

# GÜNEŞ ENERJİSİ ISIL UYGULAMALARI VE GÜNEŞ KULELERİNİN İNCELENMESİ

Şevki Y. GÜVEN<sup>\*</sup>, İbrahim ÜÇGÜL<sup>\*\*</sup>,  
Ramazan ŞENOL<sup>\*\*\*</sup>

Yenilenebilir enerji kaynaklarından en önemlisi güneş enerjisidir. Güneş enerjisi ısı ve elektrik enerjisi uygulamaları için bize çeşitli alternatifler sunar. Güneş enerjisi ısı uygulamaları düşük sıcaklık, orta sıcaklık ve yüksek sıcaklık sistemleri olarak ayrı ayrı incelenebilir. Bu çalışmada orta ve yüksek sıcaklık güneş enerjisi ısı uygulamaları genel olarak tanıtılmıştır. Yüksek sıcaklık güneş enerjisi ısı uygulamalarından biri olan güneş güç kuleleri incelenerek dünyadaki uygulamaları verilmiş ve diğer güneş güç sistemleri ile karşılaştırılmıştır.

**Anahtar sözcükler :** Güneş güç sistemleri, güneş kulesi, heliostatlar, alıcılar

One of the most important renewable energy resources is solar energy. Solar energy gives us various alternatives for thermal and electrical energy. Thermal applications of solar energy analysed are separately such as low temperature, medium temperature and high temperature systems.

In this study, medium and high temperature solar power systems are generally presented. Solar power towers which are one of the applications of high temperature solar power system, are discussed, applications in the world are presented and compared with other solar power systems.

**Keywords :** Solar power systems, solar tower, heliostats, receivers.

<sup>\*</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi M.M.F. Makina Mühendisliği Bölümü

<sup>\*\*</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi M.M.F. Tekstil Müh. Bölümü

<sup>\*\*\*</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi Yenilenebilir Enerji Kaynakları Arş. ve Uyg. Merkezi

## GİRİŞ

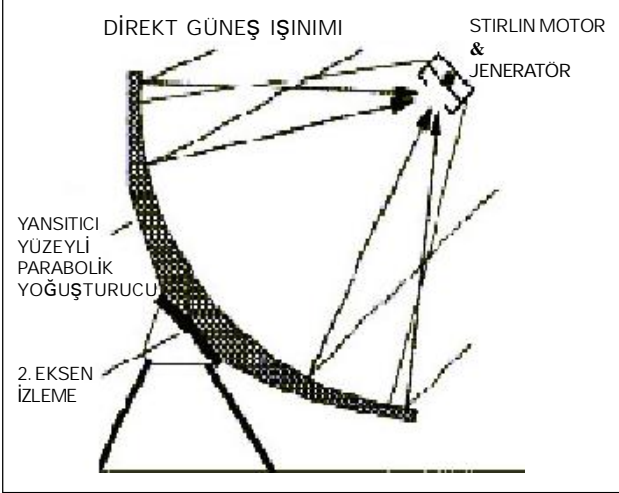
G erçekte bütün enerji kaynakları güneşten türemiştir. Günümüzde enerjinin eldesinde de büyük oranda birincil kaynaklar kullanılmaktadır. Belli başlı enerji kaynakları petrol, doğal gaz, likit petrol gazı, kömür ve odundur. Temel enerji kaynakları hızla tükenmekte olup dünya nüfusu sürekli artmaktadır. Dünya nüfusunun enerjiye bağımlılığı, enerji açığını sürekli olarak büyütmektedir. Bu temel enerji kaynaklarının hızla tükenmesi insanlığı daha uzun ömürlü enerji kaynaklarına yöneltecektir. Bu kaynaklardan en önemli ikisi nükleer ve güneş enerjisidir. Nükleer enerjinin ileri teknoloji ve maliyete ihtiyaç duyması ve bunun yanında çevreye olan zararları sebebiyle kullanılabilirliği kısıtlıdır. Güneş enerjisi ise yaygın kullanımında yüksek ve özel teknoloji gerektirmez. Güneş enerjisi genel olarak konutlarda, sanayide, tarımda, ısı enerji uygulamalarında (proses enerjisi) ve elektrik enerjisi üretiminde (PV ve ısı güç santralleri) kullanılır. Güneş enerjisinden enerji üretim sistemlerinde, düşük, orta ve yüksek sıcaklık uygulamaları vardır. Sıcak su üretimi için düşük sıcaklık uygulamaları kullanılırken, endüstriyel proses ısılarının karşılanmasında orta sıcaklık uygulamaları (odaklı kolektörler) yaygın olarak kullanılır. Buhar ihtiyacı ve elektrik enerjisi üretimi için ise endüstriyel yüksek sıcaklık güneş enerjisi uygulamaları kullanılır. (Üçgül, İ., Selbaş, R., Şenol, R. ve Kızılkıran, Ö)

### Orta ve Yüksek Sıcaklık Güneş Enerjisi Isıl Uygulamaları:

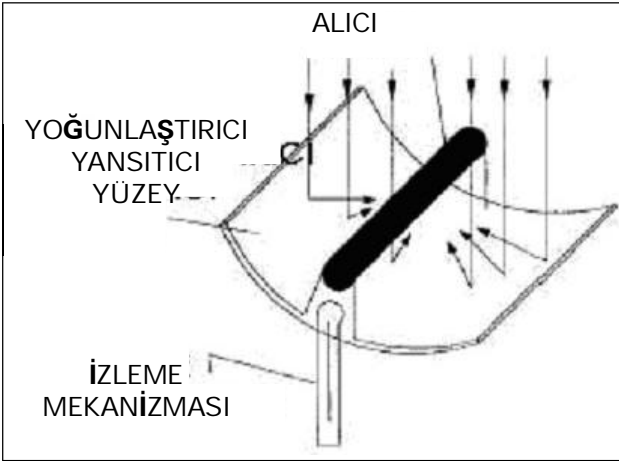
Orta ve yüksek sıcaklık güneş enerjisi ısı uygulamalarında; Silindirik-Parabolik sistemler, Çanak sistemleri, Güneş bacası, Merkezi alıcı (güneş güç kuleleri) sistemleri kullanılır.

Güneş ısı elektrik (GİE) güç tesisleri terimi ışınım odaklama ve odaklamasız tasarımlar için kullanılır. Parabolik silindirik tesisler, güç kuleleri ve Çanak/stirling sistemleri elektrik enerjisi üretimi için kullanılır. Bu sistemler güneş enerjisi odaklama donanımları ile güneş ışınlarının ısıya dönüştürme işleminin yapıldığı bir alıcı / absorber'e yansıtır ve odaklarlar. (Şekil 1-a , 1-b) Bu ısı, termodinamik bir çevrimi çalıştırmada kullanılır. Sonuç olarak ısı makinası da elektrik jeneratörünü çalıştırır. Odaklı sistemlerin dışında güneş bacası gibi odaklamasız GİE

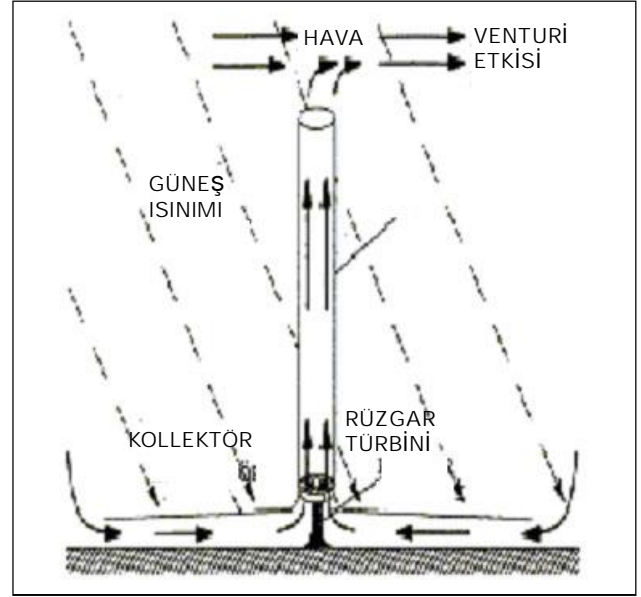
güç tesisleri de elektrik enerjisi üretmede kullanılır. Güneş bacasının tasarımı, geniş bir kollektör serası ile merkezi bir bacadan oluşur. Sıcak hava, geniş bir cam çatı kollektör altında güneş tarafından (direkt ve yansımış ışın) üretilir. Isınan hava kollektörün merkezindeki bacaya doğru akar



Şekil 1-a. Çanak/Stirling Sistemi; Temel Prensipleri. (Beerbaum S. Vd)



Şekil 1-b. Silindirik-Parabolik Yoğunlaştırıcı Temel Prensipleri (Beerbaum S. Vd)



Şekil 1-c. Güneş Bacasının Şematiği. (Beerbaum S. Vd)

ve yukarıya (Şekil 1-c) doğru çekilir. Bu çekiş bacanın tabanına yerleştirilmiş rüzgar türbinini çalıştırır.

Odaklı sistemlere ait bazı parametreler Tablo 1'de verilmiştir.

## GÜNEŞ GÜÇ KULELERİ

### Sistem Tanımı

Güneş güç kuleleri, güneş ışınlarını kule tepesine monte edilmiş olan ısı değiştiriciye (alıcı) odaklamalı yoğunlaştırarak elektrik gücü üretirler. Sistemde, gelen güneş ışınlarını yansıtan ve heliostat diye adlandırılan, yüzlerce ya da binlerce güneş izleme aynaları kullanılır. Bu tesisler, 30 ile 400MWe arası uygulamalar için en uygun tesislerdir.

Güneş güç kulesindeki 290°C'da (545°F) sıvı haldeki

Tablo 1. Odaklı Sistemler ve Güneş Bacası için Bazı Parametreler. (Beerbaum.S., Weinreb.G.)

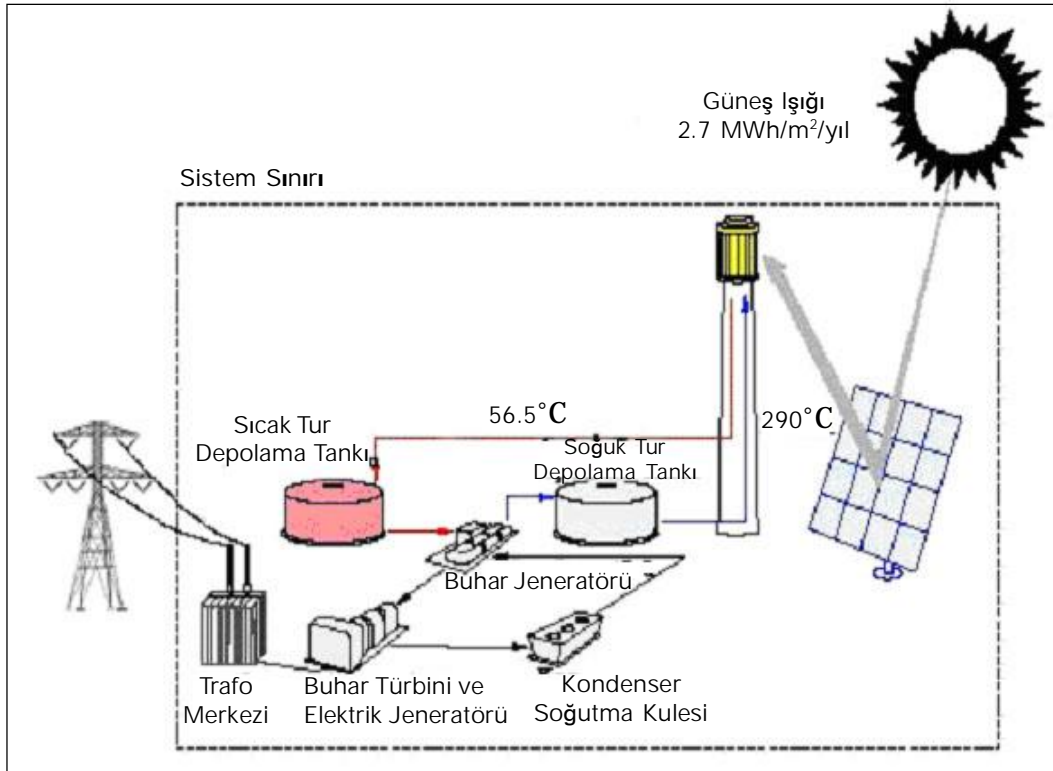
	Parabolik silindirik	Güç kulesi	Çanak/motor	Güneş bacası
Güç kaynağı	Merkezi	Merkezi	Lokal/Merkezi	Merkezi
Kapasite oranı	30...100 MW	30...400 MW	10 kW...50MW	30...200MW
Tipik çalışma modu	şebeke bağlantılı	şebeke bağlantılı	şebeke bağlantılı/şebekeden bağımsız	şebeke bağlantılı
Alan gereksinimi	18m <sup>2</sup> /kW	21m <sup>2</sup> /kW	20m <sup>2</sup> /kW	200m <sup>2</sup> /kW
Tipik verim (%)	13-15	13-15	15-17	0.7-1.1
İşletme sıcaklığı	350 °C	560 °C	800 °C	50 °C

tuz eriyiği soğuk depolama tankında alıcıya doğru pompalanır, burada sıcaklığı  $565^{\circ}\text{C}$ 'ye ( $1049^{\circ}\text{F}$ ) kadar çıkarılarak sıcak depolama tankına gönderilir. Tesisten güç çekileceği zaman, sıcak tuz, klasik bir rankine çevrim türbini/jeneratör sistemi için aşırı kızdırılmış buhar üreten bir buhar üretme sistemine pompalanır. Buhar jeneratöründeki tuz soğuk tanka geri döner, burada depolanır ve sonunda da alıcıda yeniden kızdırılır. Şekil 2'de eriyik tuzlu bir güneş güç tesisindeki akış şemasının şematik diyagramı görülmektedir. Sevk edilecek güç gereksinimi karşılayacak olan optimum depolama kapasitesini belirlemek sistem tasarımı projesinin önemli bir kısmıdır. Depolama tankları 13 saat'e kadar tam üretimdeki bir türbin gücüne yeterli kapasite ile tasarlanabilir.

Heliostat kuleyi çevreleyen alan, tesisin yıllık verimini optimize edecek şekilde düzenlenir. Alan ve alıcının boyutları işletmenin ihtiyaçlarına da bağlı olarak değişir. Tipik bir kurulumda güneş enerjisinin toplanması, türbine buhar sağlayacak maksimum gereksinim oranının aşılmasıyla meydana gelir. Sonuç

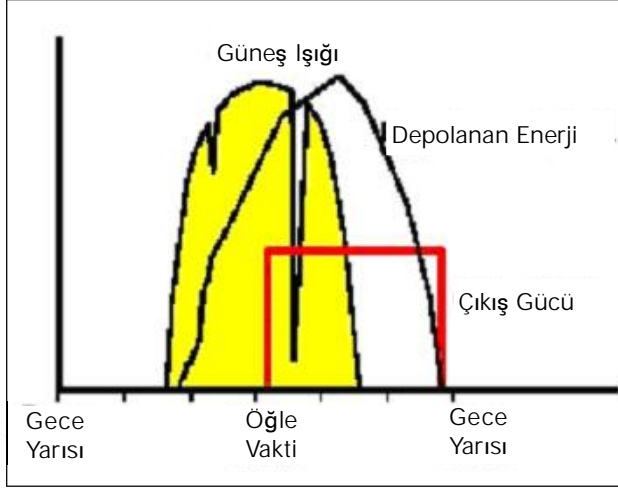
olarak, tam kapasite üretim yapan tesis ile aynı anda ısıl depolama sistemi de yüklenebilir. Kollektör sistemi tarafından (heliostat alan ve alıcı) karşılanan ısıl güç oranının türbin jeneratörü peak ısıl güç gereksinimini oranına Güneş çarpanı denir. Yaklaşık olarak 2,7'lik bir Güneş çarpanı ile, California'da Mojave çölünde tesis edilmiş olan tuz eriyikli bir güneş kulesi, yaklaşık %65'lik yıllık kapasite faktörüne göre tasarlanabilir. Sonuç olarak bir güç kulesi yedek yakıt kaynağı ihtiyacı olmaksızın yıllık %65 potansiyelle işletilebilir. Enerji depolamaksızın, güneş teknolojilerinde yıllık kapasite faktörü %25 ile sınırlıdır.

Güney california'daki tipik bir gün için yük-aktarım kapasitesinin gösterildiği Şekil 3'de tuz eriyikli bir güneş kulesinden elektriğin aktarımı resimlenmiştir. Şekilde günün bir fonksiyonu olarak güneş yoğunluğu, sıcak tanktaki enerji depolaması ve elektrik güç çıkışı gösterilmektedir. Bu örnekte, güneş tesisi güneş doğduktan hemen sonra ısıl enerji toplamaya başlar ve günün her anında tankta biriktirilen enerji sıcak tankta depolanır. Şebekenin peak yük talebine cevap



Şekil 2. Tuz Eriyikli Güç Kulesi Şematiği. (<http://www.eere.energy.gov>)

olarak,türbin saat 1:00pm'de çevrim içi olur ve saat 11:00pm'e kadar güç üretimine devam eder. Enerji depolama ve aktarma güneş güç kulesi teknolojilerinin başarısı için çok önemlidir ve tuz eriyiğinin enerji depolama etken maliyetine anahtar olduğuna inanılır.



Şekil 3. Tuz Eriyikli Güç Kulelerinin Aktarılabirliği. (<http://www.eere.energy.gov>)

Güneş kuleleri,ekonomik olması bakımından geniş kapasiteli olmalıdır. Güç kulesi tesisleri modüler değildir ve Çanak/stirling ya da yalak tip elektrik

güneş ışınlarının tesiri bol miktarda ve yüksek seviyededir.

## Uygulamalar

Güneş kuleleri 1980 öncelerinden beri Rusya, İtalya, İspanya, Japonya, Fransa ve Amerika'da tesis edilmektedir. Tablo 2'de buralarda kurulmuş olan sistemler verilmiş olup bunlar bazı önemli karakteristikler bakımından karşılaştırılmıştır.

Güneş kulelerinin öncesinde,alıcılarda ısı enerji depolamak için bir türbin jeneratörünü direkt olarak süren buhar üretimi kullanılmaktaydı. Bu sistemlerin basit olmasına rağmen ileride anlatılacağı üzere bazı dezavantajları vardı.

Güneş güç kulesi sistemlerini daha iyi açıklayabilmek için Amerika'da kurulmuş olan Solar One ve Solar Two sistemlerini ele alalım.

## Solar One

Solar One, 1982 ve 1988 yılları arasında işletilmiş olup dünyanın en geniş güneş güç kulesi tesisi olmuştur. Bu tesis güneş kuleleri ile geniş ölçekte güç üretiminin

Tablo 2. Güç Kulelerinin Karşılaştırılması (<http://www.eere.energy.gov>)

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
THEMİS	Fransa	2,5	Hi-tec tuz	Hi-tec tuz	1984
SPP-5	Rusya	5	Buhar	Su/buhar	1986
TSA	İspanya	1	Hava	Seramik	1993
Solar two	Amerika	10	Nitrat eriyikli tuz	Nitrat tuz	1996

tesisleri gibi daha küçük boyutlarda tesis edilemezler. Fakat güç kulesi klasik bir güç bloğunu kullanır ve depolama sistemi mevcut olduğu zaman kolaylıkla güç aktarımı yapabilirler. Güneş kuleleri için en uygun yerleşim alanları kuzey Afrika, Meksika, Güney Amerika, Orta Doğu ve Hindistan'dır. Çünkü buralarda

uygun olduğunu ispatlamıştır. Bu sistemde, alıcıdaki su buhara çevrilir ve klasik bir Rankine buhar türbin çevrimine güç sağlamada kullanılır. 1818 heliostattan oluşan heliostat alanında her bir heliostatın yansıtma alanı 39,3m<sup>2</sup> idi. Tesisin kapasitesi 10 MWe'ti. Onun son

yılındaki çalışması boyunca kullanılabilirliği %96 ve yıllık verimi de yaklaşık olarak %7 civarında olmuştur. (Yıllık verim rölatif olarak düşüktür çünkü tesisin küçük boyutu ve alt sistemlerin optimize edilmiş olmaması bunda etkilidir.) Solar One ısı depolama sisteminde, ısı depolama için kaya ve kumlar kullanılmış olup sistemin güç üretim yeteneği geceye kadar genişletilerek, tesisin çalışmadığı saatlerde ve sabah çalışmaya başlayacağı ilk anda sistem bileşenlerinin ılık bir sıcaklığa sahip olması sağlanmıştır. Ne yazık ki depolama sistemi karmaşıktır ve termodinamik olarak kabiliyetsizdir. Solar One güç kulesi teknolojisini başarılı bir şekilde temsil ederken su/buhar sisteminin dezavantajlarını da ortaya çıkarmıştır. Örneğin, bulut geçişleri ve efektif ısı depolamanın olmayışından dolayı türbinin fasıllı olarak çalışması gibi.

Solar One'nın işletilmesi sürecinde tuz eriyikli güç kulelerinin geliştirilmesi için araştırmalar başlatılmıştır. Bunun neticesinde Solar two projesi geliştirilmiştir.

### Solar Two

Tuz eriyikli güç kulelerinin geliştirilmesini teşvik etmek amacıyla Southern California Edison, U.S enerji departmanına katılarak faydalı bir konsorsiyum kurularak tuz eriyikli ısı transfer sistemini de içine alan Solar One tesisi yeniden tasarlandı. Tesisin yeniden tasarlanmasının amacı, nitrat tuz teknolojisini kanıtlamak, güç kulelerinin teknik ve ekonomik risklerini azaltmak ve güç kulesi teknolojilerinin ticarileştirilmesini teşvik etmektir. Yapılan bu yeni tasarıma Solar Two ismi verilmiştir.

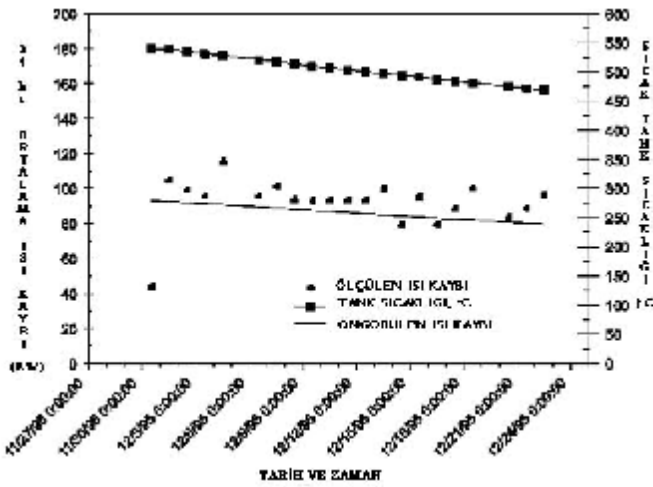
Solar two tesisi yeterli ısı depolama ile 10 Mw elektrik üretmekte ve güneş etkisini yitirdikten sonra bile türbin 3 saat boyunca tam kapasiteyle çalışabilmektedir. Solar One'dan Solar two'ya geçişte yeni bir tuz eriyikli ısı transfer sistemini (alıcıyı, ısı depolamayı, boruları ve buhar jeneratörünü içine alan) ve yeni bir kontrol sistemini gerektirmiştir. Solar One'a ait Heliostat alan, kule ve türbin/jeneratör çok küçük modifikasyonlar gerektirmiştir. Solar two ilk olarak 1996'nın başlarında şebekeye bağlanmış ve 1997'nin sonunda tam olarak görevini yerine getirmeye 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 yapılmış) oluşur. Paneller

boruları çevreleyen silindirik bir kabuktan, yapısal desteklerden ve kontrol ekipmanlarından oluşur. Tüplerin dış yüzeyi; güçlü, yüksek sıcaklık ve ısı çevrime dayanıklı ve gelen güneş ışığını %95 soğurma özelliğine sahip olan siyah pyromark boya ile kaplanmıştır.

Alıcı tasarımı, konveksiyon ve radyasyondan dolayı oluşan kayıplarını azaltmakta, soğurulan maksimum güneş enerjisi miktarını optimize etmektedir. Tasarım, lazer kaynak, karmaşık tüp-meme-manifold bağlantıları, bir tüp kelepçesi tasarımı (tüpün genişlemesi ve büzülmesi) ve temassız akı ölçüm cihazlarını içerir. Ayrıca alıcı herhangi bir hasara uğramadan sıcaklığı hızlı bir şekilde değiştirebilir. Örneğin bir bulut geçişi esnasında, alıcı sıcaklığı 290°C'dan 570°C (554-1058°F)'ye güvenli bir biçimde bir dakikadan daha az bir sürede değiştirir.

Tuz depolama ortamı %60 sodyum nitrat ve %40 potasyum nitrat karışımından oluşur. Bu karışım 220°C (428°F)'de erir ve soğuk tankta da eriyik halini (290°C/554°C) korur. Eriyik tuz elle tutulması zor olabilir çünkü düşük bir viskoziteye sahiptir (suya benzer) ve metal yüzeyleri iyi ıslatır. Sonuç olarak, onun kontrol edilmesi ve taşınması zor olabilir. Bu teknolojinin başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi tuz eriyiği ile çalışabilecek pompaların, vanaların, vana contaları ve contalık malzemelerin belirlenmesidir. Bu nedenle Solar Two ; minimum sayıda conta bileziği ve en fazla transdüser elemanı, vanaları ile tasarlanır ve uygun yerlere kaynak yapılır. Solar Two için enerji depolama sistemi 875,000 litrelik 2 adet depolama tankında oluşur. Tanklar dış ortamdan yalıtılmış olup sıcak tank paslanmaz çelikten soğuk tank ise karbonlu çelikten yapılmıştır. Sistemin ısı kapasitesi 110Mwh<sup>t</sup>'dir. Doğal bir konveksiyonlu soğutma sistemi her bir tank tesisinin aşırı ısınması ve toprak altındaki aşırı dehidrosyonun minimize edilmesinde kullanılır. Sıcak tuz için borular, vanalar, kaplar ve ayrıca tuz eriyiği çevresindeki korozyona dayanımı için paslanmaz çelikten yapılmıştır. Soğuk tuz sistemi yumuşak karbonlu çelikten yapılır. Buhar jeneratör sistemi ısı dönüştürücüleri; kabuk ve tüp süper kızdırıcısı, 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 tankta ki tuz çok kademeli merkezkaç pompası vasıtası ile kule tepesindeki alıcıya pompalanır. Tesiste toplanılan başlangıç verileri tasarım

boyunca tahmin edilen alıcısındaki ve ısıl depolama tanklarındaki değerleri göstermiştir. Örneğin; 26 Mart 1997'de toplanan verilere göre alıcının soğurduğu enerjinin  $39,8Mw^t$  (bu tasarım değerinin %93'ü dür.) olduğu ortaya çıkmıştır. Isıl depolama sistemindeki sıcak tank çok iyi ısıl karakteristikler sergilemektedir. Şekil 4'te tuz eriyiği ile doldurulmuş sıcak depolama tankına ait aylık uzun soğuması görülmektedir. Tankın çok yavaşça soğuduğu (bir ay boyunca yaklaşık  $75^{\circ}C / 167^{\circ}F$ ) ve ölçülen ısı kayıpların tasarımında tahmin edilen değerlere göre %10 farklılık gösterdiği görülmektedir.



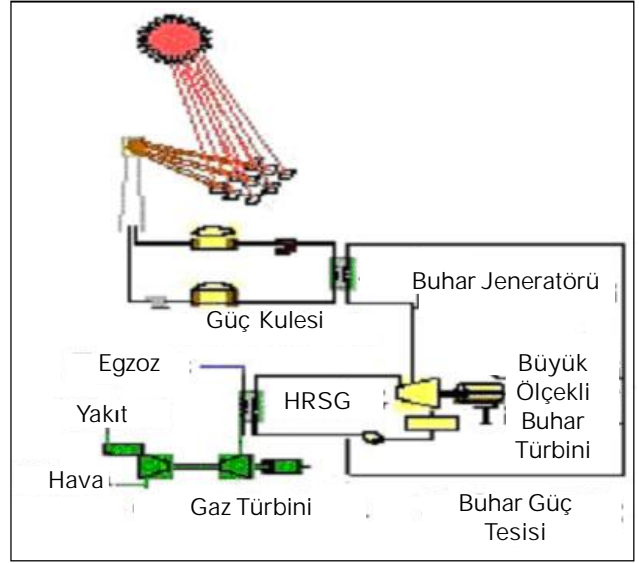
Şekil 4. Solar Two'ya Ait Sıcak Depolama Tankının Soğuması (<http://www.eere.energy.gov>)

### Sistemin Uygulanması, Faydaları ve Etkileri Başlangıç Sistem Uygulamaları

Hibrit tesisler, yeni güç tesisi teknolojisinin yayılması ve daha düşük maliyetteki güneş gücü dağıtımının birleştirilmesiyle ortaya çıkacak olan finansal risklerin azaltılmasında ticari ölçekli (>30MWe) başlangıç güç kuleleri muhtemel klasik fosil yakma tesisleri ile hibrit olarak kurulacaktır.

Doğal gaz kombine çevrimli ve kömür yakmalı yada yağ yakmalı rankine çevrimleri ile yapılabilecek pek çok hibritleme seçeneği vardır. Kombine çevrimli hibrit entegrasyon için bir seçenek Şekil 5'te gösterilmiştir.

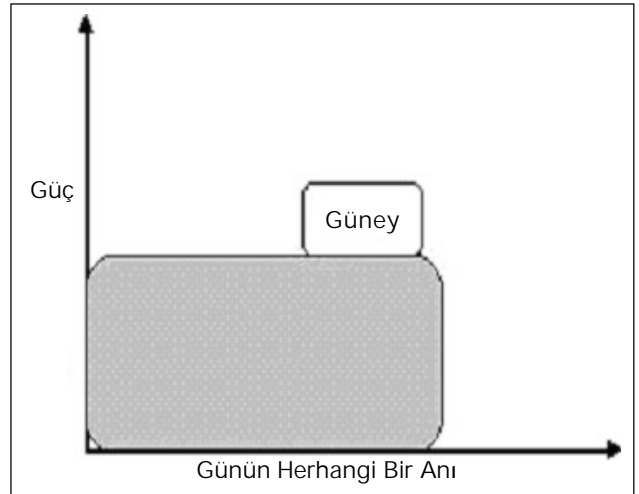
Hibrit bir tesiste, güneş enerjisi fosil yakıt kullanımını azaltmada yada buhar türbinine çıkış gücünü artırmada kullanılabilir. Kuramsal artırılmış güçlü hibrit güç



Şekil 5. Kombine Çevrim Tesisi İle Hibridlenmiş Güç Kulesi. Güç, Gaz Türbininde (sadece fosil) ve Buhar Türbininde Üretilir. Güneş Buhar Jeneratöründen Gelen Buhar, Buhar Türbinine Girmeden Önce Isı Geri Kazanımlı Buhar Jeneratöründen (HRSG) Gelen Fosil Buharı ile Karıştırılır. (<http://www.eere.energy.gov>)

tesisinden alınan tipik günlük çıkış gücü Şekil 6'da gösterilmiştir.

Artırılmış güçlü hibrit bir tesiste, toplam elektrik kömür yakmalı bir Rankine çevrimini ya da kombine bir çevrim tesisinin (Şekil 5) taban kısmını içine alan



Şekil 6. Bir Hibrit Tesise Ait Kuramsal Bir Güç Profili. Bu Durumda, Isıl Depolama Güneş Elektrikliğini Gecenin İlerleyen Saatlerindeki Peak'larda Kullanır. Fosil Yakma Tesisi Üzerine Temellendirilmiş Olan Bir Hibrit Güneş Güç Kulesinde, Güneşin Katkısı Tesisten Peak Çıkış Gücünün Yaklaşık %25 ve Yıllık Elektrikliğin %10 İla %25 Arasıdır (daha yüksek bir yıllık güneş oranı 13 saatlik bir ısıl depolama ile elde edilebilir ve daha düşük güneş oranı ise birkaç saatlik depolama ile elde edilebilir). (<http://www.eere.energy.gov>)

yüksek kapasiteli bir buhar türbini ile üretilir. Böylece güneşin olduğu zamanlarda güneş enerjisi ve fosilin her ikisi birden işletilebilir. Bu kavrama ait çalışmalar türbinin sadece fosil çalışma modunda buhar türbininin kapasitesini %25'ten %50'nin ötesine taşır. Kapasite ötesindeki bu oran tavsiye edilmez çünkü ısılda elektrikle çevrim verimi, sadece yakıt modunda çalışmayla birleştirilmiş kısmi yüklerde azalacaktır.

### Sistemin Yararları - Enerji Depolama

Pahalı olmayan ve verimli bir enerji depolama sisteminin mevcut oluşu, güneş kulelerine bir rekabet avantajı verir. Kuramsal olarak 200MW'lık tesisler için güneş-enerji depolama teknolojilerinin tahmin edilen maliyetleri ,performansları ve ömürleri Tablo 3'de (<http://www.eere.energy.gov>)

[/www.eere.energy.gov](http://www.eere.energy.gov)) karşılaştırılmıştır.

### Çevresel Etkileri

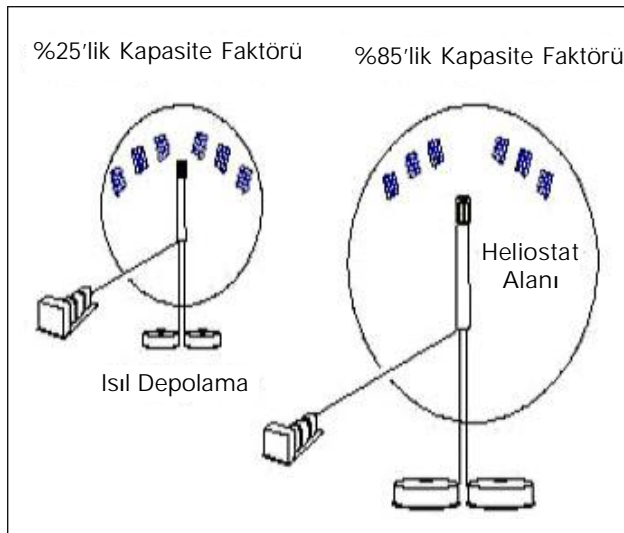
Güneş güç kulesi tesislerinin işletilmesi esnasında tehlikeli gazlar ya da sıvı emisyonlar/radyasyonlar açığa çıkmaz. Eğer kazayla tuzun döküldüğü görülürse,tuz toprakta önemli etkiler yapmadan önce donacaktır. Tuz bir kürek yardımıyla kaldırılır ve eğer gerekiyorsa yeniden kullanılmak üzere çevrime katılır. Eğer güç kulesi klasik bir fosil tesis ile hibritlenmiş ise tesisin güneşle çalışmayan kısımlarında emisyonlar ortaya çıkacaktır.

### Tuz Eriyiği

Nitrat tuz eriyiği,mükemmel bir ısı depolama ortamına sahip olmasına rağmen akışkanı bir problem

Tablo 3. Enerji Depolama Sistemlerinin Karşılaştırılması (<http://www.eere.energy.gov>)

Tesis Tipi	200MW'lık bir tesis için enerji depolamasının tesis maliyeti (\$/kWhre)	Depolama sisteminin Ömrü (yıl)	Depolama Verimi (%)	Maks. işletme Sıc.(°C/°F)
Tuz eriyikli güç kulesi	30	30	99	567 /1053
Sentetik Yağlı Parabolik Yalak Tip	200	30	95	390 / 734
Batarya Depolamalı şebeke bağlantılı	500 – 800	5 - 10	76	N / A



Şekil 7. Bir Güneş Güç Kulesinde, Tesis Tasarımı Farklı Farklı Kapasite Faktörleri Uygulanarak Yapılabilir. Verilen Bir Türbin Boyutu İçin Kapasite Faktörünü Artırmada; 1) Heliostat Sayısı Artırılır. 2) Isıl Depolama Tankları Genişletilir. 3) Kule Yüksekliği Artırılır. 4) Alıcı Boyutları Artırılır. (<http://www.eere.energy.gov>)

haline getirebilir. Çünkü o yüksek bir donma noktasına sahiptir (220°C). Tuz eriyiğini korumak için oldukça kompleks bir ısı izleme sistemi kurulmalıdır.(ısı izleme,boruların dış yüzeyine elektrik kablolarının eklenmesinde oluşur. Borular rezistanslı ısıtma yoluyla ılık tutulur.) ısı izlemenin kurulmasının uygun olmamasından dolayı Solar Two'nun başlangıcı esnasında problemler ortaya çıkmıştır. Bu problemler belirlenmiş ve doğrulanmış olmasına rağmen, araştırmalar tesisteki ısı izlemeye olan güvenin azaltılmasını gerektirdi. Bu bir veya daha fazla seçenek yardımıyla başarılabılır: 1)daha düşük bir donma noktasında bir tuz antifrizi geliştirmek 2) Isı izlemenin ön uygulaması yapılmaksızın soğuk başlangıç olabilecek bileşenleri belirlemek ve/veya geliştirmek 3) ısı 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 güç kuleleri için yeterli iken, tasarımdaki gelişmeler ve standartlaşmalar riskleri azaltacak ve sonunda da işletme ve bakım maliyetleri azalacaktır.

### Güneş Alıcı Sistemleri

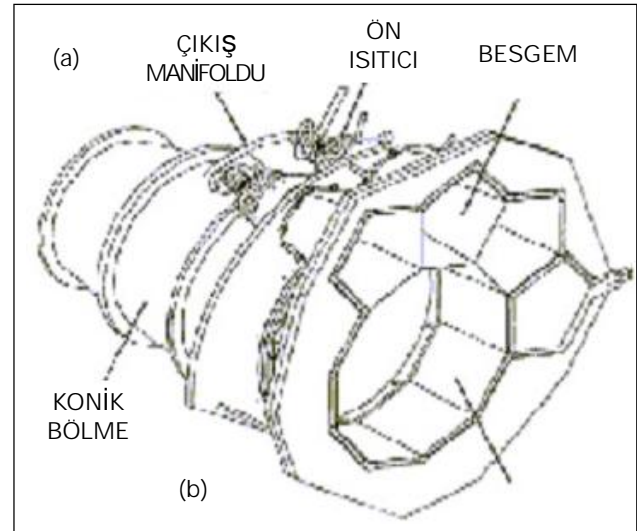
Güneş alıcı sistemi olarak iki sistem kullanılmaktadır.

#### Bölmeli Alıcı

Güneş alıcısında hassas bir verimde yüksek bir sıcaklık elde etmek için izotermal olmayan ya da bölmeli bir alıcı kullanılmaktadır. Alıcı kayıpları daha çok alıcı sıcaklığına bağlıdır ve yüksek sıcaklıktaki bir alıcıda esas kayıp bileşeni, sıcaklıkla artan yayınımdır. Bölmeli bir alıcı, alıcı mesafelerini farklı sıcaklıklı bölümlere ayırarak bu kayıpları azaltır. Ve akışkan, sıralı olarak bu bölmelere doğru, sırayla artan irradyasyon akısı ve sıcaklığıyla ısıtılır. Alıcı açıklığının geniş bir kısmı, bu yüzden aslında alıcının maksimum sıcaklığından daha düşüktür ve kayıplar ısıl bir dengeye ya da izotermal tasarıma göre önemli bir şekilde göreceli olarak azalır. Burada esas olarak alıcıda yayınım kayıpları ele alınmış, konveksiyon ve iletim kayıpları ihmal edilmiştir. Bu, yüksek sıcaklıktaki bir alıcıda hassas bir kabuldür(yayınım kayıpları, sıcaklığın dördüncü gücü ile arttığından diğer kayıp mekanizmalarından çok daha etkindir.)Alıcı açıklığı, çevrede düşük ve merkeze doğru kademeli olarak artan bir sıcaklıkta siyah bir yüzeyle modellenir.

Heliostatlardan yansıyan ışık, bir koni içindeki yaklaşık 120'lik bir yarım açıyla ulaşır.İkincil yoğunlaştırıcıların bir dizisi, (Şekil 8) gelen ışınımı ve dağıtılmış alıcılardaki kanal kısımlarını kabul eder. Merkezi ikincil yoğunlaştırıcının giriş mesafesine gelen ışığın yaklaşık %40 'ı yüksek sıcaklıktaki alıcı kısma gider. Merkezi ikincil yoğunlaştırıcının geometrisi yaklaşık olarak bileşik parabolik yoğunlaştırıcı gibidir.(120'lik giriş açısı ve 650 ile sınırlandırılmış çıkış açısı) Yoğunlaştırıcı yedi konik bölmeden yapılır.İki bölüm ince,cıvalı,alüminyum levha yansıtıcılarla kaplanır. Sonraki

iki bölüm ince,cıvalı,alüminyum düzlem ile (ön yüzeyi gümüş astarlı) kaplanır. Son üç bölüm yüksek yansıtıcılığı sağlamak için nispeten daha küçük eğrilik yarı çapında direkt elmasla kaplanır. Testler esnasında alıcı mesafesindeki ortalama giriş akısı 2500 ve 4000 kW/m<sup>2</sup> arasında (yoğunlaştırma oranı,800W/m<sup>2</sup> ışınım için C=3100-5000) tahmin edilir. Bu değerler yaklaşık 8000 kW/m<sup>2</sup>'lik tasarım akı değerlerinden daha küçüktür. Bu fark ikincil yoğunlaştırıcının optiksel kalitesindeki bozulmadan kaynaklanır. Düşük sıcaklık kademeleri için yoğunlaştırıcılar yaklaşık olarak bileşik parabolik yoğunlaştırıcılar (130'lik kabul açısı ve 650'lik çıkış açısı )gibi tasarlanırlar. Merkezi yoğunlaştırıcının ilk konik bölmesi, ikinci bölmedeki dairesel bir karşı bölüme geçilerek düzlemsel yüzeylerin ongen yapılmasıyla yenilenir. (Şekil 8)



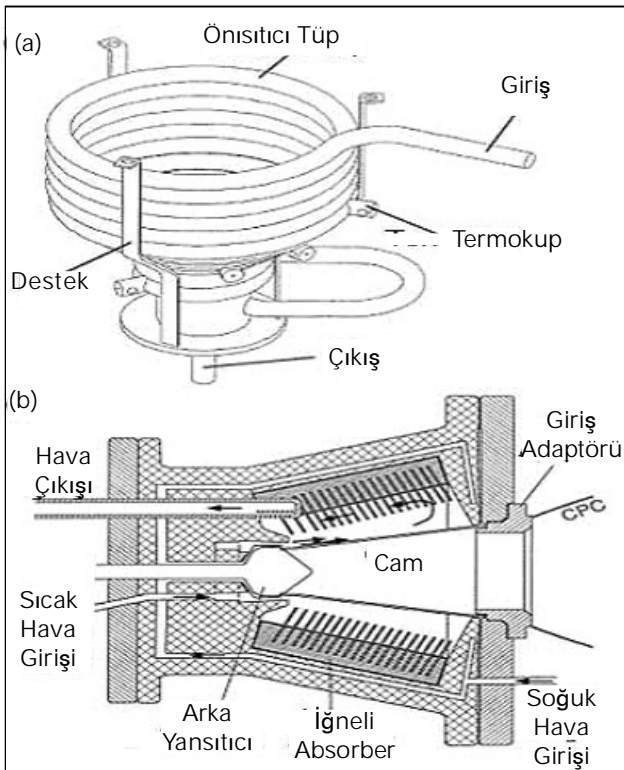
Şekil 8. Merkezi Parabolik Yoğunlaştırıcıda Önkızdırıcı ve Yoğunlaştırıcı Düzenlemesi. (Kribus.A. vd)

Yapılan çalışmalarda mevcut deneyler için, on adet ön ısıtıcıda sadece dört çıkış tesis edilmiştir (Kribus.A. vd). Her beşgen yoğunlaştırıcı, ince, siyah gümüşten kaplanan (0,2 mm) ve aksel yönde parabolik eğrilikle beş tane yansıtıcıdan yapılır. Testler sırasında yoğunlaştırıcıdan ön ısıtıcıya giren ortalama akı değeri 850 ve 1400 kW/m<sup>2</sup> arasında tahmin edilmektedir. Düşük sıcaklık kademeli alıcılar gibi tasarlanırlar.



Kavite, duvarları, kavite etrafında spiraller oluşturan absorber tüpünden oluşur.(Şekil 9.a) Kavite kavite içindeki optimum akı ve sıcaklık dağılımını elde etmek için bir topaç gibi tasarlanır. İkincil yoğunlaştırıcının arka kısmı kavitenin ön duvarı gibi çalışır. Tüp, yoğunlaştırıcının arka bloğunun arkasındaki destekle tutturulmuş bir yerde durur. Bu tasarım katı kavite duvarları ihtiyacını ortadan kaldırır. Tüplerin bazı ısıl genişlemelerine müsaade eder ve imalatı ve uygulaması kolaydır. Ön ısıtıcı güneş toplayıcısının dışı, seramik yalıtım örtüsüyle kaplanır. Çalışma gazı, tüpteki ön duvar yakınlarındaki girişten (bitişik yoğunlaştırıcıya) topacın arka konik kısmına akar. Absorber tüpü, sıcaklığı 800oC'ın üzerine çıkarabilmek için Inconel 600'den yapılır.

Yüksek sıcaklık alıcı bölümleri (ışınımı merkezde kabul eden) düzlem mesafesinin yüksek akış bölgesi direkt yansımali toroid basınçlı alıcı detaylı olarak tanımlanmıştır.Direkt yansımali toroid basınçlı alıcı,yoğunlaştırılmış güneş ışığını soğuran ve ısının çalışma sıvısına transferi gibi enerjisini transfer eden



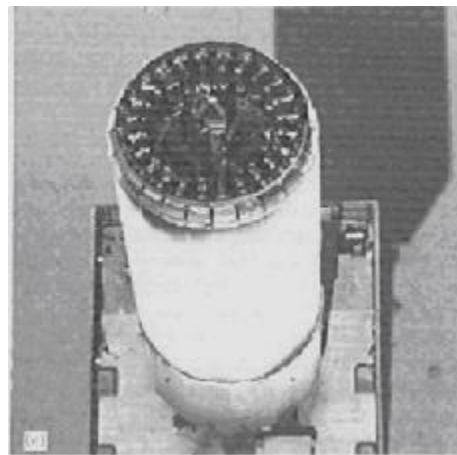
Şekil 9. Bölmeli alıcı sisteminde alıcılar. a) Düşük sıcaklık Alıcısı (önısıtıcı) b) Yüksek sıcaklık alıcısı. (Kribus.A. vd)

bir iğneli valsli hacimsel absorberden meydana gelir. Direkt yansımali toroid basınçlı alıcı kavitesi, eritilmiş silikondan yapılan yüksek basınçta çalışmaya izin verir. Direkt yansımali toroid basınçlı alıcının orijinal tasarımı düşük sıcaklık kademesinden ön ısıtıcı hava akışı için ilave bir girişin eklenmesiyle modifiye edilir. Böylece soğuk giriş soğuk hava olarak girer, ön ısıtıcı baypass edilir ve pencerenin soğutması yapılır. İkinci olarak ön ısıtmalı hava akışı, Şekil 9.b'de gösterildiği gibi soğuk akış çevresindeki toroid bölgeye boşaltılır.

### 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, aynalar aracılığı ile yüksekte bulunan kule üzerindeki bir alıcıya enerji yoğunlaştırması ve alıcıda elde edilen buhar türbin-alternatörlerle elektrik



Şekil 10. Alıcının Yukarıdan Görünüşü (Duffie,A.J., vd.)

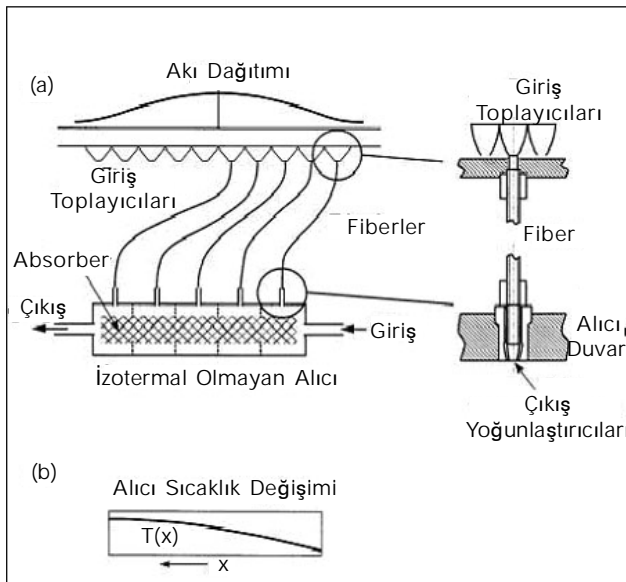
enerjisi üretilmesi şeklindedir. (Şekil 10)

Fiber Optikli Kule Yansıtıcıları (TROF)

Güneş enerjisinde fiber sistemlerde başarılı olmak için temel ihtiyaç fiber kabloların izin verdiği geometrik özgürlüklerden en yüksek seviyede yararlanmaktır. Fiber kablo uzunluğunu düşük seviyede tutmak iki dezavantajdan kurtulmayı sağlar. Fiyat ve incelik. Fiyattaki yeterli miktardaki alçalma geometrik elastizitedeki fiyat azalması ile olur. Sistemdeki fiberlerin toplam karşıt parçaları sistemin gücüyle orantılıdır ki bu güç başlıca kollektörün alanı ile ölçülmüştür. Fiber kablonun uzunluğu başlıca kollektörün yarıçapı ile orantılıdır. Fiberlerin toplam gücü ve malzemenin fiyatından dolayı toplam yarı çapın küpü toplam güçten çok daha çabuk artmaktadır. Fiberlerdeki kayıplar fiberin boyuyla doğru orantılıdır ve bu orantı toplam yarıçapla orantılı olarak artmaktadır. Buradan da görüldüğü gibi küçük sistemlere fiber uygulanması daha uygundur. (ZIK. O. Vd)

### Fiber Işık Dağıtıcısı

Fiber dağıtıcılar, tarlada bulunan heliostatlardan gelen



Şekil 11. Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi İçin Fiber Dağıtıcı ve İzotermal Olmayan Alıcı. a) Ana Kollektörün Hedefindeki Düzgün Olmayan Akı Dağıtımını Olayı. b) Alıcıdaki Sıcaklık Dağıtımını (ZIK. O. Vd)

toplanmış ilk ışığı kabul ederler. Dağıtıcının şematik gösterimi Şekil 11'dedir. Dağıtıcının ana girişi küçük dielektrik toplayıcılar içerebilir, bu toplayıcılar fiberlerle aynı metalden yapılmışlardır ki bunlar ışığa her fibere girişte yol gösterirler. Bu toplayıcılar birincil kollektörün kenar açısı ile fiberin radyasyonu alışı açısı arasındaki farkı telafi edilebilirler.

Schott W'un fiberi mükemmel bir sayısal aralığa sahiptir (0,86). Bu sebepten dolayı diğerlerine nazaran daha fazla akı taşıyabilmektedir. Bu fiber 2,3 dB/m taşıyabilmektedir ki bu da güneşin tayfının taşıyabildiğinin üzerindedir, fakat yalnızca kısa mesafelerde kullanılabilir.

Spectran'ın kin de HCN-H1000T ise daha düşük sayısal aralığı (0,48) vardır ve daha düşük ışık taşıma kapasitesine sahiptir (0,35 dB/m). Ancak bu fiber daha uzun mesafelere taşımak için daha uygundur.

Seri üretim haberleşme fiberleri daha düşük fiyata sahiptir ve genellikle metre başına birkaç sent daha ucuzdur. Bununla birlikte fiberler güneş için uygundur, geniş çaplıdır, yüksek sayısal aralığa sahiptir ve düşük iletimi vardır, seri üretim yapılamaz buna rağmen bunların fiyatları daha yüksektir. Güneş enerjisi için kullanılan fiberlerin büyük derecede bugün haberleşmede kullanılan fiberlerle aynı teknikle üretildiğini farz edelim. Haberleşme fiberlerinde, fiyat; üretim yöntemleriyle malzeme fiyatlarının küçük bir kısmıyla (% 10) belirlemektedir. Kalın güneş fiberleri için birim uzunlukta ince fiberler aynı fiyatta olduğu farz edilir fakat malzemenin miktarı biraz daha yüksektir.

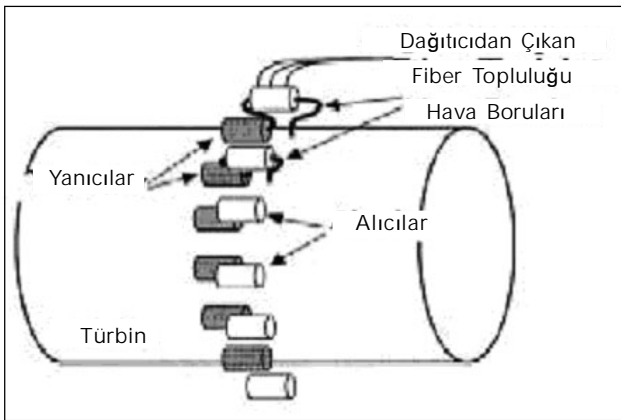
### İzotermal Olmayan Alıcı

Yüksek ısı oda toplayıcıları için geleneksel tasarım, diğerlerine nazaran küçük bir boşluk ve ileride de toplanmış güneş ışığının girişi vardır. Toplayıcı malzeme bazı geometrik şekillerde olabilir. Delik çevresinde toplanan ışık tüm toplayıcı yüzeylerinden yayılır. Bu tasarım ısı transferi için çok gerekli değildir.

### Dağılmış Alıcı Sistemi

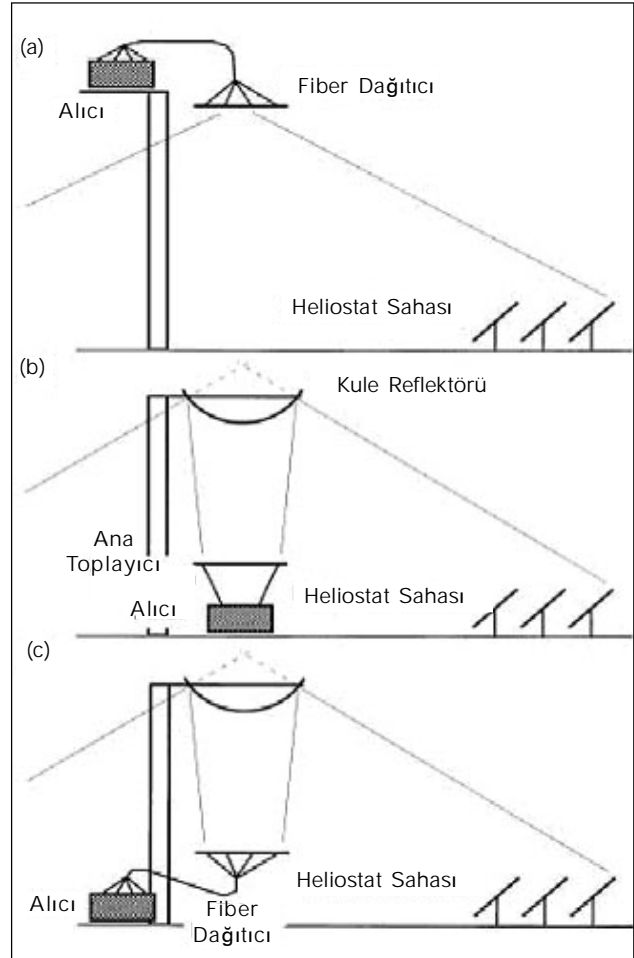
Fiber dağıtıcıyı son toplayıcı olarak kullanmak, bir derecede özgürlük sağlar fakat önceki güneşsel tasarımlar için uygun değildir. Bugünkü güneşsel tasarımlarda ışınım toplanır ve odaksal alanda bulunan tek alıcı ünitesinde kullanılır. Hatta bölünmüş alıcı sistemi bile ikinci toplayıcıların düzenine bağlılığından beri hala aynı fiziksel konumda bulunmaktadır ve alıcı kademeleri arasındaki uzaklık; ısıyı düşürmek ve birleşmiş borulardaki basınç kayıplarını önlemek için minimal düzeyde tutulmalıdır. Dağılmış alıcılar ayrıca çizgi-toplama sisteminde de kullanılır. Gerçekte tek alıcılar zorlanarak doğrusal odak olarak kullanılmaktansa noktasal odak olarak kullanılır. Optik fiberlerin kullanılmasıyla, dağılmış alıcıların kullanılmasına uygunluk yolu açıldı. Fiber yığınlarının bazı bölümlerini başka yerlere kanalize edebilir ve alıcıları ayırarak özgür ve işlevsel hale getirip birbirine paralel hale getirebilir.

Gaz türbinlerinin çoğu bugün yayılmış alıcıya sahiptir. Sıkıştırılmış hava, türbin çevresinde yer alan yanma odasına gönderilir. Bu türbinler, standart güneş makinaları ile birleştirilemez ki bu da tüm basınçlı havanın, tek bir harici boruya girmesini gerektirmektedir. Dağılmış alıcı sistemini kullanarak, birçok yeni küçük alıcı yapılabilir. Bunlardan biri her yanma odası için ve optik fiber topluluğunun bir bölümünü her alıcıya kanalize eder. (Şekil 12.a)



Şekil 12.a. Dağılmış Halkalı Yanıcı Bir Gaz Türbini İçin Dağılmış Alıcı Sistemi. (ZIK. O. Vd)

### Sistem Seçenekleri



Şekil 12.b Üç Ayrı Sistem Tasarımı. a) Kule-Üst b) SCOT c) TROF (ZIK. O. Vd)

### SONUÇ

Güneş enerjisi ısı uygulamaları için parabolik silindirik sistemler, güç kuleleri, Çanak/Motor sistemleri ve güneş bacası teorik olarak incelendiğinde en büyük kapasite oranına güç kulesi modeliyle ulaşabileceği görülmektedir. Bununla birlikte 550oC - 560oC olan işletme sıcaklığı bazı modifikasyonlar ile (heliostat sayısının artırılması, depolama ortamının iyileştirilmesi, ısı transfer akışkanının seçimi, yalıtım, alıcı seçimi ve alıcının iyileştirilmesi vb.) 1000 oC'ye kadar çıkarılabilmektedir. Bütün bu üstünlüklerinin yanında alan gereksinimi bakımından da (21m<sup>2</sup>/kW) oldukça uygun olduğu görülmektedir. Verimlilikleri yaklaşık olarak %13 - %15 arası değişen

bu sistemlerde, günümüz teknolojisinde ulaşılan seviyede verim değerinin artırılması mümkündür. Çanak/Motor sistemleri, alan gereksinimi (20m<sup>2</sup>/kW), verim (%15 - %17) ve işletme sıcaklığı (800 oC) bakımından güç kulelerine göre daha üstün görünse de uygulamada pek çok sorunla karşılaşmaktadır. Aslında pratikte Çanak/Motor sistemlerinin güç kulelerine göre tek bir üstünlüğü vardır. O da lokal olarak çalışabilmesi ve küçük kapasiteli güç talepleri için uygun olmasıdır (örneğin, 25 kW'lık bir Çanak/Motor sistemi ile bir köyün elektrik ihtiyacı karşılanabilir). Güneş bacası sistemi ise hem alan gereksinimi (200m<sup>2</sup>/kW) büyük hem de verimi (% 0,7 - 1,1) ve işletme sıcaklığı (50 oC) düşüktür. Bunun yanında parabolik silindirik ve Çanak/Motor sistemlerine göre daha yüksek bir kapasiteye sahiptir. Parabolik silindirik tesisler ise alan gereksinimleri (18m<sup>2</sup>/kW) düşük olmasına rağmen işletme sıcaklığı (350 oC) ve kapasite oranı da (30-100 Mw) düşük olduğundan güneş kulelerine göre dezavantajlıdır.

Sonuç olarak ülkemiz enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında güneş enerjisinden üretim için en uygun sistem Güneş Güç Kuleleri olarak görülmektedir.

## KAYNAKÇA

1. Üçgül, İ., Selbaş, R., Şenol, R. ve Kızılkıran, Ö. , 3-5 Eylül 2003 , "Güneş Güç Sistemlerinin Heliostat Alan Düzenlemesi ve Termodinamik Analizleri", Ulıbtk'03 14.Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi Bildiri Kitabı.,Isparta, S.373-380.
2. Beerbaum, S., Weinrebe, G., 2000, "Solar Thermal Power Generation in India - a Techno - Economic Analysis", Renewable Energy, V.21, S.153-174.
3. [http://www.eere.energy.gov/power/pdfs/solar\\_tower.pdf](http://www.eere.energy.gov/power/pdfs/solar_tower.pdf)
4. Kribus, A., 2002, "A High Efficiency Triple Cycle For Solar Power Generation", 2002 Published by Elsevier Science Ltd Printed in Great Britain, Solar Energy Vol. 72, No. 1, S. 1-11.
5. Kribus, A., Doron, P., Rubin, R., Karni, J., Reuven, R., Duchan, S., ve Taragan, E., 1999, "A Multistage Solar Receiver : The Route To High Temperature", 2000 Published by Elsevier Science Ltd . Printed in Great Britain, Solar Energy Vol. 67, Nos. 1-3, S. 3-11.
5. Duffie, A. J., Beckman, A. W., 1991, "Solar Engineering of Thermal Processes", Second Edition, John Wiley & Sons, Inc U.S.A., S.773.
6. Ziko, Karni, J., ve Kribus, A., 1999, "The Trof (Tower Reflector With Optical Fibers): A New Degree Of Freedom For Solar Energy Systems", 2000 Published by Elsevier Science Ltd Printed in Great Britain, Solar Energy Vol. 67, Nos. 1-3, S. 13-22.