



Teknik Not

Yüksek Sıcaklıklı Güneş Enerjisi Alıcı Sistemleri İçin Malzeme Seçimi

İbrahim ÜÇGÜL*, Kamil DELİKANLI**, Murat ÖZTÜRK*, Ramazan ŞENOL*

* SDÜ Yenilenebilir Enerji Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi

** SDÜ Müh. Mim. Fak. Makine Müh. Bölümü

ÖZET

1973 enerji krizinden sonra, alternatif enerji kaynakları üzerine çok yoğun bir şekilde araştırmalara başlanmıştır. Özellikle güneş enerjisi bu çalışmaların temelini oluşturmaktadır. Bir güneş enerjisi güç santrallerinde kullanılan sistemin başarısı özellikle malzemelerin doğru seçimine bağlıdır. Bu seçim genellikle verim, maliyet ve özel uygulamalara göre yapılmaktadır. Bu çalışmada yüksek sıcaklık güneş enerjisi sistemleri ve yüksek sıcaklık güneş malzemeleri tanıtılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, yüksek sıcaklık, termal gerilme

1. GİRİŞ

Güneş enerjisi, güneşten gelen ve dünya atmosferinin dışında şiddeti sabit ve 1370, yeryüzünde ise 0-1100 W/m² değerleri arasında olan yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Bu enerji ısıtmadan soğutmaya kadar çeşitli ısı uygulamalarda ve elektrik üretiminde kontrollü olarak kullanılabilir. Tablo 1. Türkiye’de bölgelere göre güneş enerjisi potansiyeli [1]

BÖLGE	Işınım Enerjisi			Güneşlenme Periyodu		
	Yıllık ort. kWh/m ² .yıl	Maks. kWh/m ² .yıl	Min. kWh/m ² .yıl	Yıllık Ort. h/yıl	Maks. h/ay	Min. h/ay
Güney Doğu Anadolu	1491.2	188.1	49.6	3016	407	126
Akdeniz	1452.7	176.6	48.9	2923	360	101
İç Anadolu	1432.6	176.6	42.2	2712	381	98
Ege	1406.6	168.7	40.9	2726	371	96
Doğu Anadolu	1398.4	182.8	48.6	2693	373	165
Marmara	1144.2	166.9	33.4	2528	351	87
Karadeniz	1086.3	141.7	34	1966	273	82

Türkiye coğrafi konumu itibarıyla güneş kuşağı içerisinde yer alan, güneş enerjisi kullanımının uygun olduğu bir ülkedir. Ülkemizde güneş enerjisi potansiyeli coğrafi bölgelere göre değişim göstermektedir. Uzun yıllara ait meteorolojik gözlemlerin (heliograf) ortalaması alınarak bulunan Türkiye’nin yıllık güneşlenme süresi 2640 saat olup, maksimum değer 362 saat ile Temmuz ayında ve minimum değer 98 saat ile Aralık ayında gerçekleşmektedir. Gerçekte 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.

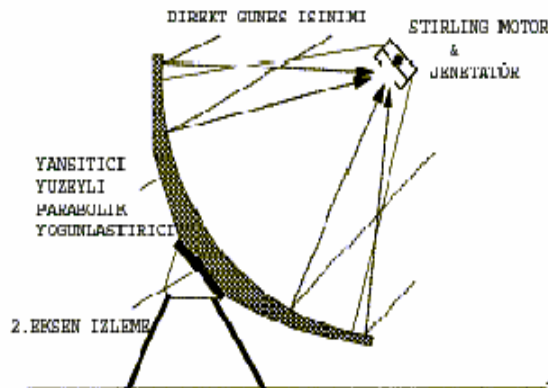
Dünya nüfusunun enerjiye bağımlılığı, enerji açığını sürekli olarak büyötmektedir. Bu temel enerji kaynaklarının hızla tükenmesi insanlığı daha uzun ömürlü enerji kaynaklarına yöneltecektir. Bu kaynaklardan en önemli ikisi nükleer ve güneş enerjisidir. Nükleer enerjinin ileri teknoloji ve maliyete ihtiyaç 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 [2].

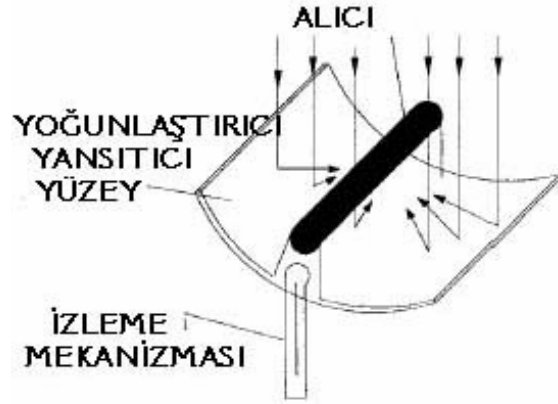
2. ORTA VE YÜKSEK SICAKLIK GÜNEŞ ENERJİSİ ISIL UYGULAMALARI

Orta ve yüksek sıcaklık güneş enerjisi ısı uygulamalarında; silindirik-parabolik sistemler, dish sistemleri, güneş bacası, merkezi alıcı (güneş güç kuleleri) sistemleri kullanılır. Güneş ısı elektrik (GIE) güç tesisleri terimi ışınım odaklama ve odaklamasız dizaynlar için kullanılır. Parabolik silindirik tesisler, güç kuleleri ve dish/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 makinesi de elektrik jeneratörünü çalıştırır.

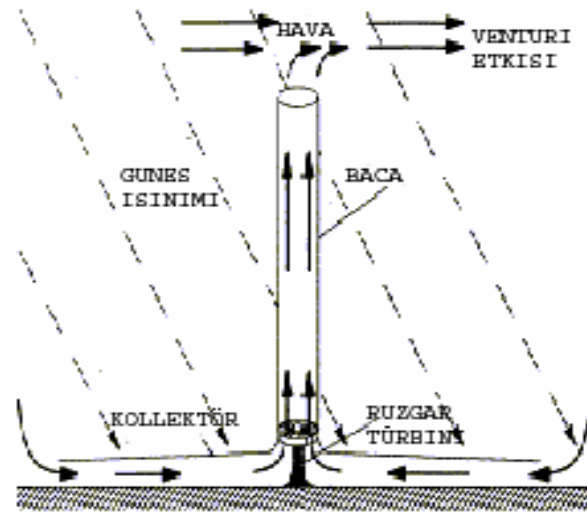
Odaklı sistemlerin dışında güneş bacası gibi odaklamasız GIE güç tesisleri de elektrik enerjisi üretiminde kullanılır. Güneş bacasının dizaynı, geniş bir kollektör serası ile merkezi bir bacadan oluşur. Sıcak hava, geniş bir cam çatı kollektör altında güneş tarafından (direkt ve difüz ışını) üretilir. Isınan hava kollektörün merkezindeki bacaya doğru akar ve yukarıya (Şekil 1.c.) doğru çekilir. Bu çekiş bacasının tabanına yerleştirilmiş rüzgar türbinini çalıştırır.



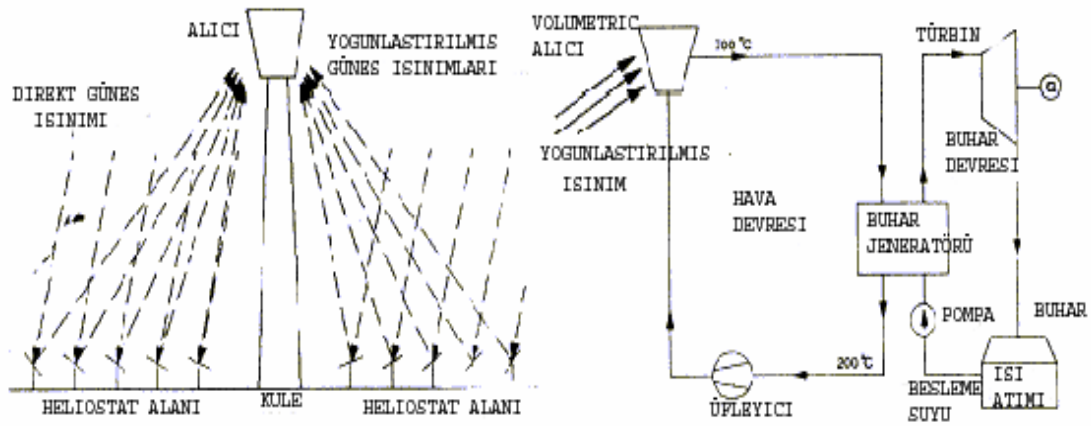
Şekil 1.a Dish/stirling sistemi; Temel prensibi [3].



Şekil 1.b. Silindirik-parabolik yoğunlaştırıcı temel prensibi [3].



Şekil 1.c. Güneş Bacasının şematığı[3].



Şekil 2. Güneş güç-kulesi; temel prensibi (solda) ve PHOEBUS şematığı [3].

Odaklı sistemlere ait bazı parametreler Tablo 2.'de verilmiştir.

Tablo 2. Odaklı sistemler ve güneş bacası için bazı parametreler [3-4].

	Parabolik silindirik	Güç kulesi	Dish/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/ada	şebeke bağlantılı/şebekeden bağımsız	şebeke bağlantılı
Alan gereksinimi	18m ² /kW	21m ² /kW	20m ² /kW	200m ² /kW
Tipik verim (%)	0.13-0.15	0.13-0.15	0.15-0.17	0.007-0.011
İşletme sıcaklığı	350 °C	560 °C	800 °C	50 °C

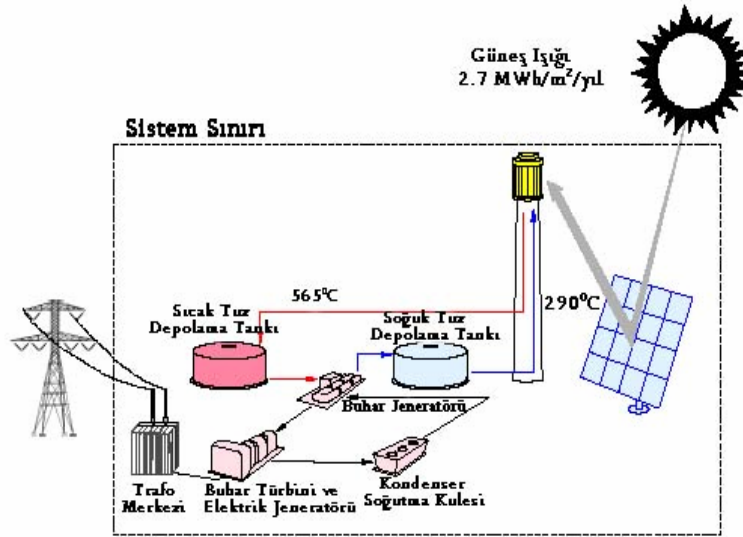
2.1. Güneş Güç Kuleleri

2.1.1. Sistem Tanımı

Güneş güç kuleleri, güneş ışınlarını kule tepesine monte edilmiş olan ısı değiştiriciye (alıcı) odaklamalı olarak 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 400MW arası uygulamalar için en uygun tesislerdir.

Güneş güç kulesindeki 290°C'da sıvı haldeki tuz eriyiği soğuk depolama tankında alıcıya doğru pompalanır, burada sıcaklığı 565°C'ye 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 dizayn projesinin önemli bir kısmıdır. Depolama tankları 13 saate kadar tam üretimdeki bir türbin gücüne yeterli kapasite ile dizayn edilebilir.

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 dizayn edilebilir. Sonuç olarak bir güç kulesi yedek yakıt kaynağı ihtiyacı olmaksızın yıllık %65 potansiyelle işletilebilir. Enerji depolamaksızın, güneş teknolojilerinde yıllık kapasite faktörü %25 ile sınırlıdır.



Şekil 3. Tuz eriyikli güç kulesi şematiği [5].

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 pik yük talebine cevap olarak, türbin saat 13:00'de çevrim içi olur ve saat 23:00'e kadar güç üretimine devam eder. Depolamadan dolayı, türbin jeneratöründen üretilen güç güneş yoğunluğundaki sürekli dalgalanmalardan dolayı ve sıcak tanktaki depolanmış enerjinin tümü tüketilinceye kadar kalmaktadır. Enerji depolama ve aktarma güneş güç kulesi teknolojilerinin başarısı için çok önemlidir ve tuz eriyiğinin enerji depolama efektif maliyetine anahtar rol oynar.

2.2. Güneş Alıcı Sistemleri

Güneş alıcı sistemi olarak iki sistem kullanılmaktadır. Bunlar;

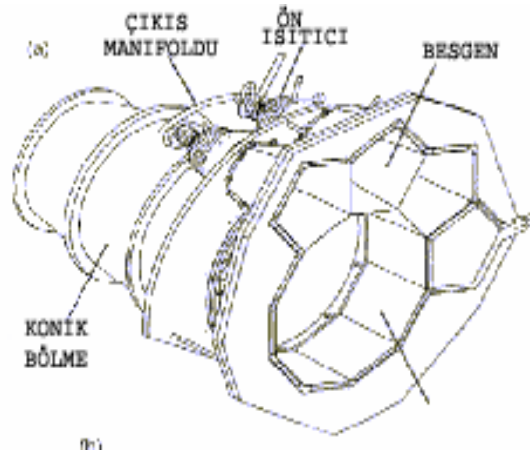
1. Bölmeli alıcı
2. Silindirik alıcı sistemlerdir.

2.2.1. 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, dördüncü güce sıcaklıkla artan yayınımdır. Bölmeli bir alıcı, alıcı mesafelerini farklı sıcaklıklı bölümlere ayırarak bu kayıpları azaltır. 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 dizayna göre önemli bir şekilde göreceli olarak azalır. Burada esas olarak alıcıda yayılım kayıpları ele alınmış, konveksiyon ve iletim kayıpları ihmal edilmiştir. Bu, yüksek sıcaklıktaki bir alıcıda hassas bir kabuldür (yayılım kayıpları, sıcaklığın dördüncü gücü ile arttığından diğer kayıp mekanizmalarından çok daha etkindir). Alıcı açıklığı, çemberde düşük ve merkeze doğru kademeli olarak artan bir sıcaklıkta siyah bir yüzeyle modellenmiştir.

Heliostatlardan yansıyan ışık, bir koni içindeki yaklaşık 12°'lik bir yarım açığa ulaşır. İkincil yoğunlaştırıcıların bir dizisi, (Şekil 4) 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

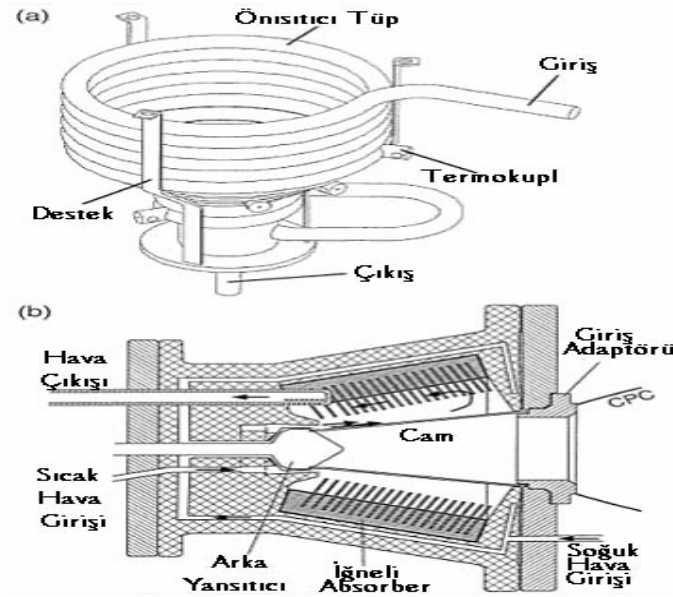
gibidir (12° 'lik giriş açısı ve 65° ile sınırlanmış çıkış açısı). Yoğunlaştırıcı yedi konik bölmeden yapılır. İki bölüm ince, cilalı, alüminyum levha yansıtıcılarla kaplanır. Sonraki iki bölüm ince, cilalı, alüminyum düzlem ile (ön yüzeyi gümüş astarlı) kaplanır. Son üç bölüm yüksek yansıtıcılığı sağlamak için nispeten daha küçük eğrilik yarıçapında direkt elmasla kaplanır. Testler esnasında alıcı mesafesindeki ortalama giriş akısı 2500 ve 4000 kW/m^2 arasında (yoğunlaştırma oranı, 800 W/m^2 ışınım için $C=3100-5000$) tahmin edilir. Bu değerler yaklaşık 8000 kW/m^2 'lik dizayn akı değerlerinden daha küçüktür. Bu fark ikincil yoğunlaştırıcının optiksel kalitesindeki bozulmadan kaynaklanır. Düşük sıcaklık kademeleri için yoğunlaştırıcılar yaklaşık olarak bileşik parabolik yoğunlaştırıcılar (13° 'lik kabul açısı ve 65° 'lik çıkış açısı) gibi dizayn edilir. İki bölümün giriş mesafesi alıştırması çok köşeli, karşı bölmeli mesafelerin seçimi ile (merkezi mesafe için bir ongen, çevresel mesafe için on tane beşgen) yapılır. Merkezi yoğunlaştırıcının ilk konik bölümü, ikinci bölmedeki dairesel bir karşı bölüme geçilerek düzlemsel yüzeylerin ongen yapılmışla yenilenir (Şekil 4).



Şekil 4. Merkezi parabolik yoğunlaştırıcıda ön kızdırıcı ve yoğunlaştırıcı düzenlemesi [6].

Yapılan çalışmalarda mevcut deneyler için, on adet ön ısıtıcıda sadece dört çıkış tesis edilmiştir [6]. Her beşgen yoğunlaştırıcı ince, siyah gümüşten kaplanan ($0,2 \text{ mm}$) ve aksel yönde parabolik eğrilikle beş tane yansıtıcıdan yapılır. Testler sırasında yoğunlaştırıcıdan ön ısıtıcıya giren ortalama akı değeri 850 ve 1400 kW/m^2 arasında tahmin edilmektedir. Düşük sıcaklık kademeli alıcılar gibi dizayn edilirler. Kavite duvarları, kavite etrafında spraller oluşturan absorber tüpünden oluşur (Şekil 5). Kavite içindeki optimum akı ve sıcaklık dağılımını elde etmek için bir topaç gibi dizayn edilir. İkincil yoğunlaştırıcının arka kısmı kavitenin ön duvarı gibi çalışır. Tüp, yoğunlaştırıcının arka bloğunun arkasındaki destekle tutturulmuş bir yerde durur. Bu dizayn katı kavite duvarları ihtiyacını ortadan kaldırır. Tüplerin bazı ısıl genleşmelerine müsaade eder ve imalatı ve uygulaması kolaydır. Ön kızdırıcı güneş toplayıcısının dışı, seramik yalıtım örtüsüyle kaplanır. Çalışma gazı, tüpteki ön duvar yakınlarındaki girişten (bitişik yoğunlaştırıcıya) topacın arka konik kısmına akar. Absorber tüpü, sıcaklığı 800°C '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 absorbe eden ve ısının çalışma sıvısına transferi gibi enerjisini transfer eden 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 dizaynı 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 5'de gösterildiği gibi soğuk akış çevresindeki toroid bölgeye boşaltılır.

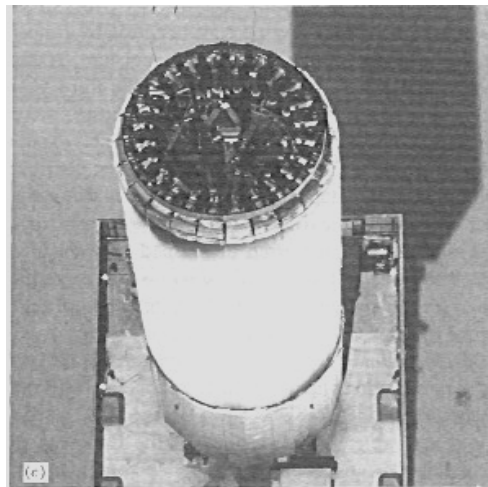


Şekil 5. Bölmeli alıcı sisteminde alıcılar.
a) Düşük sıcaklık alıcısı (ön ısıtıcı) b) Yüksek sıcaklık alıcısı. [6].

2.2.2. 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 konsantre edilmesi ve alıcıda elde edilen buhar türbin-alternatörlerle elektrik enerjisi üretilmesi şeklindedir (Şekil 6).



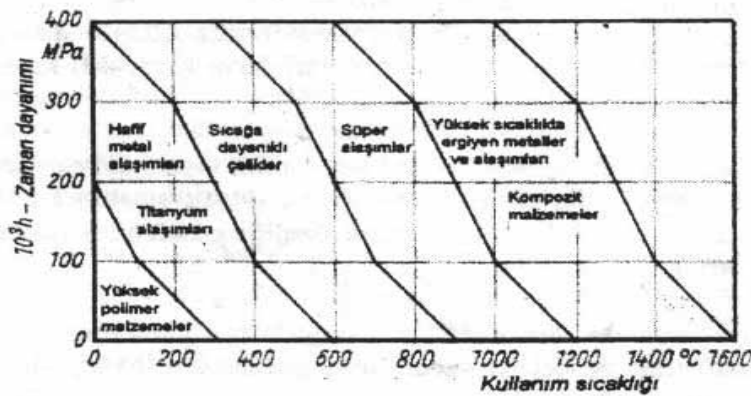
Şekil 6. Alıcının yukarıdan görünüşü [7].

3. SICAĞA DAYANIKLI METAL MALZEMELER

Özellikle enerji makinelerinde, kimya endüstrisinde ve makine üreten endüstride, konstrüksiyon malzemeleri ve yapı elemanları oldukça yüksek sıcaklıklara maruz kalabilirler. Tesislerin ekonomikliği, çoğu zaman kullanılabilir çalışma sıcaklığına bağımlı olur. Örneğin, güneş enerjili alıcı sistemlerinde ki bir buhar tesisinde buhar giriş sıcaklığı 400 °C 'den 600 °C 'ye yükseltildiğinde, ısı gereksinmesi 13500 kJ/kWh değerinden yaklaşık olarak 10600 kJ/kWh değerine düşer ya da Faust kaidesine uygun olarak işletme sıcaklığı 10 °K yükseltildiğinde, kimyasal reaksiyon hızı iki katına çıkabilir. Sıcaklığın yükselmesinde malzemede gerekli olan özelliklerden, yeterli mekanik dayanım (sıcığa ve yüksek sıcaklığa dayanıklı malzemeler) ve artan çalışma sıcaklıklarında gaz korozyonuna karşı yeterli direnç (tufallaşmaya dayanıklı çelikler) ya da kimyasal dayanıklılık, yüksek ergime sıcaklığı, yeterli zaman dayanımı ve termoşok dayanımı ön planda tutulur. Bu istenilen özellikleri sağlayan çelik malzeme grupları için sıcaklığa bağlı olarak 10^3 h-zaman dayanımları Şekil 4 'de verilmiştir [8]. Sıcığa dayanıklı malzeme olarak, genellikle 400 °C 'nin üzerinde kullanılabilen malzemeler anlaşılır. Ancak, bu sıcaklık sahasında kullanılabilen titanyum alaşımları, üretim maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle sıcaklığa dayanıklılıktan çok, iyi korozyon dayanımlarından tercih edildiklerinden sıcaklığa dayanıklı malzeme olarak alt sınırdaki kullanılabilen malzeme türleri, yalnızca alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerle, belirli çelik döküm çeşitleridir. Bu sıcaklık bölgesinde ve yükselen sıcaklıkla birlikte, yüksek alaşımlı ferritik ve ostenitik çelikler, nikel ve kobalt esaslı süper alaşımlar, sıcaklığa ve yüksek sıcaklığa dayanıklı konstrüksiyon malzemesi olarak kullanılırlar. Daha yüksek sıcaklıklarda, yüksek sıcaklıkta ergiyen metaller ile karbür ve metal bazlı kompozit malzemeler, ekonomik olarak uygun olabileceği özel yerlerde kullanılırlar. Daha yüksek sıcaklıklarda ise, pek az mekanik zorlanma koşullarında seramik esaslı refrakter ve cam malzemelerden yararlanılır.

3.1. Sıcığa Dayanım Tanınma Büyüklükleri

Yüksek sıcaklıklı güneş enerjisi alıcı sistemleri için malzeme seçimi ve değerlendirme de, genel olarak řu büyüklükler ve özellikler aranır; kısa süre dayanımı (özellikle sıcakta akma sınırı), zaman sürekli dayanımı, zaman uzama sınırı, gevşeme (relaksasyon) direnci, dinamik dayanım (sürekli titreşim karakteristiği, termik yorulma, düşük frekans yorulması), uzun süre zorlanmada plastisite karakteristiği (zaman sürekli deneyine göre kopma uzaması değerine bağlı değerlendirme ile zaman sürekli dayanımı ve zaman uzama sınırı farkı) ile tufallaşmaya ve korozyona dayanım. Bunların yanı sıra çok fazla önemli olmasından dolayı, sürünme ve yorulma karakteristikleri, genellikle birlikte saptanır.



Şekil 7. Sıcığa bağlı olarak, değişik malzeme gruplarının 10^3 h-zaman dayanımları [8].

3.2. Sıcığa Dayanıklı Çelikler

Sıcığa dayanıklı çelik olarak, genellikle 400 °C 'nin özerinde kullanılan alaşımsız ve alaşımlı çelikler anlaşılır. Tüm sıcaklığa dayanıklı malzemeler içerisinde, daha fazla kullanım alanına sahip olduklarından ve

büyük ölçüde, standartlaştırıldıkları için, sıcağa dayanıklı çelikler sıcakta kullanılan diğer malzemelere nazaran daha fazla önem taşır.

Sıcağa dayanıklı çelikleri, alaşımsız ve düşük alaşımlı çelikler, sıcağa dayanıklı krom çelikleri ve yüksek sıcaklığa dayanıklı ostenitik çelikler olarak, üç ana gruba ayırmak mümkündür. Böylece, bu amaçla kullanılabilen çelik türlerinin alaşım tipleri hakkında da sınıflandırma yapılmıştır.

3.2.1 Alaşımsız ve Düşük Alaşımlı Çelikler

Alaşımsız çeliklerdeki karbon ve diğer artırılmayan elementlerin yanında, sıcağa dayanıklı düşük alaşımlı çeliklerde dayanımı artırıcı element olarak krom, molibden, nikel, vanadyum ve volfram, ayrıca bazılarında da bakır, alüminyum, titanyum, bor ve zirkonyum bulunur. Bu elementlerin toplam miktarı, genellikle %6 'yi aşmaz. Alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin kullanım sıcaklığı sahası 400 ile 580 °C arasındadır ve oda sıcaklığında çekme dayanımları 350 ile 600 MPa arasındadır. Bu çelikler, silisyum ya da alüminyumla sakınleştirilmiş ya da yan sakınleştirilmiş ve ince taneli çeliklerdir [8].

Alaşımsız ferritik-perlitik çeliklerin (karbon çelikleri) dayanım karakteristikleri, karbon (% 0,10 ile 0,30) ve mangan (% 0,30 ile 1,60) miktarı ile birlikte, aktif (çözülmüş) azot miktarına bağlıdır. Mangan ve azotun (nitrür çökmesi) etkisi, düşen sıcaklıkla birlikte artar, 450 ile 500 °C sıcaklıklarının üzerinde önemli bir etkileri yoktur.

Düşük alaşımlı çeliklerin iyileştirilmiş sıcakta dayanım karakteristikleri, özel karbür teşekkül ettiren Cr, Mo ve V gibi elementlerle alaşımlanmasından dolayıdır. Kuvvetli karbür teşekkül ettirici olarak molibden özel bir öneme sahiptir. Buna karşın krom ve vanadyum, tek başlarında katıldıklarında sürünme direncinde belirgin bir iyileşme sağlamazlar.

Titanyum alaşımları, Düşük özgül ağırlıkları ve düşük sıcaklık kapasiteleri vardır. Ti ($\mu+b$) alaşımlar için, faz μ dengeleyiciler (alüminyum gibi) ve b fazı dengeleyiciler (Molibden ve Vanadyum gibi) çalışma sıcaklığının optimum seviyelere çıkmasını temin etmekte. Dövme, özellikle temiz dövme, b dengeleyicilerini taşıyarak daha ince moleküler yapı ($\mu+b$) oluşturur. Bu mikro yapı, statik ve dinamik mukavemet özellikleri olarak en iyi dengeyi temin etmektedir.

Ti alaşımı olarak Ti6 Al 4 V (Ti 64), motor ve uçak iskeleti uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ti 64; düşük sıcaklıkta yüksek mukavemet, mükemmel mekanik işlenebilirlik ve kaynak edilebilirlik özelliklerini taşımaktadır. Ti64 dövme, hassas döküm, levha metal (sac) olarak 1975'den beri stator parçalarında ve kompresör dış cidarlarında kullanılmaktadır.

Ti6242 ve Ti6246 daha yüksek mukavemet ve daha yüksek sıcaklığa dayanma özelliklerine sahiptir. 550°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda, özellikle disklerde kullanılmak üzere geliştirilmiş Ti alaşımı IMI 834'tür. Adı geçen alaşım, 450 °C'nin üzerinde, diğer titanyum alaşımlarından daha iyi özellikler gösterir. Fiyatı Ti64'ün iki katıdır. Kompleks metalurji ve ısıl-mekanik (termomekanik) işlem parametreleri ile optimum mekanik özellikler temin edilmiş, bu oransal iyileşme mikro yapıya da yansımıştır. Ti ve Ni temelli alaşımlar (süper alaşımlar) geçen 10 yıllarda kendilerinden beklenen özellikleri mükemmel bir şekilde yerine getirmişlerdir. Ancak bu malzemelerin gelecekteki gelişmeleri oldukça sınırlı görülmektedir. Geliştirilmeleri yüksek miktarda ek maliyeti gerektirmektedir. Bu nedenlerle yerlerine yeni malzemeler geliştirmek amacı ile deneme çalışmaları yapılmaktadır [9].

450 °C sıcaklığın altında, alaşımsız çelikler yeterli özelliklere sahip oldukları, daha doğrusu düşük alaşımlılarla aynı özellikleri gösterdiğinden dolayı, molibden alaşımlı çelikler genellikle kullanılmazlar. Ancak, çok uzun işletme süreleri ve pek az form değiştirme olması gereken parçalarda, 450 °C 'nin altında da molibden alaşımlı çelikler kullanılabilir. Genel olarak 450 °C sıcaklığının Üzerinde kullanılan

molibdenli çelikler, %0,5 kadar Mo içerirler. Bu tipin en tanınmış çeşidi, 15 Mo 3 çeliğidir. Mo miktarının daha çok artması önemli bir dayanım artması sağlamaz.

Çeliğe %0,5 Mo miktarına ilave olarak 13 CrMo 44 çeliğinde olduğu gibi, ayrıca yaklaşık %1 kadar krom katılırsa ya da 10 CrMo 9 10 çeliğinde olduğu gibi, molibden ve krom miktarı birlikte yükseltirse, çeliğin sürünme dayanımı, sünekliliği ve oksidasyon dayanımı iyileştirilebilir. 10 CrMo 9 10 çeliği, 580 °C sıcaklığa kadar oldukça iyi yüksek sıcaklık özellikleri gösterir. Bu çelik daha çok, yüksek sıcaklıklı güneş enerjisi alıcı sistemlerinde buhar iletiminde ve kimya sanayinde, aynı zamanda çeliğin hidrojene karşı dayanıklılığı da arttığından dolayı %2,25'e yükseltilmiş krom miktarıyla kullanılır [8].

3.2.2. Sıcağa Dayanıklı Krom Çelikleri

Sıcağa dayanıklı krom çelikleri, %12 kromlu çelikler tipindedir. Bunlar hem yalnızca X 20 Cr 13 çeliğinde olduğu gibi kromla alaşımlanırlar ve hem de ilave alaşım elemanlarıyla %12 kromlu çeliklerin geliştirilmiş çeşidi tarzında olabilirler. Bunlar daha çok yüksek sıcaklıklı güneş enerjisi alıcı sistemlerinde kullanılırlar. Ancak, enerji santrallerinde türbin rotoru, kanadı ve gövdesinin yapımında da kullanılmaları mümkündür. Yüksek güçlü buhar üreticilerinde de, asm ısıtma boruları ve buhar donanımında, ilave elementle geliştirilmiş %12 kromlu çelikler kullanılır.

%12 kromlu çelik bazında tanınan çok sayıdaki çelik çeşidi, yüksek sıcaklıklarda kullanıldığında, iki gruba ayrılırlar: Mo içeren %12 kromlu çelikler ve Mo ile birlikte karbür teşekkül ettirici elementler ve Co içeren %12 kromlu çelikler. Karbür teşekkül ettirici elementlerin ve Co miktarının artmasıyla, ostenitik sahadan normal soğumada δ -ferritli martensitik ana yapı içerisinde karbür ve intermetalik bağlantılardan meydana gelen ikincil fazlar bulunduğundan dolayı, bu çeliklerin sıcağa dayanıklılığı artar. Sıcağa dayanıklı krom çelikleri, oksidasyona dayanıklıdır. Uygun dayanım yükseltici alaşım elemanları ilavesiyle, güneş güc kulelerinde 620 ile 650 °C sıcaklıklarına kadar kullanılabilirler. Bunlar, kısmen fiyatın rol oynadığı ostenitik çeliklerin yerine ve ferritik-perlitik çeliklerle ostenitik çeliklerin arasındaki dayanım boşluğunda kullanılırlar.

3.2.3. Sıcağa Dayanıklı Ostenitik Çelikler

Sıcağa dayanıklı ostenitik çeliklerin gelişimi, çok tanınan paslanmaz 18/8 krom-nikel çeliklerine dayanır. Krom ostenitik sahayı daraltırken, nikel karşı etki yapar. Eğer Önceden tüm alaşım elemanlarının nikel ve krom eşdeğerlik değerleri belirlenirse, ostenitik çeliklerin faz bileşimleri Schaeffler diyagramından okunabilir.

%18 krom ve %8 nikel içeren çelik, hızlı soğumada yaklaşık 1050 °C 'de tam ostenitik olarak katılaşıp, fakat yavaş soğumada δ -ferriti de meydana gelir. Hızlı soğuma sonucu engellenmiş δ -ferriti çökmesi, soğuk şekillendirmeye ya da çok düşük sıcaklıklara soğutmayla kısmen ortaya çıkabilir. 600 ile 700 °C sıcaklık sahasında, hem yapıdaki bulunan ferritten ve hem de ostenit fâzından meydana gelebilen, kırılğan tetragonal σ -fazı (FeCr) teşekkül eder. Zorlanma süresiyle birlikte artan σ -fazı miktarı sonucu, çeliğin sünekliliği kaybolur. Önceden uygulanan soğuk dayanıklılaştırma ile zaman sürekli karakteristikleri iyileştirilebilir. Böylece, kullanım sıcaklığı 650 °C'ye kadar çıkartılabilir. Sıcağa dayanımı daha fazla iyileştirmek için bor, molibden, vanadyum ve kobalt ile alaşımlama yapılır. Ostenitik çeliklerin kullanım sıcaklığı, daha yüksek olan sıcakta dayanımları ve iyi tufallaşma dayanıklılıkları nedeniyle, 600 ile 750 °C arasındadır. Daha çok, güneş kuleleri ve parabolik güneş kolektörlerinde, buharlı, gaz türbinli ve nükleer enerjili enerji santrallerinde ve ayrıca uçak yapımında oldukça fazla kullanılırlar [8].

3.3. Süper Alaşımlar

Süper alaşım olarak, ana yapısı demir, nikel ya da kobalt olan, nispeten yüksek miktarlarda krom ve az miktarda da yüksek sıcaklıkta ergiyen molibden ve volfram ve ayrıca alüminyum ve titanyum içeren

alaşımlar anlaşılır. Bu malzemeler katı çözeltiler matris içerisinde ince dağılmış formda, değişik karbürler ve intermetalik fazlar içerirler. Bunlar, 600-1100 °C arasında kullanılabilirler. Alışımında en iyi kullanım sıcaklığı, ergime sıcaklığının %80'i ($0,8.T_{erg}$) kadardır. Süper alaşımlar özellikle uçak, gemi, lokomotif ve enerji santrali gaz türbinlerinde, roketlerde tahrik sisteminde, yüksek sıcaklıklı güneş yoğunlaştırıcı sistemlerinde, kimyasal su-gaz dönüşüm reaktörlerinde kullanılırlar. Daha uzun ömür ve aynı zamanda yüksek mekanik ve termik zorlamalarda nikel ve kobalt esaslı alaşımlar tercih edilir. Enerji üretiminde kullanılan stasyonær türbinlerde ve dizel motorlarında, artan işletme sıcaklıklarında giderek bu malzemeler kullanılmaktadır [8].

3.3.1. Yüksek Isıya Dayanıklı Nikel Alaşımları

Yüksek sıcaklıkta nikel alaşımlarının dayanım özellikleri, katı çözeltiler dayanıklılığı ve çökelme sertleşmesinin birlikte olması ve ayrıca, alaşım elemanlarının değişik şekillerde etkilediği yapı stabilitesinin geniş sınırlar arasında olmasındandır.

Katı çözeltiler ile dayanım artması, özellikle Mo, W, Cr ve Co elementlerinin, nikelli zengin katı çözeltiler içerisinde bulunmasıyla ortaya çıkar ve rekristalizasyon başlangıcında dislokasyon reaksiyonunu frenler. Nikele kobalt ilavesi, sıcak şekillendirme sıcaklık sahasında sünekliliği iyileştirir ve krom (ayrıca La, Ce ve Y) yüksek sıcaklıkta korozyon dayanımını artırır. Küçük miktardaki bor, zirkonyum ve kısmen de magnezyum ve hafniyum, tane sınırı karakteristiklerinde iyileşme yapar.

Nikel esaslı alaşımlar (süper alaşımlar), motorun sıcak bölge parçalarının imalinde kullanılmaktadır. Ti-alaşımları için çok sıcak bölgeler olan yüksek basınç kompresörünün arka kademelerinde kullanılır. Yanma odasında kullanılan özel sac alaşım saclar (Hastelloy X - C263), düşük mukavemet, oksidasyona dayanım, şekillendirilebilirlik ve kaynak edilebilirlik özellikleri olan malzemelerdir. Türbin uygulamaları için ise, esas olarak 2 grup süper alaşım söz konusudur : birincisi dövme ile üretilir ve bu malzemeler diskler ve ringler için kullanılır. İkincisi dökümdür ve bu malzemeler, sabit veya hareketli kanatçıklarda kullanılır. Sıcaklığa dayanımını iyileştirmek için farklı mukavemet artırma işlemleri gerekir [9]. Bunların başlıcaları;

- Kobalt katarak solusyonu katılaştırmak, krom ve ısıya dayanıklı - tungsten gibi - molibden gibi - metallerle karışımı zenginleştirmek gerekmektedir.
- Sertleşmeyi hızlandırmak için metalik γ -Ni₃ (Al, Ti) ve veya γ -Ni₃Nb fazını ortaya çıkarmak. Bu nedenle ısıya dayanıklı süper alaşımlara %10'dan fazla (ağırlık olarak) Al+Ti veya az miktarda Nb katmak gerekmektedir.

Kobalt kullanım sıcaklığında çözülebilirliği azalttığından, γ -fazının stabilitesini yükseltir. Buna karşın, artan krom miktarıyla γ -fazının çözülebilirlik sıcaklığı düşer ve böylece alaşımın sıcaklığa dayanıklılığı da kötüleşir. Bu durumda, kromun sıcaklığa dayanıklılığı azaltması ve korozyona dayanıklılığı artırması ters yönlü etki yapmaktadır. Sıcaklığa dayanıklılık ya da korozyona dayanıklılıktan öncelikli olana göre, krom miktarı düşük ya da yüksek tutulabilir. İlave olarak 650-950 °C sıcaklık sahasında tetragonal γ -fazının çökmesiyle, sıcaklığa dayanıklılık artar, fakat alaşımın sünekliliği azalır [8].

Isıl işlemin değiştirilmesiyle, çökelme tarzı, miktarı ve buna bağlı olarak da sıcaklığa dayanıklılık karakteristiklerine geniş sınırlar içerisinde etki yapmak mümkündür. Eğer alaşım çözme tavlama uygulanmış halde soğuk şekillendirilmişse, 650 °C'ye kadar kullanım sıcaklıklarında dayanım %25 daha artırılabilir. Bu işlemde, koherant Ni₃(Al,Ti) parçacıkları, matris katı çözeltilerin kayma düzlemlerinde ince dağılım yapacak şekilde çöklerler. Daha yüksek kullanım sıcaklıklarında, toparlama ve rekristalizasyon olayları meydana geleceğinden, sağlanan bu iyileşme kaybolur [8].

4. SONUÇ

Ülkemiz güneş enerjisi bakımından büyük bir potansiyele sahip olmasına rağmen, bu enerjiden yeterince yararlanamamaktadır. Ülkemizde güneş enerjisinden yararlanma şekli düşük sıcaklıklı su ısıtıcıları şeklinde olup, bu en düşük verimli kullanım şeklidir. Oysaki biraz daha ileri teknoloji gerektiren orta ve yüksek sıcaklıklı güneş enerji sistemleri ile büyük çaplı enerji üretimleri mümkündür. Ülkemiz vakit geçirmeden bu ileri teknolojileri uygulamak zorundadır. Bu teknolojilerin uygulanmasında temel sorun kaliteli ve uygun malzeme seçimidir. Alıcı kısımlarda kullanılacak malzemelerin yüksek sıcaklıklara dayanımı dışında ani değişen sıcaklıklardan doğacak termal gerilmelere de dayanımı gerekmektedir.

Bu çalışmada, ileride yapılacak teknoloji geliştirme çalışmaları için alıcılarda kullanılacak malzemelere ilişkin, araştırmacılara faydalı olabilecek bilgiler sunulmaya çalışılmıştır. Yüksek sıcaklıklı güneş enerjisi alıcı sistemleri için malzeme seçiminde, genellikle süper alaşımların tercih sebebi olduğu, bu malzemelerin 1100⁰C'ye kadar emniyetle kullanılabilecekleri tespit edilmiştir. Konstrüktif özelliklere ve tasarım esasları göz önünde bulundurularak, yüksek sıcaklıklı güneş enerjisi alıcı sistemlerinde sıcağa dayanıklı ostenitik çeliklerin de 700⁰C'ye kadar kullanım sıcaklıklarında tercih edilebileceği görülmektedir.

KAYNAKLAR

1. 21. Yüzyıla Girerken Tüsiad Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi Raporu. <http://www.tusiad.org/turkish/rapor/enerji/html/sec103t.html>
2. Üçgül, İ., Selbaş, R. ve Kızıllkan, Ö., 2003, "Güneş Güç Sistemlerinin Heliostat Alan Düzenlenmesi ve Termodinamik Analizleri", Ulıhtk'03 14. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniğı Kongresi Bildiri Kitabı, Isparta, s.373-380.
3. Beerbaum, S., Weinrebe, G., 2000, "Solar Termal Power Generation in İndia- a tecno-economic analysis,. Renewable Energy , V. 21, pp. 153-174.
1. 4.Chancez, J.M., Richards, E.M.,Van Arsdall, A, 2000, "Solar Power Systems", The Engineering Handbook, CRC Pres LLC.
4. www.eere.energy.gov.
5. Kribus, A., 2002, "A High-Efficiency Triple Cycle for Solar Power Systems", Solar Energy, Vol 72, pp. 1-11.
6. Duffie, J.A., Beckman, W.A., 1991, "Solar Engineering of Thermal Proseses", TJ 810, D82, John Wiley & Sons Inc, New York.
7. Topbaş, M.A., 1998, "Çelik ve Isıl İşlem El Kitabı", Prestij Yayıncılık, İstanbul.
8. Erdem, M.S., AKMANDOR, İ.S., "Uçak Motoru ve Elektrojen Gruplarındaki Gaz Türbini Teknolojisindeki İlerlemeler, Malzeme, Yüzey Teknolojileri ve İmalat Süreçlerindeki Gelişmeler", Mühendis ve Makine, Sayı 528, Ocak 2004.