Makale

GÜNEŞ ENERJİSİ İLE SOĞUTMA TEKNOLOJİLERİNE GENEL BİR BAKIŞ(*)

Doç. Dr. Orhan **BÜYÜKALACA**(1) - Prof. Dr. Tuncay YILMAZ(2)
Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimartık Fakültesi, Makine Müh. Bölümii-ADANA
e-mail: '"orhanl@cukurova.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, uzun yıllardır bilinmekle birlikte son yıllarda güncel olmaya başlayan güneş enerjisi ile soğutma teknolojileri ele alınmıştır. Öncelikle güneş enerjisi ile soğutmanın güncel olmasını sağlayan koşullar gözden geçirilmiş, daha sonra güneş enerjisi ile soğutmada kullanılabilecek teknolojiler smıflandırılmıştrr. Teorik olarak kullamlabilecek teknolojiler arasından günümüzde pratik hayata geçirilmesi mümkün olan absorbsiyonlu, adsorbsiyonlu, nem almalı ve buhar-jet çevrimleri sırasıyla tartışılmıştır. Ayrıca bu sistemler için ısı üretecek olan güneş kolektörleri de incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, soğutma, desisif soğutma, absorbsiyon, adsorbsiyon

GİRİŞ

I960'lı yıllara kadar isimlendirilen ev sayısı oldukça az ve bu teknoloji sadece çok yüksek gelir düzeyine sahip kişiler için bir ayrıcalık iken, I960'lı yıllardan sonra Mimlendirme bir çok ülkede yaygın olarak kullanılmaya başlanmış, hatta bazı ülkelerde standart hale gelmiştir [1]. İklimîendirme sistemlerinin yaygınlığı doğrudan ülkelerin gelişmişlik düzeyiyle paralellik arz etmektedir.

Güneş enerjisi yardımıyla soğutma sistemlerinin tarihi 1872 yılma kadar uzanmaktadır. Bu tarihte Paris'te güneş enerjisi kullanılarak buz üreten bir sistem başarıyla çalıştırılmıştır [2]. Benzer bir sistem sonraki yıllarda Katalanya'da da yapılmıştır. 1936'da buhar-jet prensibine göre çalışan bir sistem Florida'da denenmiştir. 1940'lardan önce ise Kathabar ismiyle anılan ve akışkan olarak LiCİ kullanan bir sistem imal edilmiştir. 1950'li yıllarda güneş enerjisi destekli soğutma sistemleri dünyanın bir çok ülkesinde denenmiştir. 1953'de Taşkent'de parabolik bir ayna kullanılarak soğutma sistemi desteklenmiştir. 1956'dan sonra Trombe bir çok güneş enerjili soğutma sistemini denenmiştir. 1958'de ise Avustralya'da $LiBr/H_20$ çiftli bir soğutucu yapılmıştır. Daha sonra (1966) yine Avustralya'da güneş enerjisi destekli soğutma yapan bir güneş evi inşa edilmiştir. 1976'da ABD'de 500 civarında güneş enerjili klima cihazı yapılmıştır. Bu cihazlar çalışma zamanlarının %75-80'i civarında güneş enerjisi tarafından çalıştırılırken, geri kalan zamanlarında elektrik veya fuei-oil ile desteklenmişlerdir [3].

1969 yılında, açık çevrimli absorbsiyonlu soğutma sistemi ilk olarak denenmiştir [4].

1970 ve 1980'li yıllarda güneş enerjisi ile soğutmaya ilgi artarak devam etmiştir. Bu konuda 1982 yılında yapılan ilk uluslararası toplantıların

(*) TMMOB MMO Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabından alınmıştır.

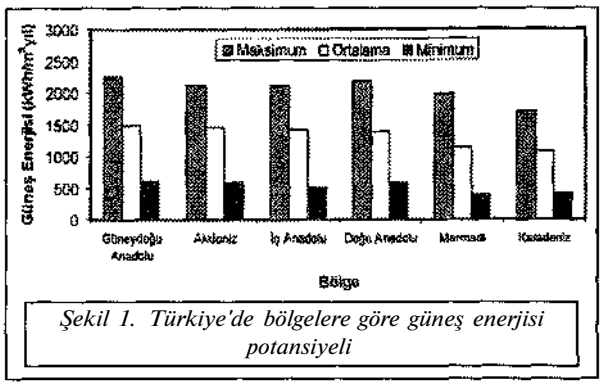
birisinde 200 katılımcı, 40 tane bilimsel çalışmayı tartışmışlardır [3].

Günümüzde değişik ülkelerde, soğutmada güneş enerjisi kullanımını aktif hale getirmeyi amaçlayan ulusal ve uluslararası birçok proje yürütülmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafmdan 1977 yılında başlatılan ve günümüzde de hale devam eden uluslararası bir proje yürütülmektedir [3]. IEA tarafmdan organize edilen son proje 1998 yılında başlatılmış olup, TASK 25 adı ile anılmaktadır. Bu projede güneş enerjisi destekli soğutma sistemlerinin ticarileştirilmesi, böylelikle birincil enerji tüketiminin ve binaların iklimlendirilmesinden kaynaklanan pik elektrik yüklerinin azaltılması ve çevre dostu Mimlendirme tekniklerinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Fraunhofer İSE (Almanya) liderliğindeki projede 4 ana çalışma grubu oluşturulmuştur. Bu çalışma gruplarının görevleri şu şekilde belirlenmiştir. Meksika liderliğindeki 1. çalışma grubu güneş enerjisi destekli soğutmanın mevcut durumunun ortaya çıkartılması, 2. çalışma grubu (Almanya) tasarım yöntemleri ve modelleme programlarının geliştirilmesi, 3. çalışma grubu (Hollanda) teknoloji, market boyutu ve çevresel kazançlar, 4. çalışma grubu (Fransa) ise güneş enerjisi destekli soğutma demonstrasyon projeleri üzerine çalışacaklardır.

Güneş enerjisi ile soğutma uzun zamandır insanların ilgisini çekmekle birlikte, bu alanda ciddi çalışmalar 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizi sonrasında ağırlık kazanmıştır. Özellikle absorbsiyonlu soğutma çevrimine dayalı birçok demonstrasyon projesi gerçekleştirilmiştir. ABD'de başlayan bu çalışmalar 1980'li yılların başında diğer Amerika ve Ortadoğu ülkelerinde de devam etmiştir. Ancak bu çalışmalarda beklenenden daha düşük soğutma etkinlik katsayısı, COPsoğ, ($LiBr/H_20$ için 0.52-0.75; NH_3/H_20 için 0.35-0.51) değerlerinin elde edilmesinin yanında, klasik buhar sıkıştırmalı çevrimlere göre çok yüksek (3-4 kat) ilk yatırım maliyetlerinin olması [5] ve daha sonraki yıllarda petrol fiyatlannm göreceli olarak ucuzlaması sebebiyle, güneş enerjisi ile soğutmaya ilgide belirli bir düşüş gözlemlenmiştir. Son yıllarda enerji fiyatlarındaki artışlar, fosil kökenli yakıt kaynaklarının tükenmekte olduğunun belirlenmesi ve çevre bilincinin artmasıyla birlikte, güneş enerjisi ile soğutma tekrar ısıtma-soğutma dünyasmm gündemine gelmiştir. 1970'lerin sonu-1980'lerin başında yoğun olarak incelenen absorbsiyonlu sistemlerin yukarıda belirtilen dezavantajlarından dolayı, bu sistemlerin yanında çeşitli alternatif soğutma çevrimleri de araştırılmaya başlanmıştır.

Küresel ısınma ve buhar-sıkıştırmalı soğutma sistemlerinde kullanılan soğutucu akışkanların ozon tabakasına zarar verdiğinin tespit edilmesi ve bunu önleyebilmek için ticari soğutma sistemlerinin piyasaya çıkmasından beri kullanılmakta olan bazı soğutucu akışkanların üretiminin ve kullanımının kademeli olarak yasaklanması buhar-sıkıştırmalı soğutma çevrimine alternatif soğutma sistemlerine yönelişi arttırmıştır. Bugün alternatif soğutma sistemleri olarak adlandırılan sistemlerin bazıları uzunca bir süredir bilinmelerine rağmen, buhar-sıkıştırmalı soğutmanın piyasada etkin olması sebebiyle ticari boyutta hayata geçirilememişlerdir. Bu teknolojilerin bir çoğu prototip veya küçük örnek uygulama boyutunda kalmışlardır.

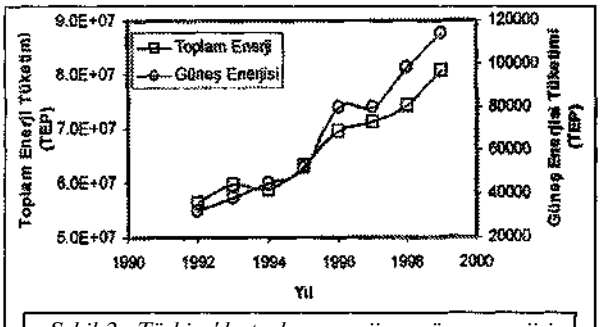
Enerjisini büyük oranda ithal yoluyla sağlayan Türkiye'de, çok sağlıklı veriler mevcut olmamakla birlikte tüketilen toplam enerjinin yaklaşık %25-30'u binalarda kullanılmaktadır. Binalarda kullanılan toplam enerjinin dikkate değer bir oranı ise binaların isimlendirilmesi ve kullanım sıcak suyu üretimi için harcanmaktadır. Bu amaçla yoğun olarak, değerli ve de pahalı bir enerji türü olan elektrik kullanılmaktadır. Türkiye güneş enerjisi bakımından zengin sayılabilecek bir ülkedir. Şekil l'de Bölgelerimize göre güneş enerjisi potansiyelleri verilmiştir [6]. Bölgelerimize göre yıllık ortalama güneş enerjisi potansiyeli 1086 ile 1492 kWh/m^2yıl arasmda değişmektedir.



Şekil 1. Türkiye'de bölgelere göre güneş enerjisi potansiyeli

Güneş enerjisi bakımından zengin bir potansiyele sahip olan yurdumuzun, Çukurova'yı da içine alan bazı yörelerinde düzlem levhalı kolektörler kullanılarak güneş enerjisi yardımıyla sıcak su üretimi yapılmakta ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Güneş enerjisinden kurutma amacıyla da faydalanılmaktadır. Şekil 2'de 1990-1999 yılları arasında Türkiye'nin toplam enerji ve güneş enerjisi tüketimi verilmiştir [6]. 1999 yılında tüketilen güneş enerjisinin toplam enerji içerisindeki payı ancak %0.14 olmuştur.

Türkiye'nin güneş enerjisi bakımından zengin bölgelerinden Akdeniz, Ege ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde kış aylarında ısıtma kadar, yaz aylarında soğutma da vazgeçilemez bir gereksinimdir. Bu çalışmada güneş enerjisinden yararlanarak soğutma elde edebilen sistemler tanıtılarak, tartışılmıştır.



Şekil 2. Türkiye'de toplam enerji ve güneş enerjisi tüketiminin yıllara göre değişimi

GÜNEŞ ENERJİSİ İLE SOĞUTMA TEKNOLOJİLERİ

Güneş enerjisi ile soğutma teknolojileri üç farklı açıdan gruplandırılabilir. Bunlar; kullanılan soğutma tekniği, kullanılan güneş enerjisi toplama sistemi ve elde edilmek istenen soğutmanın sıcaklığıdır.

Soğutma sıcaklığı genel olarak üç ana grupta sınıflandırılabilir:

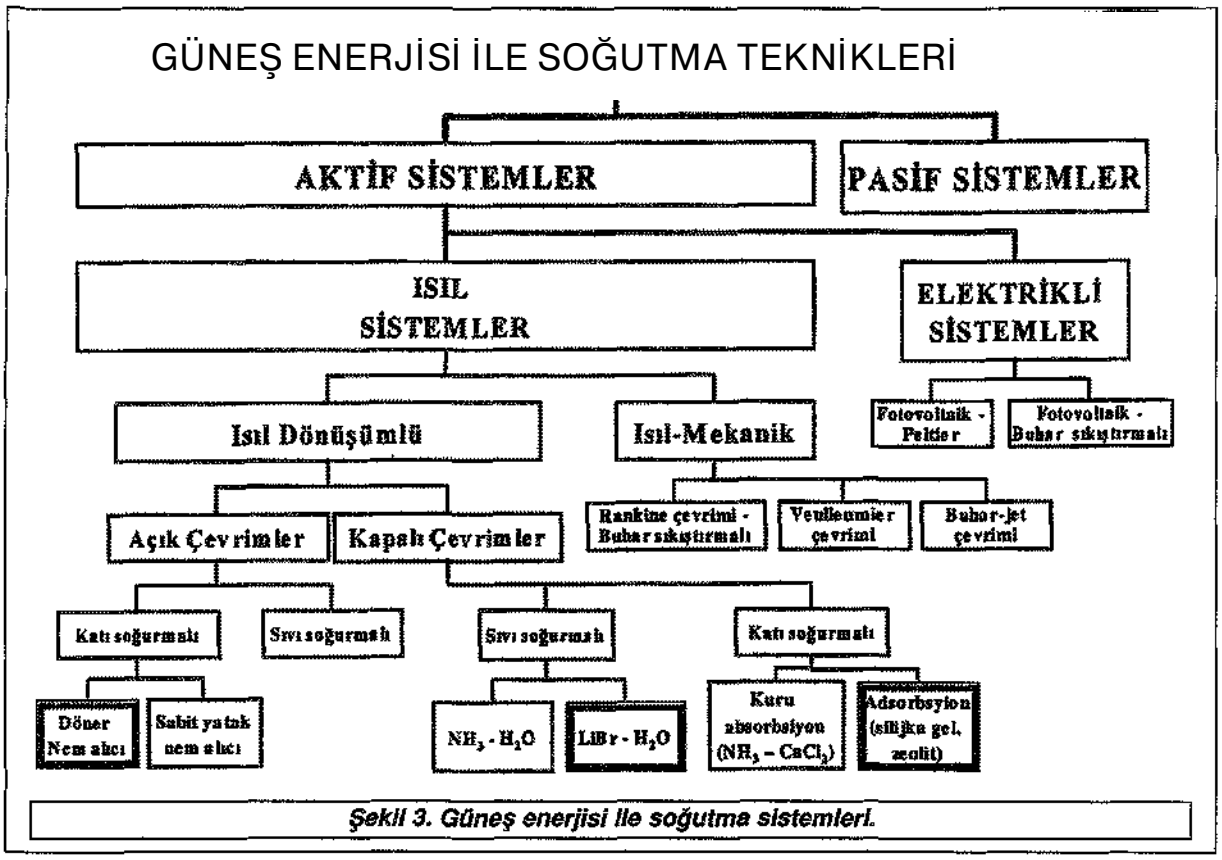
1. 4/25 °C (Mimlendirme)
2. -10/4 °C (genel amaçlı soğutma)
3. -20/-10 °C (düşük sıcaklık uygulamaları)

Güneş enerjisi yardımıyla soğutma tekniklerini, soğutma prosesinin türüne, kullanılan aracı maddenin fazına, çevrimin açık-kapalı olmasına göre farklı şekillerde sınıflandırmak mümkündür. Bazı araştırmacılar tarafmdan yapılan ([5], [7], [8]) bir sınıflandırma Şekil 3'de verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi güneş enerjisi ile soğutma için teorik olarak bir çok soğutma tekniği mevcut olmasına rağmen, günümüzde bu teknolojilerden sadece birkaçı uygulanabilir durumdadır.

Pasif sistemler doğrudan binanın mimarisi ile bağlantılı olup, bu çalışmanın kapsamı dışındadır. Aktif sistemleri kendi arasında ısıl ve elektrik sistemler olarak ikiye ayırmak mümkündür. Elektrik esaslı sistemlerde, fotovoltaik piller kullanılarak, güneş enerjisi yardımıyla elektrik üretilmekte ve bu elektrik bir soğutma sistemini (klasik buhar sıkıştırmak veya Peltier) çalıştırmak üzere kullanılmaktadır.

Isıl sistemler genel olarak iki başlık altında toplanabilir: ısıl dönüşümlü ve ısıl-mekanik sistemler. Isıl-mekanik sistemlerde güneş enerjisi yardımıyla elde edilen ısıl enerji bir güç çevrimine (örneğin Rankine) aktarılmakta, güç çevriminin çıktısı ise klasik bir buhar sıkıştırmak soğutma çevrimini çalıştırmaktadır. Isıl dönüşümlü sistemlerde ise, ısı doğrudan bir soğutma çevrimini çalıştırmak üzere kullanılmaktadır. Isıl dönüşümlü sistemler genel olarak desisif, absorbsiyonlu ve adsorbsiyonlu olmak üzere üç ana grupta toplanabilir. Ancak kullanılan soğurucunun fazına (sıvı, katı) veya kullanılan çevrimin açık-kapalı olmasına göre değişik uygulamalar mevcuttur.

Şekil 3'de gösterilen teknolojilerin bir çoğu



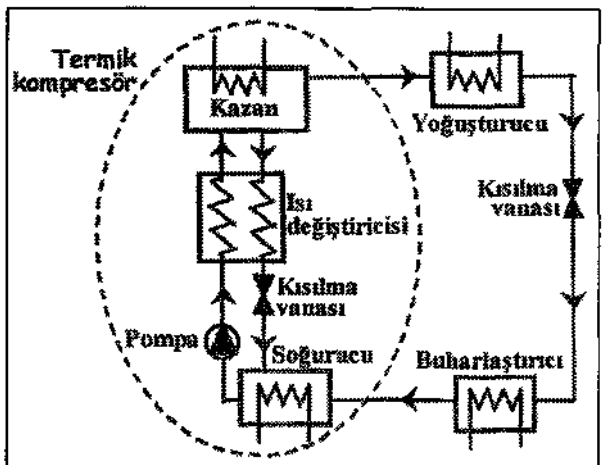
Şekil 3. Güneş enerjisi ile soğutma sistemleri.

hala araştırma ve geliştirme safhasındadır. Günümüzde, açık çevrimli-katı soğurmalı sistemlerden döner nem alıcılı çevrim (desisif), kapalı çevrimli-sıvı soğurmalı sistemlerden $LiBr/H_20$ çevrimi (absorbsiyonlu) ve yine kapalı çevrimli-katı soğurmalı sistemlerden silika jel esaslı çevrimler (adsorbsiyonlu) pratikte uygulanabilecek düzeyde geliştirilmişlerdir. Aşağıda bu üç sistem kısaca ele alınmıştır. Bu üç sisteme ilave olarak günümüzde üzerinde çalışılan, ancak kısa sürede ticari ürün haline dönüştürülebilmesi beklenmeyen sistemler de mevcuttur. Bunların başında da açık çevrimli-sıvı soğurmalı sistemler, kapalı çevrimli-katı soğurmalı sistemlerden kuru absorbsiyonlu (amonyak-tuz) çevrimler ve ısıl-mekanik çevrimlerden buhar-jet çevrimi gelmektedir.

KAPALI ÇEVRİMLİ, SIVI SOĞURMALI (ABSORBSİYONLU) SOĞUTMA SİSTEMLERİ

Sıvı absorbsiyonlu soğutma çevrimi genel olarak buhar-sıkıştırmalı soğutma çevrimine benzer. Ancak buhar-sıkıştırmalı soğutma çevrimindeki mekanik iş (genellikle elektrik) harcayan kompresörün yerini termik-kompresör adı verilen bir sistem almaktadır (Şekil 4). Termik kompresörün çalışabilmesi için enerji girdisi ısı formundadır.

Bu sistemlerde soğutucu akışkan olarak doğal akışkanlar olan su veya amonyak kullanılmakta-



Şekil 4. Sıvı soğurmalı soğutma sisteminin çalışma prensibi

dır. Ancak ana soğutucu akışkana ilave olarak ikinci bir çalışma akışkanına da ihtiyaç vardır. Bu da genellikle LiBr (eğer soğutucu akışkan su ise) veya amonyak-su karışımı (eğer soğutucu akışkan amonyak ise) olmaktadır. Bu çiftlere ilave olarak başka akışkan çiftleri (H_20/H_20-LiBr ve NH_3/H_20+H_2) ile çalışan absorbsiyonlu soğutma sistemleri üzerinde de araştırmalar yürütülmektedir [5].

LiBr/H_20'lu soğutma sistemleri güneş enerjisi ile soğutma uygulamaları için en uygun absorbsiyonlu sistemlerdir. Soğurucusu ve yoğuşturucusu su ile soğutulan sistemlerin çalışabilmesi için gerekli ısıl enerjinin sıcaklığı 70-95 °C arasındadır. Bu sıcaklılara y ay gm olarak kullanılan ve fiyatı nispeten ucuz olan düzlem levhalı veya vakum tüplü güneş kolektörleri ile ulaşılabilir. LiBr/H_20'lu absorbsiyonlu soğutma sistemleri küçük uygulamalar için ticari olarak üretilmemektedirler. Günümüzde bu sistemler ticari olarak sadece Yazaki of Japan isimli bir firma tarafından üretilmektedirler [9].

LiBr/H_20'lu soğutma sistemlerinde soğutucu akışkan su olduğundan, donma tehlikesinden dolayı, 5 °C'nin altındaki sıcaklıklara inilmesi mümkün değildir.

Absorbsiyonlu soğutma çevrimleri tek etkili veya çok etkili olarak tasarlanabilmektedir. Çok etkili absorbsiyonlu sistemlerinde birbirleriyle bağlantılı çalışan birden fazla absorbsiyonlu soğutma çevrimi bulunur. Yüksek sıcaklıktaki ısı girdisi ile beslenen üst çevrimden atılan ısı, alt çevrimi çalıştırmak için kullanılır [9].

NH_3/H_20'lu absorbsiyonlu soğutma sistemi, LiBr/H_20'lu sistemlerden daha karmaşık olup, gerekli ısıl enerjinin sıcaklığı, su soğutmalı soğurucu ve yoğuşturuculu sistemlerde 95-120 °C, hava soğutmalı sistemlerde ise 125-170 °C mertebesindedir. Bu sıcaklıkları elde edebilmek için daha pahalı olan vakum tüplü veya parabolik güneş kolektörlerinin kullanılması gereklidir [1]. Bu sıcaklık aralığında tek etkili absorbsiyonlu soğutma sistemlerinin etkinlikleri ($COP_{soğ}$) 0.6 ile 0.8 civarındadır. Daha yüksek sıcaklıklarda (140-190 °C) ısı gereksinimi olan çift etkili absorbsiyonlu soğutma sistemlerinin $COP_{soğ}$'ı 1.35, üç etkili (ısı gereksinimi 220-300 °C) sistemlerin $COP_{soğ}$'ı ise 1.8'e kadar çıkanlabilmektedir [10].

Günümüzde NH_3/H_20 çiftli absorbsiyonlu soğutma sistemleri ticari olarak genellikle ABD ve Uzak doğu (Japonya, Kore, Çin ve Hindistan) kökenli firmalar tarafından üretilmekte ve birçok uygulamada başarıyla kullanılmaktadır. Ticari olarak satılan sistemlerin soğutma kapasitesi genellikle 200 kW'tan (683000 BTU/h) büyüktür. 35 kW (120000 BTU/h) kapasiteli sistemler sadece birkaç ürün ile sınırlıdır. Bu ürünlerin fiyatları soğutma kapasitesine göre değişmekle birlikte yaklaşık olarak 300 USD/kW (90 USD/1000 BTU/h) mertebesindedir.

Günümüzde, absorbsiyonlu soğutma sistemlerinde yer alan pompayı devre dışı bırakmak amacıyla NH_3/H_20 çiftiyle çalışan sistemlere hidrojen veya helyum gazı da ilave edilmektedir. Bu tür sistemler küçük kapasitelerde yurdumuzda da üretilmektedirler. Güneş enerjisi ile soğutma sistemi geliştirilirken üç akışkanlı absorbsiyonlu soğutma sistemleri de dikkate alınmalıdır [11].

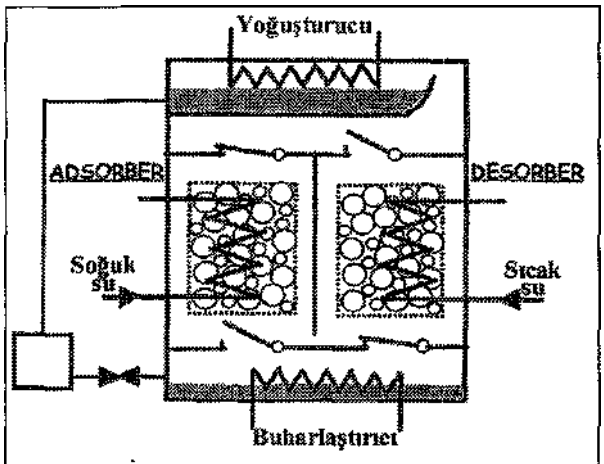
Güneş enerjisi ile soğutmanın yaygınlaşabilmesi için mutlaka daha küçük kapasiteli absorbsiyonlu sistemlerin geliştirilip, ticari ürün haline dönüştürülmesi gerekmektedir [9].

Güneş enerjisinin yeterli olmadığı durumlarda absorbsiyonlu soğutma sistemini desteklemek için genellikle yedek bir ısıtma sistemi ilave edilir. Bu ilave ısıtıcıda gaz bir yakacak (doğal-gaz, LPG, propan) veya fuel-oil kullamlabilir. Eğer akşam ve gece saatlerinde de soğutmaya ihtiyaç varsa gündüz saatlerinde sıcak su üretilerek depolanması ve ilave bir ısıtma sisteminin yanında, değişken elektrik tarifesi de göz önüne alınarak gece saatlerinde daha küçük kapasiteli buhar-sıkıştırmah bir soğutma sisteminin çalıştırılması da bir alternatif olarak düşünülmelidir.

KAPALI ÇEVRİMLİ, KATI SOĞURMALI (ADSORBSİYONLU) SOĞUTMA SİSTEMLERİ

Güneş enerjisi yardımıyla soğutmada adsorbsiyonlu sistemlerinin kullanımı, Tchernev'in zeolitli sistemler üzerinde çalışmasıyla başlamıştır [12].

Bu tür sistemlerde soğutucu akışkan olarak genellikle su ve katı soğurucu olarak silika jel, zeolitler, aktifleştirilmiş karbon ve alumines kullanılmaktadır [13]. Güneş enerjisi yardımıyla soğutma için önerilen adsorbsiyonlu soğutma sistemlerinin bir çoğu kesintili çalışmaktadır. Sürekli çalışan ve iki adsorbsiyon ünitesine sahip bir sistem Şekil 5'de gösterilmiştir [14]. Günümüzde ticari olarak satılan sistemlerde soğurucu olarak silika jel kullanmaktadır [5]. Adsorbsiyonlu soğutma sistemleri Japon firmaları tarafından ticari olarak üretilmekte olup, kapasiteleri genellikle 50 kW'tan büyüktür [7].



Şekil 5. İki adsorbsiyon üniteli soğutma çevrimi

Adsorbsiyonlu sistemlerin çalıştırılması için gerekli ısıl enerjinin sıcaklığı 60-90 °C arasında olup soğutma etkinlikleri (COP_{sog}) 0.3 ile 0.7 arasmda değişir [7]. Adsorbsiyonlu sistemlerin COPsog'si bütün güneş enerjili soğutma çevrimleri içerisinde en düşüktür [5]. Adsorbsiyonlu soğutma sistemlerinin çalıştırılması için gerekli sıcaklıklar (60-90 °C) düzlem levhalı veya vakum tüplü güneş kolektörleri ile temin edilebilir.

Suyun soğutucu akışkan olarak kullanıldığı adsorbsiyonlu soğutma sistemlerinde, donma tehlikesinden dolayı, üretilen soğutma 0 °C'nin üstünde olmalıdır. Su yerine metanol kullanılarak, daha düşük sıcaklıklara inilebilir [15]. Metanol ile birlikte katı soğurucu olarak aktifleştirilmiş karbonun kullanıldığı bir çok araştırma mevcuttur [13]. Aktifleştirilmiş karbon ile amonyağm da kullanılması mümkün olmakla birlikte, bu durumda yüksek sıcaklıkta ısıl enerji gereksinimi (>120 °C) mevcuttur [14].

Son yıllarda temeli adsorbsiyonlu soğutma prensibine dayanan ve güneş enerjisiyle buz üretimini hedefleyen bir çok alternatif çevrim önerilmiştir ([12], [16], [17], [18]).

Adsorbsiyonlu soğutma sistemlerinin avantaj ve dezavantajları [19] tarafından tartışılmıştır.

AÇIK ÇEVRİMLİ, KATI SOĞURMALI (DESİSİF) SOĞUTMA SİSTEMLERİ

Açık çevrimler, buharlaşmalı soğutma prensibinden faydalanırlar ve soğuk su üretmek yerine Mimlendirme havasım şartlandırırlar. Buharlaşmak soğutma eski çağlardan beri bilinmekte olup, Mimlendirilecek ortama gönderilen dış havanın nemlendirilmesiyle elde edilen soğutma sadece dış hava neminin düşük olduğu bölgelerde etkili olabilmektedir. Dış hava neminin yüksek olduğu bölgelerde buharlaşmak soğutmanın uygulanabilmesi için (buharlaşma yoluyla soğutma etkisinin artırılabilmesi) önce dış hava içindeki nemin azaltılması gerekmektedir. Nem alma işlemi için çeşitli sıvı veya katı nem alıcılar kullanılmaktadır. Havanın önce neminin alınıp, sonra da su ile nemlendirilerek soğutulması işlemlerine desisif-buharlaşmalı soğutma denilmektedir [20], [21].

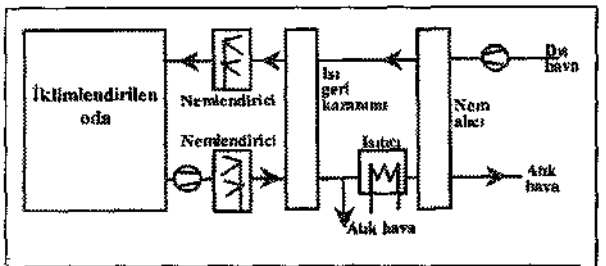
Güneş enerjisiyle soğutma proseslerinde genellMe katı soğurucular kullanılmaktadır. Katı nem alıcılar geneîhkle taşıyıcı bir madde ile bu madde üzerine tutturulan nem alıcıdan oluşur. Katı taşıyıcı madde genellMe alüminyum folye, plastik folye ve selüloz kağıdından yapılırken, nem alıcı olarak suda çözünen higroskobik tuzlar

(LiBr, $CaCl_2$, $MgCl_2$ gibi), silika-jel, moleküler elekler, higroskobik metal oksitler ($A1_20_3$ gibi) ve higroskobik plastik folyeler kullanılmaktadır.

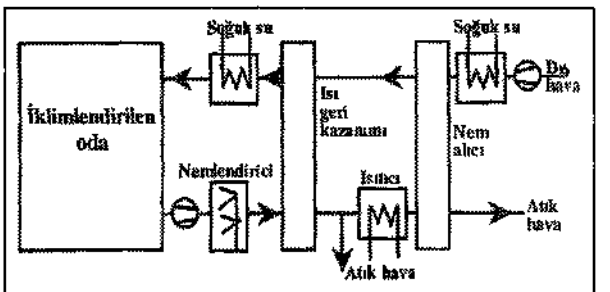
Taşıyıcı ve nem alıcı genellikle döner bir teker halinde imal edilmektedirler. Günümüzde döner rejeneratörler ABD, Japonya, Almanya ve İsviçre kökenli bazı firmalar tarafından bir paket halinde veya sistemi oluşturan elemanlar üniteler halinde ayrı ayrı ticari olarak satılmaktadır [7].

Bu tür sistemlerde ısıl enerji katı soğurucunun (nem alıcı) nemini uzaklaştırmak (rejenerasyon) için gereklidir ve bu enerji güneş kolektörleri tarafından üretilebilir. Nemli hava içerisindeki su buharının kısmi basıncı soğurucunun içindekinden fazla olunca, havadan bu maddeye nem geçişi olur ve böylece havanın nemi azalır. Soğurucunun ısıtılmasıyla da, soğurucudan nemi uzaklaştırarak (rejenerasyon) soğurucuyu eski haline getirmek mümkündür. Rejenerasyon için gerekli ısıl enerjinin sıcaklığı 45-95 °C arasındadır ve bu enerji düzlem veya havalı güneş kolektörleri tarafından üretilebilir [7].

Basit bir desisif soğutma sisteminin çalışma prensibi Şekil 6'da gösterilmiştir. Katı nem alıcının rejenerasyonu için gerekli ısıtıcı bir güneş kolektörü tarafından beslenir. Ancak havanın çok nemli olduğu bölgelerde, sistem buhar sıkıştırmalı bir soğutma grubu tarafından desteklenmelidir (Şekil 7) [22]. Aynı prensibe göre çalışan sıvı nem alıcılı desisif soğutma sistemleri de bulunmaktadır.



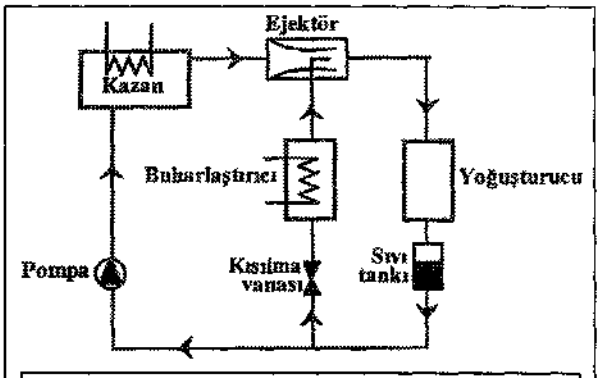
Şekil 6. Desisif soğutma sistemi



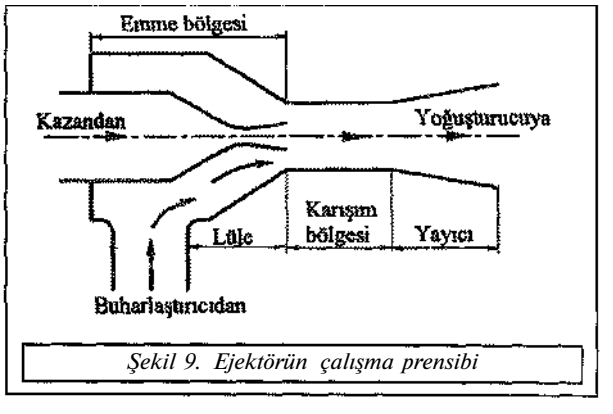
Şekil 7. Nemli bölgeler için buhar-sıkıştırmalı soğutma çevrimi destekli desisif soğutma sistemi

GÜNEŞ ENERJİLİ BUHAR-JET SOĞUTMA SİSTEMLERİ

Bu tür sistemlerde klasik buhar-sıkıştırmalı soğutma çevriminde bulunan yoğuşturucu, kısılma vanası ve buharlaştırıcı mevcuttur. Mekanik kompresörün yerini ise ejektör kompresör almıştır (Şekil 8). Kazanda soğutucu akışkana ısıl enerji ilave edilmesinden dolayı yüksek basınç ve sıcaklıkta soğutucu akışkan buharlaşır. Buhar, ejektörün lülesinden geçerken (Şekil 9) hızı artar ve basıncı düşer. Böylece buharlaştırıcı için gerekli düşük basınç oluşturulur.



Şekil 8. Buhar-jet soğutma sisteminin çalışma prensibi



Şekil 9. Ejektörün çalışma prensibi

Şekil 8'de görülen sistemdeki küçük pompanın mevcut olmadığı düzenlemeler de mevcuttur [23].

Buhar-jet soğutma sistemlerinde soğutucu akışkan olarak su, R11, RIB, R114, R141b, R142b, R134a ve HR 123 denenmiştir. Bu soğutucu akışkanların kazanda buharlaştırılabilmeleri için gerekli kazan sıcaklıkları, kazan basıncına da bağlı olarak 60 ile 180 °C arasında değişmektedir [24].

R141b ile 90 °C kazan, 28 °C yoğuşturucu ve 8 °C buharlaştırıcı sıcaklığında ulaşılan COP^, 0.5 mertebesindedir [25].

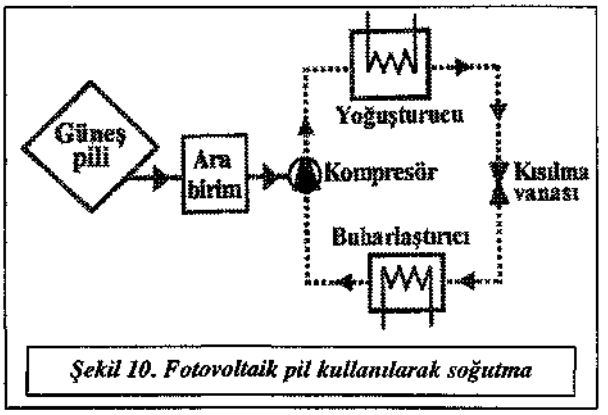
GÜNEŞ ENERJİLİ DİĞER SOĞUTMA SİSTEMLERİ

Güneş enerjisi kolektörlerinden sağlanan enerjinin bir Rankine çevrimini ve bu çevrimden elde edilen mil işinin de klasik bir buhar sıkıştırman soğutma çevriminin kompresörünü çalıştırması mümkündür. Ancak güneş enerjisi ile beslenmelerinden dolayı Rankine çevriminde çalışma akışkanı olarak yüksek sıcaklıklar için suyun yanında (>400 °C), daha düşük sıcaklıklar için R113 ve toluene gibi akışkanlar da kullanılmaktadır. Su dışında başka bir çalışma akışkanı kullanan Rankine sistemleri ticari olarak mevcut olup "organik Rankine çevrimi" olarak adlandırılmaktadırlar. Bu çevrim kullanılarak ulaşılabilen COP değerleri 0.6-0.7 mertebesinde olmuştur [5].

Fotovoltaik piller yardımıyla üretilen doğru akımın bir invertör yardımıyla alternatif akıma çevrilmesi ve bunun da klasik buhar sıkıştırman bir soğutma çevrimini çalıştırması mümkündür (Şekil 10). Ancak bu tür sistemlerde elektrik enerjisinin depolanması için ilave ünitelere ihtiyaç vardır. Teknik yönden halledilmesi gereken bazı problemleri olan bu sistemin ilk yatırım maliyetinin absorbsiyonlu soğutma sistemine göre daha düşük olması sebebiyle ileride bu yönde de bazı gelişmelerin olması beklenebilir.

GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİ

Güneş enerjisinin, soğutma sistemlerinde kullanılabilecek formda bir enerjiye dönüştürülebilmesi için değişik toplayıcılar geliştirilmiştir. Bunların başlıcaları [26]:



Şekil 10. Fotovoltaik pil kullanılarak soğutma

1. Düzlem levhalı güneş kolektörleri
2. Vakum tüplü kolektörler
3. Sabit, yoğunlaştırmalı kolektörler
4. Çanak tipi, yoğunlaştırmalı kolektörler
5. Çizgisel odaklamalı kolektörler
6. Güneş havuzları
7. Fotovoltaik
8. Termoelektrik

Bulunulan bölgenin aldığı güneş ışınımına, sistemin tasarımı ve imalat kalitesi gibi birçok parametreye bağlı olmakla birlikte, düzlem levhalı güneş kolektörleri ile verimli bir şekilde elde edilebilecek su sıcaklıları maksimum 80 °C mertebesindedir. Bu değer vakum tüplü kolektörler ile 180 °C'ye parabolik yoğunlaştırıcı kolektörler ile 300 °C'ye kadar çıkabilmektedir [23].

Klasik olarak kullanılan bu tür kolektörlerin yanında günümüzde daha verimli, daha ucuz ve daha yüksek sıcaklıklarda ısıl enerji üretebilen güneş kolektörleri üzerinde de bir çok çalışma yürütülmektedir. Örneğin parabolik kolektörler tarafından bir fiber optik üzerine yoğunlaştırılan güneş ışınlarının daha uygun bir noktaya fiber optik hat vasıtasıyla iletilmesi ve burada kimyasal, elektrik veya ısıl enerjiye dönüştürülmesi üzerine çalışmalar yapılmaktadır (örneğin [27]). Bu tür tasarımlar ile %80 mertebesinde yüksek bir toplama verimi elde edilebileceği ileri sürülmektedir.

Güneş enerjisi ile soğutmada, güneş kolektöründe ısıtılan ve soğutma sistemini besleyen akış-

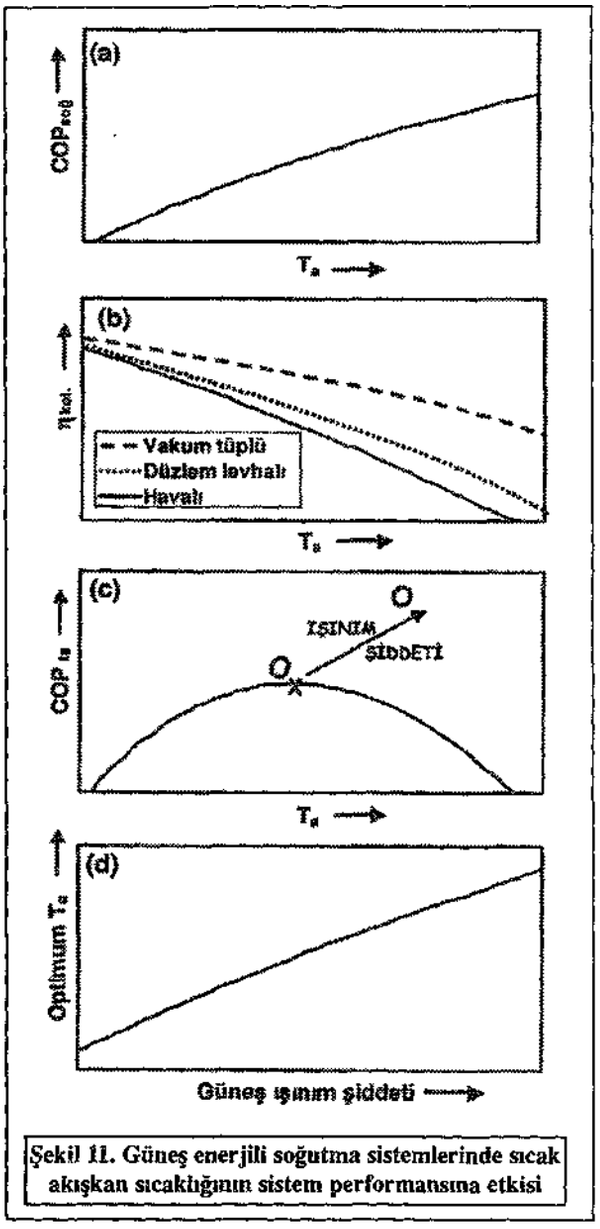
kanın sıcaklığı (T_a), sistemin performansı açısından oldukça önemlidir. Belirli bir buharlaştırıcı sıcaklığı Tbuh için, soğutma sistemini besleyen akışkanın sıcaklığı artıkça, genel olarak soğutma sisteminin etkinliği ($COP_{soğ}$) artar (Şekil 11-a). Ancak, kolektörlerde ısıtılan akışkanın sıcaklığı artıkça (T_a), sabit güneş ışınım şiddetinde kolektör verimi ($\eta_{kol.}$) düşer (Şekil 11-b). Akışkan sıcaklığı ile kolektör verimi arasındaki ilişki, kolektör tipine bağlıdır.

Soğutma sisteminin etkinliğinin, kolektör verimi ile çarpılmasıyla elde edilen toplam soğutma etkinliği ($COP_{,s}$) dikkate alındığında ise Şekil 11-c'de görüldüğü gibi, akışkan sıcaklığının artmasıyla önce COP_{ts} artmakta, belirli bir akışkan sıcaklığında en yüksek değerini (O noktası) aldıktan sonra düşüşe geçmektedir. Akışkan sıcaklığının çok yüksek sıcaklıklarında toplam sistem performansı (COP_{ts}) sıfır olabilmektedir. Bu sebepten, güneş enerjisi ile soğutma sistemi tasarlanırken sadece soğutma sistemi veya sadece güneş kolektörü dikkate alınmamalı, bu ikisinin uyumu da mutlaka araştırılmalıdır. Şekil 11-c'de gösterilen eğri belirli bir güneş ışınım şiddeti için geçerlidir. Güneş ışınım şiddetinin artmasıyla birlikte, COP_{ts} artacağı gibi, COP_{ts}'nin maksimum olduğu O noktası da daha yüksek T_a sıcaklıklarında oluşacaktır (Şekil 11-d). Diğer bir deyişle optimum nokta sağa ve yukarıya doğru kayacaktır. Gün içerisinde ve soğutma mevsimi boyunca günlük olarak güneş ışınım şiddetinin değişeceği dikkate alınarak tasarım yapılmalıdır.

GÜNEŞ ENERJİSİ İLE SOĞUTMANIN DÜNYADA YE TÜRKİYE'DE PURUMU

Güneş enerjisi ile soğutma üzerine ilgi özellikle son yıllarda bütün dünyada artmıştır. Güneş enerjisi ile soğutmayı hayata geçirebilmek için üniversitelerde, araştırma kuruluşlarında ve özel sektörde bazı projeler yürütülmektedir. Bu çalışmalardan en kapsamlılarından birisi Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından organize edilen TASK 25 adlı projedir. Bu projede, güneş enerjisi destekli soğutma sistemlerinin ticari olarak üretilebilecek seviyeye getirilmesi amaçlanmaktadır. Maalesef ülkemizden hiçbir kuruluşun katılmadığı bu projede, birçok ülkeden değişik kuruluş yer almaktadır.

Fransa'da özellikle son 15 yılda güneş enerjisi destekli bazı soğutma sistemleri ve prototipler imal edilmiş ve denenmiştir. Bunlarm birçoğu karmaşık sistemler olup, genellikle kullanım aşamasında bazı zorluklar çıkarmışlardır. Bunların içerisinden başarıyla uygulanan tek ticari boyuttaki uygulama Güney Fransa'da 1992'de inşa edi-



Şekil 11. Güneş enerjili soğutma sistemlerinde sıcak akışkan sıcaklığının sistem performansına etkisi

len 50 kW'lik bir soğutma kapasitesine sahip sistemdir. Bu sistemde 130 m^2 vakum tüplü güneş kolektörü kullanılmıştır.

Almanya'da 1991 yılından itibaren federal hükümet güneş enerjisi ile soğutma araştırmalarını desteklemektedir. Bu çerçevede bazı örnek sistemler (demonstrasyon amaçlı) imal edilmiş ve denenmiştir. Bu sistemler genellikle absorbsiyonlu (genellikle su-LiBr), adsorbsiyonlu (silika gel) veya nem almalı (desisif) soğutma teknolojilerini kullanmışlardır. İmal edilen sistemlerin kapasiteleri 7 ile 247 kW arasında değişmektedir. 1 kW'lik soğutma için tesis edilen kolektör yüzey alam 0.5 m^2 ile 8 m^2 arasında değişmektedir.

Japonya'da güneş enerjisi ile soğutma çalışmaları 1974 yılında başlamış ve daha sonra özellikle büyük mağaza ve depoların soğutulmasına yönelik olarak bazı projeler gerçekleştirilmiştir. Kurulan sistemlerin kapasiteleri 35 ile 106 kW arasında ve COP'leri 0.7 mertebesindedir.

Hollanda'da 1996 yılında, ticari boyutta ilk desisif soğutma sistemi bir ofis binasına uygulanmıştır. Bu sistem binaya saatte 8500 m^3 hava göndermektedir.

Portekiz'de son 10 yıl içerisinde 5 kW ile 60 kW arasında kapasitelerde değişen 4 adet sistem imal edilmiştir. Bunların iki tanesi desisif, iki tanesi de absorbsiyonlu soğutma çevrimi kullanmışlardır.

Türkiye'de güneş enerjisi ile soğutma çalışmaları genelde üniversite ve devlete bağlı araştırma kuruluşlarında yapılmaktadır. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM) da $LiBr/H_20$ ile çalışan küçük ölçekli bir absorbsiyonlu soğutma sistemi kurulmuş ve denenmiştir.

Süleyman Demirel Üniversitesi tarafından, DPT tarafından da desteklenen "Mevcut soğuk hava depolarında güneş enerjili absorbsiyonlu soğutma sistemlerinin uygulanabilirliğinin belirlenmesi, optimizasyonu ve İsparta- Eğirdir yöresinde uygulanması" başlıklı bir proje yürütülmektedir.

Çukurova Üniversitesi, Makine Mühendisliği Laboratuarlarında güneş enerjisi ile soğutma için buhar-jet soğutma sistemi denenmektedir.

Ülkemizde tek gerçek boyuttaki güneş enerjisi ile soğutma, Alman Solitem Güneş Enerjisi Teknolojileri Ltd. Şti. tarafından Antalya'da mevcut bir otele uygulanacaktır. Bu proje TÜBİTAK-TİDEB tarafından da desteklenmekte olup, 116 kW soğutma yükünün güneş enerjisi ile karşılanması hedeflenmiştir. Projede kullanılacak 20-24 adet parabolik oluk tipi kolektörün her biri 5 m boyunda ve 1,8 m enindedir. Güneşi izleme mekanizmasına sahip her bir kolektörden 5-6 kWh enerji sağlanacağı hesaplanmıştır. Güneş kolektörlerinde üretilecek 180 °C sıcaklık ve 12 atm basınçtaki kızgın su, ortalama soğutma performansı ($COP_{so}g$) 1.4 olan çift etkili absorbsiyonlu soğutma sistemini besleyecektir [28].

SONUÇ

Güneş enerjisi ile soğutmada günümüzde uygulanabilir görülen düzlem levhalı kolektör-$LiBr/H_20$ sistemi, fotovoltaik-buhar sıkıştırmak sistem, fotovoltaik-termoelektrik sistemlerin yarımda gelecekte 4/25 °C aralığı için vakumlu tüp-NH_3/H_20 absorbsiyonlu soğutma sistemi, -10/4 °C aralığı için çanak tipi yoğunlaştırmalı kolektör-katı/gaz absorbsiyonlu soğutma sistem ve -20 / -10 °C aralığı için ise parabolik yoğunlaştmcılar-NH_3/H_20 absorbsiyonlu soğutma sistemi ticari hayata aktarılabilecek en yakın sistemler olarak değerlendirilmektedir [26].

Syed ve arkadaşları da [5] 20 farklı güneş enerjisi ile soğutma sisteminin performansını karşılaştırdıkları çalışmalarında benzer sonuçlar bulmuşlardır. Bu karşılaştırmada tüm sistemin performansı (kolektör+soğutma sistemi) birlikte ele alınmış ve farklı sıcaklıklarda soğuk hava veya su elde edilmesi için en yüksek performansa sahip sistemler olarak sırasıyla fotovoltaik-buhar sıkıştırmak sistemler, çift etkili $LiBr/H_20$'lu absorbsiyonlu sistemler ve tek etkili NH_3/H_20'lü absorbsiyonlu sistemler bulunmuştur.

Üniversitelerimizde ve sınırlı sayıdaki araştırma merkezlerimizde güneş enerjisi ile soğutma

üzerine bazı bağımsız, birbirinden kopuk ve çok sınırlı bütçe ile yapılan çalışmalar yerine, Enerji Bakanlığı koordinasyonunda üniversite, araştırma merkezi ve üretici firmaları da içine alan, belirli bir hedef, plan ve program çerçevesinde bir çalışmanın gerekliliği açıktır. Son yıllarda ülkemizde ithal yoluyla olsa da vakum tüplü güneş kolektörlerinin satılmaya başlanması, güneş enerjisi ile soğutma uygulamaları için önemli bir adımdır.

Günümüzde, güneş enerjisi ile soğutma ekonomik açıdan konvansiyonel soğutma teknolojileri ile yarışabilecek durumda değildir. Bu sistemlerin yaygmlaşması, güneş enerjisi ile soğutma bilincinin topluma kazandırılması ve gelecekte bu teknolojiye uzak kalınmaması açısından, güneş enerjisi ile soğutma sistemleri özel destekler ile özendirilmelidir. Bu destek, vergi indirimi veya muafiyeti şeklinde olabileceği gibi, yatırımları doğrudan destekleme şeklinde de olabilir.

KAYNAKLAR

[1] G.A. Florides, S.A. Tassou, S.A. Kalogirou, L.C. Wrobel, "Review of solar and low energy cooling technologies for buildings", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 6, 2002, pp.557-572.

[2] R. Thevenot, "History of refrigeration throughout the World", Int. Inst. Refrigeration, Paris 1979.

[3] P. Lamp, F. Ziegler, "European research on solar-assisted air conditioning", Int. J. Refrigeration, Vol. 21, No. 4, 1998, pp.89-99.

[4] R. Yang, P.L. Wang, "A simulation study of performance evaluation of single-glazed and double-glazed collectors/regenerators for an open-cycle absorption solar cooling system", Solar Energy, Vol. 71, No. 4, 2001, pp. 263-268.

[5] A. Syed, G.G. Maidment, J.F. Missenden, R.M. Tozer, "A rewiev of solar assisted cooling techniques", 2. International Heat Powered Cycles Conference, Paris, 5-7 Eylül 2001.

[6] K. Kaygusuz, A. San, "Renewable energy potential and utilization in Turkey", Energy Conversion and Manangement, Vol. 44, 2003, pp. 459-478.

[7] H. M. Henning, "Air conditioning with solar energy", 4th Transnational Meeting of the SERVITEC project partners, Almeria ve Barcelona, İspanya, 30 Eylül-5 Ekim 2000.

[8] M. Vetter, "Systeme zur thermischen Solarenergienutzung", 6. Alman-Türk Enerji Sempozyumu, İzmir, 21 - 24 Haziran 2001.

[9] G.A. Florides, S.A. Kalogirou, S.A. Tassou, L.C. Wrobel, "Design and construction of a LiBr-water absorption machine", Energy Conversion and Management, Vol. 44, 2003, pp. 2483-2508.

[10] J. M. Gordon, K. Choon, "High-efficiency solar cooling", Solar Energy, Vol. 68, 2000, pp. 23-31.

[11] T. Yılmaz, "SoğutmaTeknolojisi", Adana, 2001.

[12] A. Boubakri, "A New conception of an adsorptive solar powered ice maker", Renewable Energy, Vol. 28, 2003, pp. 831-842.

[13] A. P. F. Leitea, M. Daguenet, "Performance of a new solid adsorption ice maker with solar energy regeneration", Energy Conversion and Management, Vol. 41, 2000, pp. 625-1647.

[14] S. Mande, P. Ghosh, V.V. Kishore, K. Oertel, U. Sprengel, "Development of an advanced solar-hybrid adsorption cooling system for decentralized storage of agricultural products in India", Clima 2000, Brussels, 30 Ağustos-2 Eylül 1997.

[15] K. Oertel, "Realization of user's requirements in case of cold storage with solar adsorption techniques", FVS Workshop on Solar Sorption Cooling", Stuttgart, 16-17 Ekiml997.

[16] R. Z. Wang, Y. X. Xu, J. Y. Wu, W. Wang, "Experiments on heat-regenerative adsorption refrigerator and heat pump", Int. J. Energy Res., Vol. 22, 1998, pp. 935-941.

[17] R. Z. Wang, M. Li, Y. X. Xu, J. Y. Wu, "An energy efficient hybrid system of solar powered water heater and adsorption ice maker", Solar

Energy, Vol. 68, No. 2, 2000, pp. 189-195.

[18] M. Li, R.Z. Wang, "A study of the effects of collector and environment parameters on the performance of a solar powered solid adsorption refrigerator", Renewable Energy, Vol. 27, 2002, pp 369-382.

[19] E.E. Anyanwu, "Review of solid adsorption solar refrigerator I: An overview of the refrigeration cycle", Energy Conversion and Management, Vol. 44, 2003, pp. 301-312.

[20] A. Yılmaz, O. Büyükalaca, T. Yılmaz, "Nem almalı (desisif) soğutma sistemleri", Tesisat Dergisi, Sayı 34, 1998, s. 145-150.

[21] T. Yılmaz, O. Büyükalaca, "Desisif-evaporatif soğutma sistemleri", IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 4-7 Kasım 1999, s. 165-181.

[22] H-M. Henning, T. Erpenbeck, C. Hindenburg, I. S. Santamaria, "The potential of solar energy use in desiccant cooling cycles", International Journal of Refrigeration, Vol 24, No 3, 2001.

[23] V M. Nguyen, S. B. Riffat, P. S. Doherty, "Development of a solar-powered passive ejector cooling system", Applied Thermal Engineering, Vol. 21, 2001, pp. 157-168.

[24] H. El-Dessouky, H. Ettouney, I. Alatigi, G. Al-Nuwaibit, "Evaluation of steam jet ejectors", Chemical Engineering and Processing, Vol. 41,2002, pp. 551-561.

[25] B. J. Huang, J. M. Chang, V. A. Petrenko, K. B. Zhuk, "A solar ejector cooling system using refrigerant R141b", Solar Energy, Vol. 64, 1998, pp. 223-226.

[26] R. Best, N. Ortega, "Solar refrigeration and cooling, Renewable Energy", Vol. 16, 1999, pp. 685-690.

[27] D. Feuermann and J. M. Gordon, "Solar fiber-optic mini-dishes: A new approach to the efficient collection of sunlight", Solar Energy, Vol. 65, No. 3, 1999, pp. 159-170.

[28] L. Çolak, A. Durmaz, A. Lokurlu, "Güneş enerjisi ile buhar üretimi ve absorbsiyonlu soğutma uygulaması", 22. Enerji Tasarrufu Haftası Etkinlikleri, 23 - 24 Ocak 2003.