eriyiği nitrat tuzundan oluşturulmaktadır. Eriyiğin en büyük sorunu yüksek bir donma noktasına(220 °C) sahip olmasıdır. Tuz eriyiğini korumak için oldukça karmaşık bir ısı izleme sistemi kurulmalıdır. Isı izleme, boruların dış yüzeyine elektrik kablolarının eklenmesinde oluşur. Borular rezistanslı ısıtma yoluyla ılık tutulur. Solar Two da başlangıçta ısının takibini yetersiz kalmasından dolayı sorunlar yaşanmasına neden olmuştur. Bu problemler belirlenmiş ve doğrulanmış olmasından, tesisin ısı izlemeye güvenme oranı minimumda tutulması gerekmektedir. Bu bir veya daha fazla seçenek yardımıyla başarılabilir:

1) Daha düşük bir donma noktasında bir tuz antifrizi geliştirmek 2) Isı izlemenin n uygulaması yapılmaksızın soğuk başlangıç olabilecek bileşenleri belirlemek ve/veya geliştirmek 3) Isıl idare uygulamalarını geliştirmek. Solar Two projesinde 3.seçenek uygulanmıştır. Eğer bu seçenekte başarısız olunsaydı diğer iki seçeneğin uygulamasına geçilecekti. Hatta vanalar bile eriyik tuz servisinde problem olabilir. Günümüz vana teknolojisi, tuz eriyikli g kuleleri için yeterli iken, tasarımdaki gelişmeler ve standartlaşmalar riskleri azaltacak ve sonunda da işletme ve bakım maliyetleri azalacaktır.

### 3.5.5 Heliostatlar

şekil 3.22'de belirtildiği gibi yapılacak heliostatların miktarıyla yapılan bakım ücretlerinin arasındaki orantı verilmektedir. Eğer yapılacak olan sistemin sayısını artırırsak birim maliyetler logaritmik bir eğri şeklinde azalma göstermektedir. Yapılan tesisin kapasitesinin büyük tutulması başlangıç maliyeti açısından yüksek görünse de işletme maliyetleri açısından küçük tesislere oranla daha düşük bir işletme maliyeti sergilemektedir. Örneğin grafikten bakılacak olursa 10.000 aynalı bir sistemin ayna metrekaresi başına yıllık bakım maliyeti yaklaşık 70\$ olurken 5.000 aynalı bir işletim sisteminin ayna metrekaresi başına birim yıllık maliyeti 100\$ olmaktadır. Sonuçta kapasite iki katı fazla olurken maliyet ise %40 artmaktadır; işte bu yüzden kurulacak tesisin aynaların miktarının yüksek tutulmasında fayda vardır.



Şekil 3.22 m<sup>2</sup>'ye yıllık yapılan birim maliyet (WEB\_4 2005)

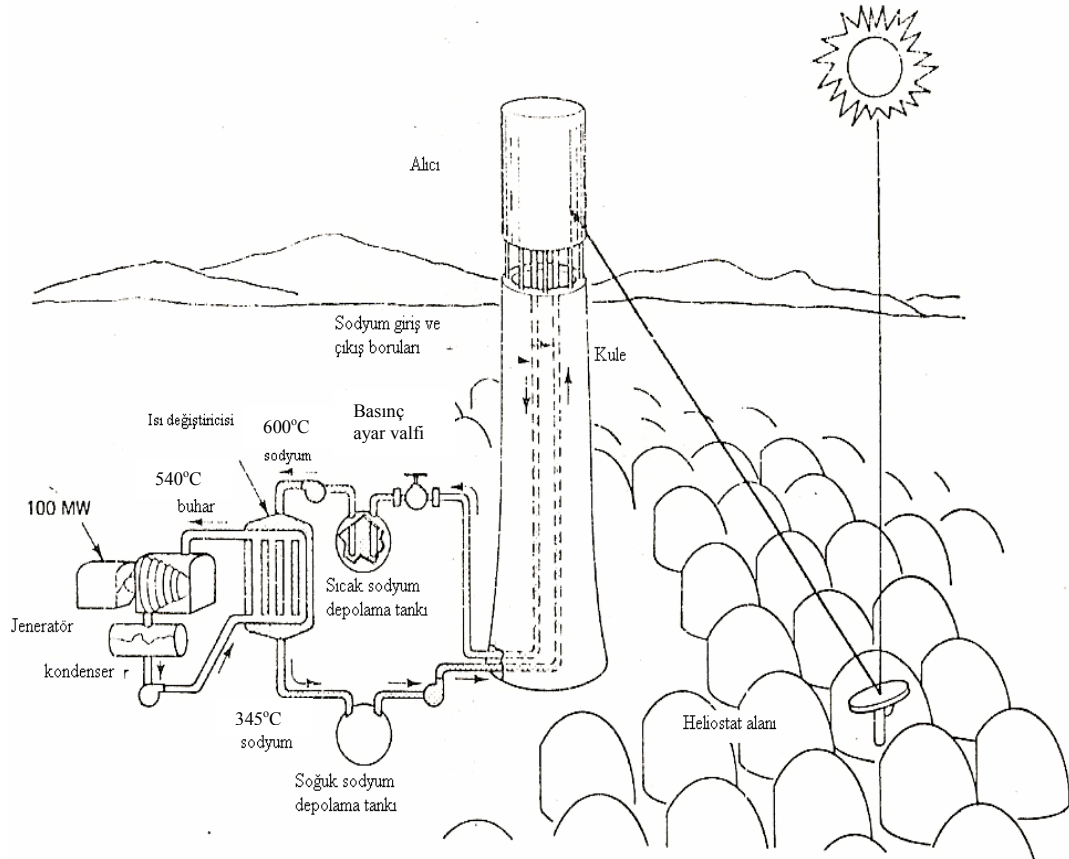
### 3.5.6 Çevresel etkileri

Sistemde temel olarak herhangi zararlı gaz veya atık çıkışı olmamaktadır. Kullanılan tuz eriyiği her hangi bir şekilde sistemin dışına çıktığında tekrardan istenirse sisteme katılabilmektedir. Eğer güç kulesi klasik bir fosil tesis ile hibritlenmiş ise tesisin güneşle çalışmayan kısımlarında emisyonlar ortaya çıkacaktır.

Türkiye'nin sahip olduğu en bol fosil kaynaklı yakıt, düşük-kaliteli ve yüksek derecede kirlenmeye yol açan linyittir ve bol bulunduğu için; ülke enerji üretiminin belkemiğidir. Ancak bu tür kömürün kullanımı çok yüksek miktarlarda atık çıkarmaktadır. Örnek olarak kömürle çalışan 100 MW'lık bir termik santralin ürettiği atıklar ve miktarları şöyledir; kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) 45.000 ton/yıl, azot oksitler (NO<sub>x</sub>) 26.000 ton/yıl, karbonmonoksit (CO) 750 ton/yıl, hidrokarbonlar 250 ton/yıl, partiküler madde (PM) 32.500 ton/yıl ve kül 5.660 ton/yıl atık madde oluşturmaktadır (Türkiye Çevre Sorunları Vakfı 2005)

## 4. ÖRNEK TESİSLER VE HESABI

### 4.1 Merkezi Toplayıcı Güç Santralleri



Şekil 4.1 Merkezi toplayıcı güç tesisi (Hsieh 1986)

Merkezi alıcılı bir güneş ısı güç tesisinde elektrik üretimi için güneş enerjisini verimli bir şekilde yoğunlaştıran ve toplayan tesislerdir. 100 MW'lık bir güç için 20.000 adet iki eksenli izleyici aynalar veya heliostatların yansıttığı ve altmış katlı bir binanın tepesine yerleştirilen tek bir merkezi alıcı üzerine güneş ışınlarını yoğunlaştıran bir tesis, Şekil 4.1' de gösterildiği gibidir. Yeryüzündekinden 1000 defa daha yoğun hale gelmiş olan güneş ışınları toplayıcıdaki sıvıyı ısıtır. Bu durumda sıvı sodyum kullanılmaktadır. Bu sıvı alıcı içerisinde 600°C'de dolaşır. Sıcak sodyum kuleye doğru yönelir ve oradan depolama tankına gider. Sıcak sodyumda depolanan enerji, bir su

esaslı Rankine çevrimli türbin jeneratör ünitesi için ısı eşanjörü kanalı ile buhar sağlamak için kullanılır. Toplanan enerjinin bir kısmı bulutlu dönemlerde köprülenmek üzere depolama tankında geçici olarak tutulur veya gecenin erken saatlerinde güneş ünitesinin faydalanması için gönderilir ya da kullanılır. Böyle bir güneş tesisi 2,6 km<sup>2</sup> alanı kaplar.

Dağınık yoğunlaştırıcılara göre merkezi alıcılı tasarım kavramının bazı üstünlükleri vardır. Birincisi bir merkezi alıcı güneş enerjisinin çok yüksek yoğunlaştırılmasına erişebilir, böylece onun alıcı soğutucusunun oldukça yüksek sıcaklıklara erişmesini sağlar. Dağınık şekillere göre merkezi alıcılı tasarımlar daha yüksek toplam verimlerine sahiptirler. Merkezi alıcıların tasarımında güneş enerjisinin toplanması, termal anlamdan ziyade optik anlamda olduğundan, dağınık sistemlerde ünitenin yoğunlaştırılmasında büyük çapta boru sistemlerinin yalıtımına gerek yoktur. Bir dağınık tasarımda borulardan ve büyük toplayıcılardan ısı kaybı; termik dönüşüm çevrimi için daha düşük bir işletim sıcaklığına götürecektir.

Merkezi alıcılı tasarım bir Rankine buhar çevrimi veya bir Brayton gaz çevrimi ile ilgili olabilir. Bir merkezi alıcılı buhar tesisinde, çeşitli malzemeler, bunlar eriyik tuzlar, sıvı metaller ve su alıcı soğutucusu olarak ve depolama sıvısı olarak kullanılabilir. Şekil 4.1 deki tasarımda bu amaçlar için sıvı sodyum kullanıldı. Çünkü bu fevkalade ısı transferine ve termik depolama özelliğine sahiptir. Bununla beraber özellikle bir su-buhar kaynağı yakınında kullanıldığında potansiyel olarak tehlikelidir.

Solar One, 1982’de ilk çalışmaya başladığında dünyada çalışan en büyük güneş güç istasyonu konumundaydı. Böyle bir 10 MW ‘lık pilot tesis her biri 39 m<sup>2</sup> ‘den oluşan 1.800 heliostat, 29 hektarlık dairesel bir alan üzerine yayılmış olup güneş ışını 65 m yüksekliğe sahip bir kulenin tepesinde bulunan 7 m çapında 12 m yüksekliğinde olan bir alıcıya güneş ışını odaklamaktadır. Alıcıdaki boru şebekesi bir buhar jeneratörü olarak çalışmaktadır ve sıcaklığı 510°C kadar sıcaklıklarda aşırı ısıtılmış basınçlı buhar oluşturur. Buhar sonra yeryüzüne taşınır ve burada bir türbin-jeneratör ünitesini çalıştırır. Buharın bir kısmı içinde kırılmış çakıl taşları ve ısı transfer yağı ihtiva eden depolama tankına yönlendirilir. Solar One tesisi güneş termal/elektrik teknolojisi için bir inceleme alanı olmasına rağmen üretilen güç Southern California Edison Company’nin mevcut elektrik şebekesine müşterilerinin kullanımı için besler.

Buna rağmen Solar One'ın öncelikli amacı 1'den 100 MW 'a kadar büyüklüklerde değişen güneş güç tesislerinin fonksiyonel kabiliyetlerini göstermektir. Bu pilot tesis işletim deneyimi, yapının yapım, bakım ve işletim maliyetleri ilgili bilgileri sağlayacaktır. Kaliforniya'nın Mojave Desert'te tamamlanması planlanan çift aynalı bir sistemden 100 MW ölçekli ticari güneş güç tesisidir. ABD'ye ek olarak dünyada birçok ülke merkezi alıcılı kavramı üzerinde deneyler sürdürmektedir. Fransa 1983 'te 2.000 kW 'lık güneş merkezi alıcılı bir tesisi tamamladı. Bu tesiste 100 m yükseklikte bir kule ve her biri 54 m<sup>2</sup> olan 200 heliostata kullanıldı. Alıcıda soğrulan enerji sıvı tuzu 450 °C kadar ısıtır, tuz bundan sonra yer seviyesine basılır burada da klasik bir buhar türbini için buhar üretmede kullanılır.

Japonya Shikoku adasında 1981 senesinden beri çalışan 1.000 kW'lık deneysel merkezi alıcılı bir elektrik üretim tesisine sahiptir her biri 16 m<sup>2</sup> olan 800 heliostat kullanılmıştır. Alıcıda dolaşan sıvı su-buhardır enerji basınçlı suda depolanır.

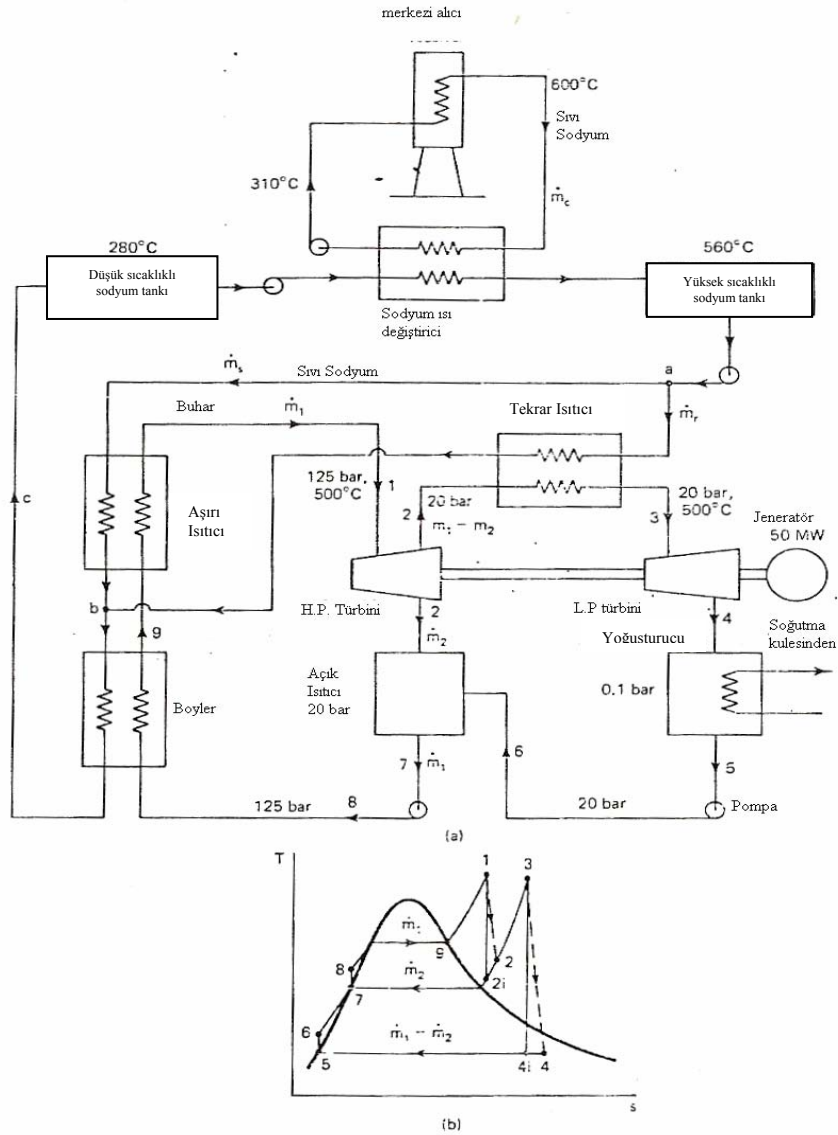
İtalya 1981'den beri Siciya'da çalışan 1.000 kW'lık deneysel bir tesis kurdu. Bu tesis yarısı 52 m<sup>2</sup> alanlı ve diğer yarısı'nda 28 m<sup>2</sup> alanlı olan 180 heliostata sahiptir. Kule yüksekliği 55m'dir. Su-buhar ısı transferi akışkanı olarak kullanılmıştır. Enerji eriyik tuzda ve basınçlı suda depolanmıştır.

İspanya, Almeria yakınlarında 1.200 kW'lık bir tesise sahiptir bu tesis 1983 'te çalıştırıldı her biri 40 m<sup>2</sup> olan 300 heliostat kullanıldı. Alıcı 60 m yüksekliğindeki bir kule üzerindedir. Eriyik tuz ısı transferi ve depolama sıvısı olarak kullanıldı (Hsieh 1986). Bu tür bir tesis ile ilgili bir hesap yöntemi aynı kaynaktan uyarlanarak aşağıdaki hesap örneğinde sunulmuştur.

#### 4.2 Örnek Tesis Hesabı

Bir güneş merkezi alıcı buhar güç tesisi alıcı ısı transfer ve enerji depolama akışkanı olarak sıvı sodyum kullanılan tesis, Şekil 4.2 (a) 'da şematik olarak gösterilmiştir. Şekilde gösterildiği gibi tesiste bir tekrar ısıtmalı rejeneratif buhar çevrimi kullanılmaktadır. Sodyum kütle akış miktarları  $\dot{m}_s$ ,  $\dot{m}_r$  ve  $\dot{m}_c$ , buhar kütle akış

miktarları  $\dot{m}_1$ ,  $\dot{m}_2$  ve aşağıda verilen bilgilere dayanarak buhar çevriminin termik verimi hesaplanmaktadır.



Şekil 4.2 Güneş merkez toplayıcılı buhar güç tesisi: (a) şematik diyagram; (b) buhar için T-s diyagramı (Hsieh 1986)

1. Buhar türbini güç çıkışı 50 MW
2. Sıvı sodyum merkezî alıcıda 310 °C den 600 °C ye kadar ısıtılıyor
3. Alçak –sıcaklık sodyum depolama tankı 280 °C’ ta tutuluyor.
4. Yüksek –sıcaklık sodyum depolama tankı 560 °C’ ta tutulacak.
5. Sıvı sodyumun özgül ısısı  $0,302 \text{ cal/g } ^\circ\text{C} = 1,26 \text{ kJ/kgK}$  olarak sabit kabul alındı.
6. Buhar yüksek-basınçlı türbine 125 bar ve 500 °C’ da giriyor.



7. Buhar alçak-basınçlı türbine 20 bar ve 500 °C' da giriyor.
8. Tekrar ısıtma 20 bar'da yapılıyor.
9. Açık besleme suyu ısıtıcısı 20 bar'da çalışıyor.
10. Yoğuşturucu basıncı 0,1 bar'dır
11. Hem yüksek-basınçlı ve hem de alçak basınçlı türbinlerin her ikisi'de %80 verimli adiabatik makinelerdir.
12. Buhar pompaları tersinir ve adyabatik olarak çalışıyorlar.
13. Sürtünmeden dolayı basınç düşmeleri ihmal ediliyor.
14. Tüm bağlantı boruları mükemmel olarak ısı yalıtımlıdır.

Buhar için sıcaklık-entropi diyagramı şekil 4.2(b)gösterilmiştir *Buhar Tablosu'*ndan (Keenan vd 1969) aşağıdaki değerler elde edilir:

$$p_1 = 125 \text{ bar ve } T_1 = 500 \text{ °C'de } h_1 = 3342 \text{ kJ/kg ve } s_1 = 6,462 \text{ kJ/kg.K}$$

$$p_{2i} = 20 \text{ bar ve } s_{2i} = s_1 \text{ 'de } h_{2i} = 2860 \text{ kJ/kg ve } T_{2i} = 234 \text{ °C}$$

$$h_2 = h_1 - \eta_T (h_1 - h_{2i}) = 3342 - 0,80(3342 - 2860) = 2956 \text{ kJ/kg}$$

$$p_2 = 20 \text{ bar ve } h_2 = 2956 \text{ kJ/kg'da } T_2 = 272 \text{ °C}$$

$$p_3 = 20 \text{ bar ve } T_3 = 500 \text{ °C'da } h_3 = 3468 \text{ kJ/kg ve } s_3 = 7,432 \text{ kJ/kg.K}$$

$$0,1 \text{ bar'da } T_{4i} = T_{\text{sat}} = 46 \text{ °C}$$

$$0,1 \text{ bar'da } s_{4i} = s_3 = 7,432 = (s_f + \chi_{4i} \cdot s_{fg}) = 0,649 + \chi_{4i} (7,501)$$

Böylece

$$\chi_{4i} = \% 90,4$$

ve

$$0,1 \text{ bar'da } h_{4i} = (h_f + \chi_{4i} h_{fg}) = 191,8 + 0,904 (2393) = 2355 \text{ kJ/kg}$$

$$0,1 \text{ bar'da } h_4 = h_3 - \eta_T (h_3 - h_{4i}) = 3468 - 0,80(3468 - 2355) = 2378 \text{ kJ/kg} < h_g$$

Bundan böyle, 4 noktası iki fazlı bölgededir ve  $T_4 = T_{4i} = 46 \text{ °C}$  olup aynı zamanda aşağıdaki değerler elde edilir.

$$0,1 \text{ bar'da } h_5 = h_f = 192 \text{ kJ/kg}$$

$$0,1 \text{ bar'da } v_5 = v_f = 1,010 \text{ cm}^3/\text{g}$$

$$T_5 = T_4 = 46 \text{ °C}$$

Böylece;

$$h_6 = h_5 + v_5(p_6 - p_5)$$

$$= (192 \text{ kJ/kg}) + (1,010 \text{ cm}^3/\text{g})(20 - 0,1 \text{ bar}) (10^5 \text{ N/bar.m}^2) (\text{m}^3 / 10^6 \text{ cm}^3)$$

$$= 194 \text{ kJ/kg olur.}$$

Bunun ötesinde;

$$20 \text{ bar'da } h_7 = h_f = 909 \text{ kJ/kg}$$

$$20 \text{ bar'da } v_7 = v_f = 1,177 \text{ cm}^3/\text{g}$$

$$20 \text{ bar'da } T_7 = T_{\text{sat}} = 212 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_8 = h_7 + v_7(p_8 - p_7)$$

$$= (909 \text{ kJ/kg}) + (1,177 \text{ cm}^3/\text{g}) (125 - 20 \text{ bar}) (10^5 \text{ N/bar.m}^2) (\text{m}^3 / 10^6 \text{ cm}^3)$$

$$= 921 \text{ kJ/kg}$$

$$125 \text{ bar'da } h_g = h_9 = 2674 \text{ kJ/kg}$$

50.000 kW olarak verilen türbinlerin güç çıkışı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$W_T = 50.000 \text{ kW} = \dot{m}_1 (h_1 - h_2) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2)(h_3 - h_4)$$

$$= (\dot{m}_1 \text{ kg/s}) (3342 - 2956 \text{ kJ/kg}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2)(3468 - 2578) = 1276 \dot{m}_1 - 890 \dot{m}_2$$

Açık besleme suyu ısısı için enerji dengesi sonucundan,

$$\dot{m}_2 (h_2 - h_7) = (\dot{m}_1 - \dot{m}_2)(h_7 - h_6)$$

veya

$$\dot{m}_2 (2956 - 909) = (\dot{m}_1 - \dot{m}_2)(909 - 194)$$

Önceki iki denklem çözülürse aşağıdaki değerler elde edilir.

$$\dot{m}_1 = 47,8 \text{ kg H}_2\text{O /s}$$

$$\dot{m}_2 = 12,4 \text{ kg H}_2\text{O /s}$$

Buhar çevrimi için, eklenen ısı  $Q_A$ , atılan ısı  $Q_R$  ve pompa gücü  $W_P$  miktarları aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Q_A = \dot{m}_1 (h_1 - h_8) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2)(h_3 - h_2)$$

$$= 47,8(3342 - 921) + (47,8 - 12,4)(3468 - 2956)$$

$$= 133.800 \text{ kW}$$

$$Q_R = (\dot{m}_1 - \dot{m}_2)(h_4 - h_5) = (47,8 - 12,4)(2578 - 192)$$

$$= 84.500 \text{ kW}$$

$$W_P = (\dot{m}_1 - \dot{m}_2)(h_6 - h_5) + \dot{m}_1 (h_8 - h_7)$$

$$= (47,8 - 12,4)(194 - 192) + 47,8(921 - 909)$$

$$= 540 \text{ kW}$$

Buhar çevriminin termik verimi, sodyum tankları arasındaki pompa gücü ihmal edilerek aşağıda verilmiştir:

$$\eta_{\text{th}} = (W_T - W_P) / Q_A = (50.000 - 540) / 133.800 = \% 37$$

Buhar aşırı ısıtıcısı için enerji dengesi aşağıdaki gibidir:

$$\dot{m}_s c_{p,Na}(T_a - T_b) = \dot{m}_1 (h_1 - h_9)$$

veya

$$\begin{aligned} & (\dot{m}_s, \text{kg/Na/s})(1,26 \text{ kJ/kgNa.K}) (560 - T_b \text{ } ^\circ\text{C}) \\ & = (47,8 \text{ kg H}_2\text{O /s})(3342 - 2674 \text{ kJ/ kg H}_2\text{O}) \\ & = 31.930 \text{ kW} \end{aligned}$$

Buhar tekrar ısıtıcısı için enerji dengesi aşağıdaki gibi verilir:

$$\begin{aligned} & \dot{m}_r c_{p,Na} (T_a - T_b) = (\dot{m}_1 - \dot{m}_2)(h_3 - h_2) \\ & (\dot{m}_r)(1,26) (560 - T_b) = (47,8 - 12,4)(3468 - 2956) \\ & = 18.120 \text{ kW} \end{aligned}$$

Buhar boyleri için enerji dengesi aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned} & (\dot{m}_s + \dot{m}_r) c_{p,Na} (T_b - T_c) = \dot{m}_1 (h_9 - h_8) \\ & \text{veya} \\ & (\dot{m}_s + \dot{m}_r)(1,26)(T_b - 280) = 47,8(2674 - 921) \\ & = 83.790 \text{ kW} \end{aligned}$$

Bundan önceki üç denklem çözümlerse aşağıdaki sonuçlar elde edilir:

$$\dot{m}_s = 241 \text{ kgNa/s}$$

$$\dot{m}_r = 137 \text{ kgNa/s}$$

$$T_b = 455 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Sodyum ısı eşanjörü için enerji dengesi:

$$\dot{m}_c c_{pNa}(600 - 310) = (\dot{m}_s + \dot{m}_r) c_{pNa}(560 - 280)$$

veya

$$\dot{m}_c = (241 + 137) (560 - 280) / (600 - 310) = 365 \text{ kgNa/s}$$

elde edilir.

## 5. SONUÇ

Dünyadaki enerji kaynakları her geçen gün, özellikle tükenbilir enerji kaynakları, azalmaktadır. Bir çok araştırmacı ve ülke, enerji taleplerini başka kaynaklarla karşılanması yollarını aramaktadır. Son yıllarda fosil kaynaklı yakıtların hızla tükenmekte olmasının yanı sıra büyük çapta çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir. Günümüzde doğal gaza olan kütleli yönelim, bu enerji kaynağının da çok kısa zamanda tükenmesine ve daha önemlisi fiyatlarının giderek yükselmesi karşısında bir çok ülkenin bunu karşılayamayacak duruma gelmesine yol açacağı çok açık olarak görülmektedir.

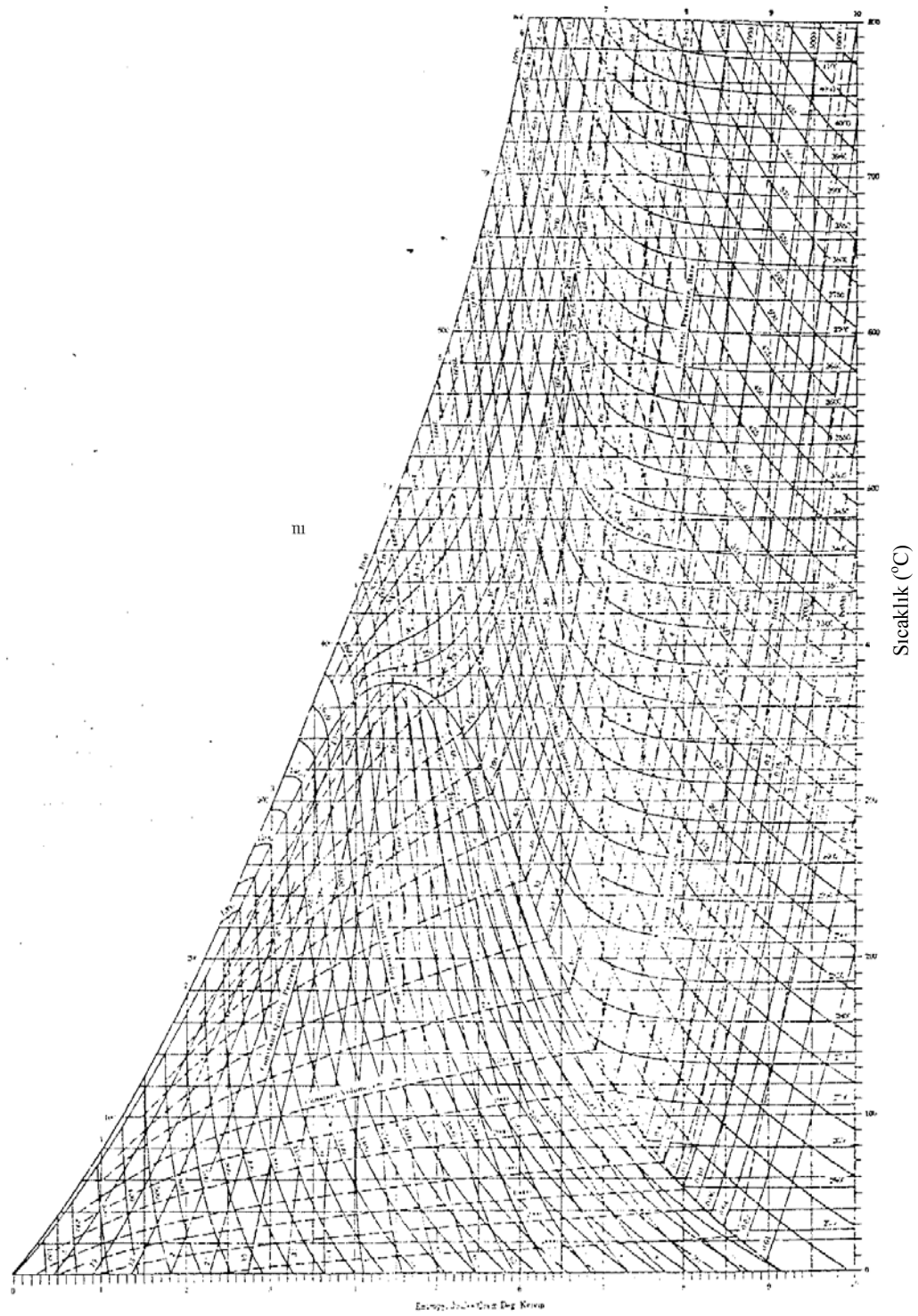
Seçenekler arasında, çok cazip gibi görünen nükleer santrallerin ise güvenlik ve güvenilirlik bakımından hem sivil hem de askeri açıdan çok sakıncalı yanları bulunmakta ve dolayısıyla enerji konusunda çalışan araştırmacıları yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanma yönünde zorunlu kılan durumlara itmektir. Bu çerçevede, hidrolik enerjinin kullanımı da gerek topografik ve coğrafik durumlar gerekse tarım ve orman alanlarının tehdit altında bulunmasından sınırlanması kaçınılmazdır. Jeotermal, rüzgar ve gel-git enerjisi gibi kaynaklar ise belirli şartlarla sınırlı olup bunlar daha ziyade rüzgar hızı, yer altı sıcak su ve buhar kaynakları ile gel-git yüksekliği olup sadece bölgesel potansiyellerle sınırlanmıştır. Günümüzde üzerinde çalışılan hidrojen enerjisi ikincil bir dönüşüm enerjisi olup, uygulamada malzeme ve depolama ile ilgili sorunlar dolayısıyla teknolojik geliştirmeye ihtiyaç duymaktadır.

Sonuç olarak, gelecekte enerji talebinin karşılanmasında en büyük kaynaklardan birinin güneş enerjisinin ileri teknoloji kullanılarak enerji dönüşüm tesisleri kurulmasıyla mümkün olacağı düşünülmektedir. Bu açıdan, bu çalışma kapsamında; yüksek sıcaklık güneş enerjisi uygulamaları ile bilgiler ve 50 MWe gücünde sodyum sıvılı merkezi alıcılı bir güneş enerjisi güç tesisi ile ilgili örnek bir hesaplama verilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Atılgan, İ. (2000) Türkiye'nin Enerji Potansiyeline Bakış. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 15: 31-47
- Barth, D.L , Pacheco, J.E., Kolb, W.J. ve Rush, E.E. (2001) The Power to Choose. Solar Energy, Washington, DC
- Beerbaum, S., Weinrebe, G. (2000) Solar Thermal Power Generation in India – a Techno – Economic Analysis. Renewable Energy, 21: 153-174
- Duffie, A.J., Beckman, A.W. (1991) Solar Engineering of Thermal Processes. Second edition, John Wiley&Sons Inc, ABD, 773s
- Güven, Ş.Y., Üçgül, İ. ve Şenol, R. (2004) Güneş Enerjisi Isıl Uygulamaları ve Güneş Kulelerinin İncelenmesi. Mühendis ve Makine, 45: 17-28
- Hsieh, J.S. (1986) Solar Energy Engineering, Prentice-Hall Inc., New Jersey (ABD), 553s
- Keenan, C.H., Keyes, F.G., Hill, P.G., ve Moore, J.G. (1969) Steam Tables International Tables, John Willey & Sons Inc., New York
- Kreider, J.F. (1979) Medium and High Temperature Solar Processes, Academic Press, Inc., New York (ABD), 3346s
- Meinel, A.B. ve Meinel, M.P. (1979) Applied Solar Energy. Addison-Wesley Comp., ABD, 651s
- Price, H., Kearney, D. (1999) A Pathway for Sustained Commercial Development and Deployment of Parabolic-Trough Technology, Ders Notları, ABD
- Solar Program Overview 2002-2003, ABD Enerji Bakanlığı Raporu
- TEAŞ-APK (2000) 2000 Yıllı Çalışma Raporları. Ankara
- Türkiye Çevre Sorunları Vakfı (2005) Termik Santrallerin Çevresel Etkileri. Ankara
- WEB\_1. (2005) Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). [www.enerji.gov.tr](http://www.enerji.gov.tr)
- WEB\_2. (2005) EERE USA. [http://www.eere.energy.gov/power/pdfs/solar\\_tower.pdf](http://www.eere.energy.gov/power/pdfs/solar_tower.pdf)
- WEB\_3. (2005) EİE Genel Müdürlüğü. [www.eie.gov.tr](http://www.eie.gov.tr)
- WEB\_4. (2005) [www.solarpaces.org](http://www.solarpaces.org)

## EK-1



Şekil A.1 Temperature-entropy Entropi (kJ/kg.K) metric units; (b) English units.

Şekil A1. Buhar için sıcaklık-entropi diyagramı (metrik sistem)  
(Keenan vd 1969)

## ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında İzmir’de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İzmir’de tamamladı. 1994 yılında Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nü kazandı ve 2000 yılında mezun oldu. 2002 yılında aynı üniversitede Yüksek Lisans eğitimine başladı ve 2006 yılında mezun oldu. İyi derecede İngilizce bilmektedir. Evli olup İzmir’de özel bir firmada Üretim Mühendisi olarak çalışmaktadır.