

GÜNEŞ ENERJİSİ KAYNAKLI SOĞUTMA SİSTEMLERİ VE BU ALANDAKİ YENİ UYGULAMALAR

Koray Sevinç

Ege Üniversitesi,
Güneş Enerjisi Enstitüsü
koraysevinc@yahoo.com

Ali Güngör*

Prof. Dr.,
Ege Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Makina Mühendisliği Bölümü
ali.gungor@ege.edu.tr

ÖZET

Özellikle yaz aylarında soğutma giderleri çok artmaktadır. Güneş enerjisinin soğutma teknolojilerinde kullanılmasıyla hem mali anlamda tasarruf sağlanabilmekte hem de fosil yakıtların kullanılması azaltılarak sera gazlarının salınımında azalma yaratılabilmektedir.

Bu çalışmada güneş enerjisi kaynaklı soğutma sistemlerinin genel tanımlamaları yapılarak birbirleri arasındaki farklar, avantajlar ve dezavantajlar gösterilmiştir. Ayrıca güneş enerjisi kaynaklı soğutma sistemleri için önem taşıyan geçmişteki çalışmalardan ve oldukça yeni inovatif çalışmalardan bahsedilmiş ve yeni sistemler tanıtılarak özellikle bu alanda yeni olan araştırmacılar için ufuk açıcı bir çalışma hazırlanması odaklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjili soğutma, ısı tahrikli soğutma, absorpsiyonlu soğutma, adsorpsiyonlu soğutma, nem almalı (desikant) soğutma

Solar Cooling Systems and New Applications of Its

ABSTRACT

Especially in summer months cooling costs are increasing too much. The use of solar energy cooling technologies can be provided both savings in energy costs as well as reduction in the emission of greenhouse gases can be generated by reducing the use of fossil fuels.

In this study, the general definitions of solar cooling systems are given and the differences between from each other and also the advantages and disadvantages are shown. In addition, cooling systems, which are important for solar energy from past studies, and is quite new and innovative studies in this field are discussed and new systems are introduced, especially in the preparation of a study focused on opening new horizons for researchers.

Keywords: Solar cooling, termaly driven cooling, absorption cooling, adsorption cooling, desiccant cooling

* İletişim yazarı

Geliş tarihi : 02.01.2013

Kabul tarihi : 16.01.2013

7-8 Ekim 2011 tarihlerinde Makina Mühendisleri Odası tarafından Mersin’de düzenlenen 5. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu’nda sunulan bildiri, yazarlarınca güncellenerek ve genişletilerek bu makale hazırlanmıştır.

Sevinç, K., Güngör, A. 2012. “Güneş Enerjisi Kaynaklı Soğutma Sistemleri ve Bu Alandaki Yeni Uygulamalar,” Mühendis ve Makina, cilt 53, sayı 635, s.59-70

1. GİRİŞ

21. yüzyılın başından bu yana ortalama global sıcaklık 0,6 K artmıştır (UN Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)). Ayrıca 2001’de düzenlenen “Climate Change” panelinde yapılan uyarıya göre 2100 yılına kadar sıcaklık ortalamalarının 1,4-4,5 K kadar artacağı belirtilmektedir. Küresel ısınmanın bu denli ciddi boyutlara gelmiş olması üzerine bunu engellemek ya da yavaşlatmak üzere birçok çaba sarfedilmektedir. Bunlardan yalnızca birisi olan Kyoto Protokol’üne göre endüstriyelmiş ülkeler, sera gazı emisyonlarını 1990 yılındaki emisyonlarına göre %5,2 oranla düşürmeleri gerekmektedir [1].

Birçok ülkede soğutma ve havalandırma için harcanan elektrik miktarı toplam elektrik kullanımının büyük bir kısmını kapsamaktadır. Üretilen elektriğin %80’i fosil yakıtların yakılmasıyla sağlanmaktadır. Bu da CO₂ ve CO gibi sera gazlarının salınımıyla ve küresel ısınmayla sonuçlanmaktadır[2]. Fosil yakıtların giderek azalması ve fiyatlarının artması da insanların başka kaynaklara yönelmesine neden olmaktadır.

Konvansiyonel soğutma uygulamalarında soğutucu akışkan olarak kullanılan ve ozon tabakasının zayıflamasına sebep olarak küresel ısınmanın artmasına neden olan birçok CFC (Chloro Fluoro Carbon), HFC (Hydro Fluoro Carbon) ve HCFC (Hydro Chloro Fluoro Carbon) gazlarının kullanımı yasaklanmıştır.

Soğutma teknolojilerinin birçok uygulama alanı vardır: Gıda işleme tesisleri, mekan havalandırılması, farmakolojik ürünlerin saklanması gibi. Sektörde önemli bir yere sahiptir.

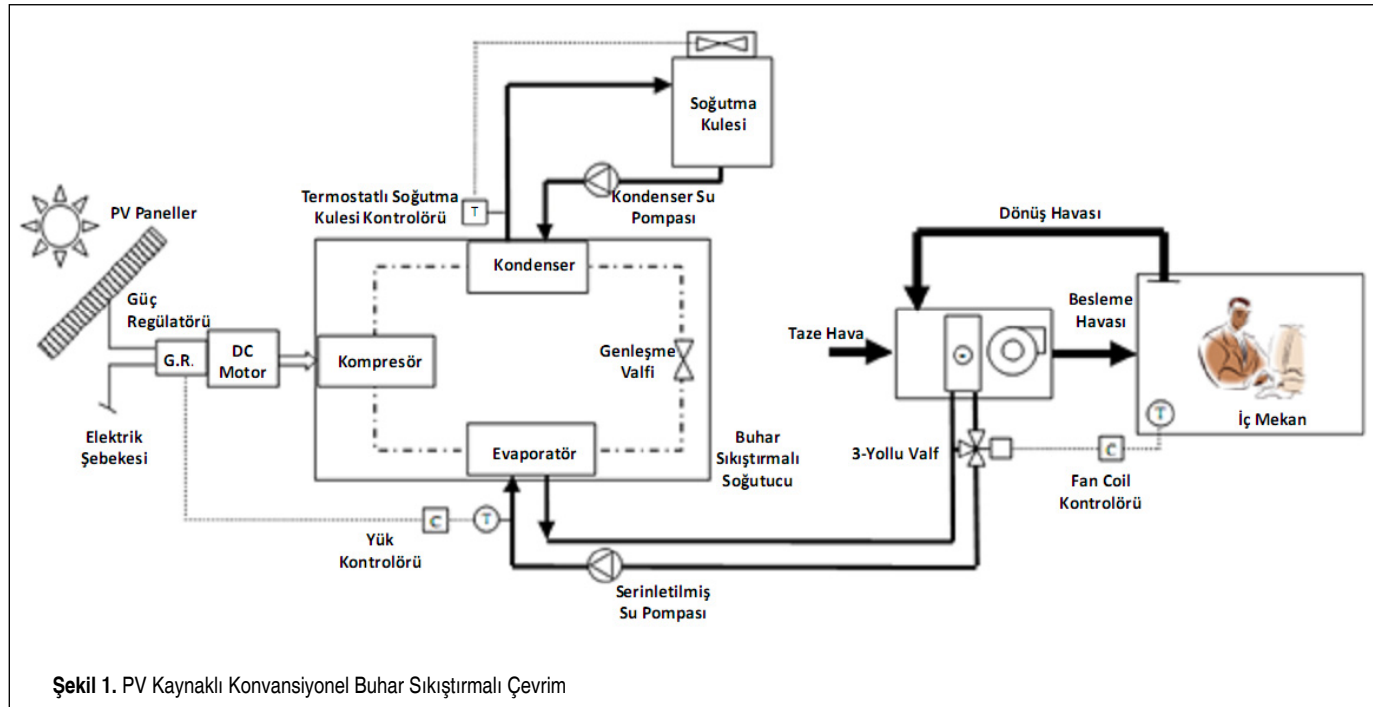
Güneş enerjisi diğer yenilenebilir enerjilerle karşılaştırıldığında kolay uygulama ve daha düşük kurulum maliyetlerine sahip olmasıyla, özellikle son yüzyılda ön plana çıkmıştır. Güneş enerjisinin en büyük uygulama alanları su ve ortam ısıtılması olmuştur. Fakat ortam ısıtılmasına en çok ihtiyaç duyulan dönemlerde güneş ışınımının düşük olması ve verimli olarak kullanılmaması bir problem olarak devam etmektedir. Güneş ışınımının en yoğun ve en uzun süreli olduğu yaz dönemlerinde ise ortam ısıtma ihtiyacı olmamakta tersine, soğutma ihtiyacı oluşmaktadır.

Güneşten gelen enerjinin soğutmada kullanılması için farklı birçok sistem bulunmaktadır. Bunları 5 ana başlıkta toplayabiliriz:

- 1- PV kaynaklı konvansiyonel buhar sıkıştırma çevrimi
- 2- Güneş Enerjisi kaynaklı termo-mekanik soğutma çevrimi
- 3- Güneş Enerjisi kaynaklı absorpsiyon soğutma çevrimi
- 4- Güneş Enerjisi kaynaklı adsorpsiyon soğutma çevrimi
- 5- Güneş Enerjisi kaynaklı desikant soğutma çevrimi

2. GÜNEŞ ENERJİSİ KAYNAKLI SOĞUTMA ÇEVİMLERİ

Beş ana başlıkta toplanan güneş enerjisi kaynaklı soğutma çevrimleri, yıllardır bilim insanlarının araştırmalarına konu olmuşlardır. Özellikle 1970’lerde, petrol krizi sırasında, güneş enerjisi kaynaklı soğutma teknolojileri büyük ilgi gördü ve bunun sayesinde 1980’lerde de sahip olduğu önemi korudu [3]. Bu sistemlerin çoğu piyasada yerini almıştır ve giderek fiyatları ucuzlamaktadır [1].



Şekil 1. PV Kaynaklı Konvansiyonel Buhar Sıkıştırma Çevrimi

2.1 PV Kaynaklı Konvansiyonel Buhar Sıkıştırma Çevrimi

Konvansiyonel buhar sıkıştırma soğutma çevriminde kompresörün AC motor yerine DC motor ile harekete geçirilmesiyle sistem çalışır (Şekil 1). Konvansiyonel buhar sıkıştırma çevrimden tek farkı da budur. DC motorun elektriği fotovoltaik (PV) paneller aracılığıyla sağlanır. Bu panellerin verimleri %15-17’leri bulmaktadır; fakat piyasada sıkça rastlanan PV panellerin ortalama verimi %10,3 dolaylarındadır [4].

Bu sistemin COP (Coefficient of Performance) değerleri 1,1 ile 3,3 arasında değişmektedir. Diğer güneş kaynaklı soğutma sistemlerine göre oldukça yüksek değerlere ulaşmaktadır. Fakat PV panellerin karbon ayakizi (carbon footprint) dikkate alındığında, üretiminde kullanılan yüksek miktarda elektrikten dolayı, oldukça yüksek oranda sera gazı salımının söz konusu olduğu görülmektedir.

2.2 Güneş Enerjisi (Solar Termal Enerji) Kaynaklı Termo-Mekanik Soğutma Çevrimi

Bu çevrimde sisteme ısı girdisi güneş kolektörleri tarafından sağlanmaktadır. Özellikle yüksek ısı girdisi ve yüksek sıcaklık gerekmektedir. Bu şekilde kızgın buhar fazında su ile türbin harekete geçirilebilir ve buhar sıkıştırma çevrimde yer alan kompresör çalıştırılabilir. Güneş Enerjili Rankine çevrimi Şekil 2’de gösterilmiştir. Bu tip Güneş Enerjili Rankine çevrimleri 1970 ve 1980’lerde aktif olarak incelenmiştir. Hatta su soğutmalı organik Rankine çevrimiyle çalışan, R-113 soğutucu akışkanlı çevrim incelenmiş, 101,7°C suyla çalışan sistemin verimi %5,8 olarak hesaplanmıştır [5].

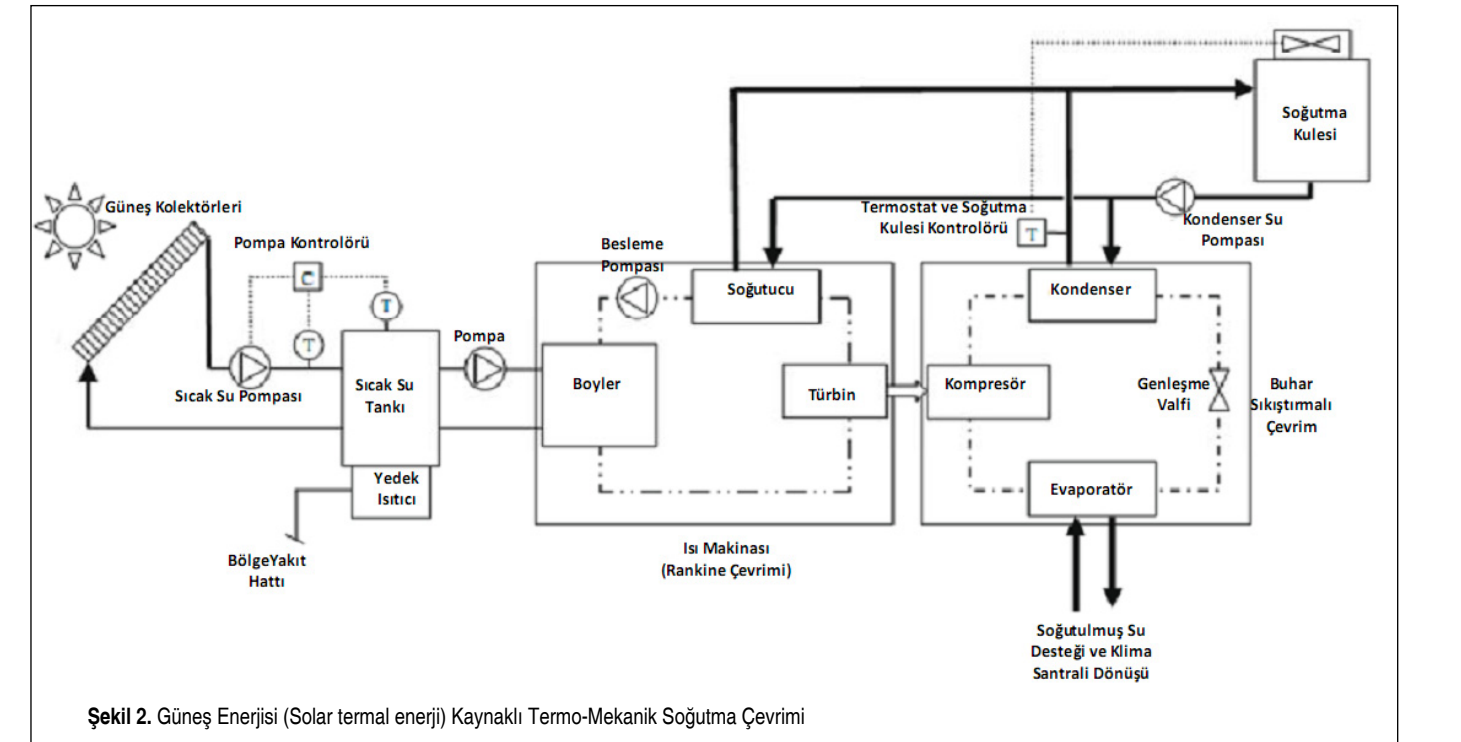
Doğal olarak ısı transfer akışkanının sıcaklığı yükseltildikçe sistem verimi kayda değer ölçülerde artmaktadır. Özellikle 100 °C’nin üzerindeki sıcaklıklara çıkılmasına ihtiyaç duyulduğunda, güneş ışınlarını noktasal ya da çizgisel olarak odaklayan parabolik kolektörler ya da güneş ışınlarını bir güç kulesinin tepesine yansıtan heliostat denilen güneşi takip eden aynaların bulunduğu sistemler kullanılmaktadır.

1980’lerin başlarında bildirilen bir çalışmada, güneş ışınlarını odaklayan parabolik kolektörler kullanılmış ve Güneş Enerjili Rankine çevrimi gerçekleştirilmiştir. Isı transfer akışkanının sıcaklığının 268 °C’ye ulaştığında maksimum sistem verimi %24’lere ulaşmıştır [6]. Daha yüksek sistem verimine sahip bir uygulama da “The Solar One”dir. Bu çalışmada heliostatlar kullanılmıştır, bunlar sayesinde su 516 °C’ye ısıtılmış ve kızgın buhar formunda kullanılmıştır. Sistem verimi ise %31’i bulmuştur [7].

Eğer %24 verimle ve 268 °C sıcaklıkta çalışan bir Rankine çevriminde %67 verime sahip odaklı parabolik kolektörler kullanılsaydı, bu sistemin toplam verimi yüksek verimli PV panellerin verimleriyle aynı değerlerde olurdu (%16). Ayrıca bu sistemler termoeconomik açıdan da incelendiğinde termomekanik soğutma sisteminin PV kaynaklı soğutma sistemine göre daha pahalı olduğu görülmektedir [1].

2.3 Güneş Enerjisi (Solar Termal Enerji) Kaynaklı Absorpsiyon Soğutma Çevrimi

Absorpsiyonlu soğutma sisteminin icadı 1860 yılında Ferdinand Carre tarafından yapılmış ve kendisi tarafından



Şekil 2. Güneş Enerjisi (Solar termal enerji) Kaynaklı Termo-Mekanik Soğutma Çevrimi

Amerika'da patenti alınmıştır [8]. Ardından 1887 yılında İngiliz Pontifex ve Wood firmaları tarafından absorpsiyonlu soğutma makinası üretimi gerçekleştirilmiş ve bu alanda gelişmeler olmuştur. Özellikle 1920'li yıllardan sonra Amerika, Almanya, İtalya, İngiltere, Belçika, Hollanda, Rusya ve diğer bazı ülkelerde absorpsiyonlu makinaların tasarımı ve teknolojisi konusunda çalışmalar yapılmıştır. Fakat 1950'li yıllardan sonra elektriğin ucuz gelmesi ve farklı kapasitelerde kompresörlerin yapılmasıyla buhar sıkıştırma mekanik sistemler ön plana çıkmıştır [9].

Güneş enerjisiyle soğutmaya en yakın yöntemlerin başında absorpsiyonlu soğutma gelmektedir. Sistemin ihtiyaç duyduğu enerji miktarı oldukça düşüktür, duruma göre göz ardı edilebilir. Absorpsiyonlu soğutmada akışkan çiftine ihtiyaç duyulur. Bunlardan birisi adsorbent diğeri ise soğutucu akışkandır. Kullanılan adsorbentin yüksek ısı transfer katsayısı absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin boyutlarının adsorbentli soğutma sistemlerine göre daha küçük olmasına izin vermiştir.

Bu alanda yapılan çalışmalarda ulaşılan COP (Coefficient of Performance) değerleri 0,3 ile 1,2 arasında değişmektedir. Absorpsiyonlu soğutma makinasının tasarımında en önemli

faktör kullanılacak olan güneş kolektörlerin performansdır. Akışkan sıcaklığının 150 °C'lere ulaşması durumunda yüksek COP değerlerine sahip çift etkili absorpsiyonlu soğutma makinaları kullanılabilir, akışkan sıcaklığının 90 °C seviyelerinde olması durumunda ise daha düşük COP'ye sahip tek etkili sistemler kullanılabilir.

Çevrim olarak absorpsiyonlu soğutma sisteminin konvansiyonel mekanik buhar sıkıştırma sisteminden en temel farkı sistemin kompresör yerine absorber-jeneratör ikilisinin kullanılmasıdır. Bu şekilde kompresördeki yüksek elektrik girdisine gerek kalmaz.

Çalışma mekanizması olarak Şekil 3'te görülen tek kademeli bir absorpsiyonlu soğutma çevrimini şu şekilde özetleyebiliriz: yüksek basınçtaki soğutucu akışkan buharı kondenserde sıvı faza dönüştürülür ve kısımla vanasında evaporatör basıncına kısılır. Evaporatörde dış ortamdan ısı alarak soğutma işlevini yerine getirmiş olur.

Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde kullanılan çok sayıda akışkan çifti vardır; fakat bunlardan en sık rastlanan iki çift; $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ ve $\text{H}_2\text{O-LiBr}$ akışkan çiftleridir. Amonyak-Su çifti kullanılması durumunda adsorbentin kolay buharlaşması ne-

deniyle ek sistem elemanına ihtiyaç duyulur (zenginleştirme kolonu). Çünkü soğutucu buharı ile absorber buharının birbirine karışması durumunda, absorber olan suyun genişleme valfi ya da evaporatörde donması durumunda sistemde büyük hasarlar oluşabilir.

$\text{LiBr-H}_2\text{O}$ akışkan çiftinin absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde kullanılması 1930'larda başlamıştır. Bu ikilinin en büyük iki özelliği; LiBr 'ün uçucu olmayan bir adsorbent olması bununla birlikte zenginleştirme kolonuna (rektifer) ihtiyaç duyulmaz ve soğutucu olan H_2O 'nun oldukça yüksek buharlaşma ısısına sahip olmasıdır. Fakat buna rağmen 0 °C altındaki soğutma işlemlerinde kullanılmaz. Ayrıca yüksek konsantrasyonlarda LiBr 'nin kristalleşme problemi olabilmektedir ve bazı metallerde korozyona neden olabilmektedir [10].

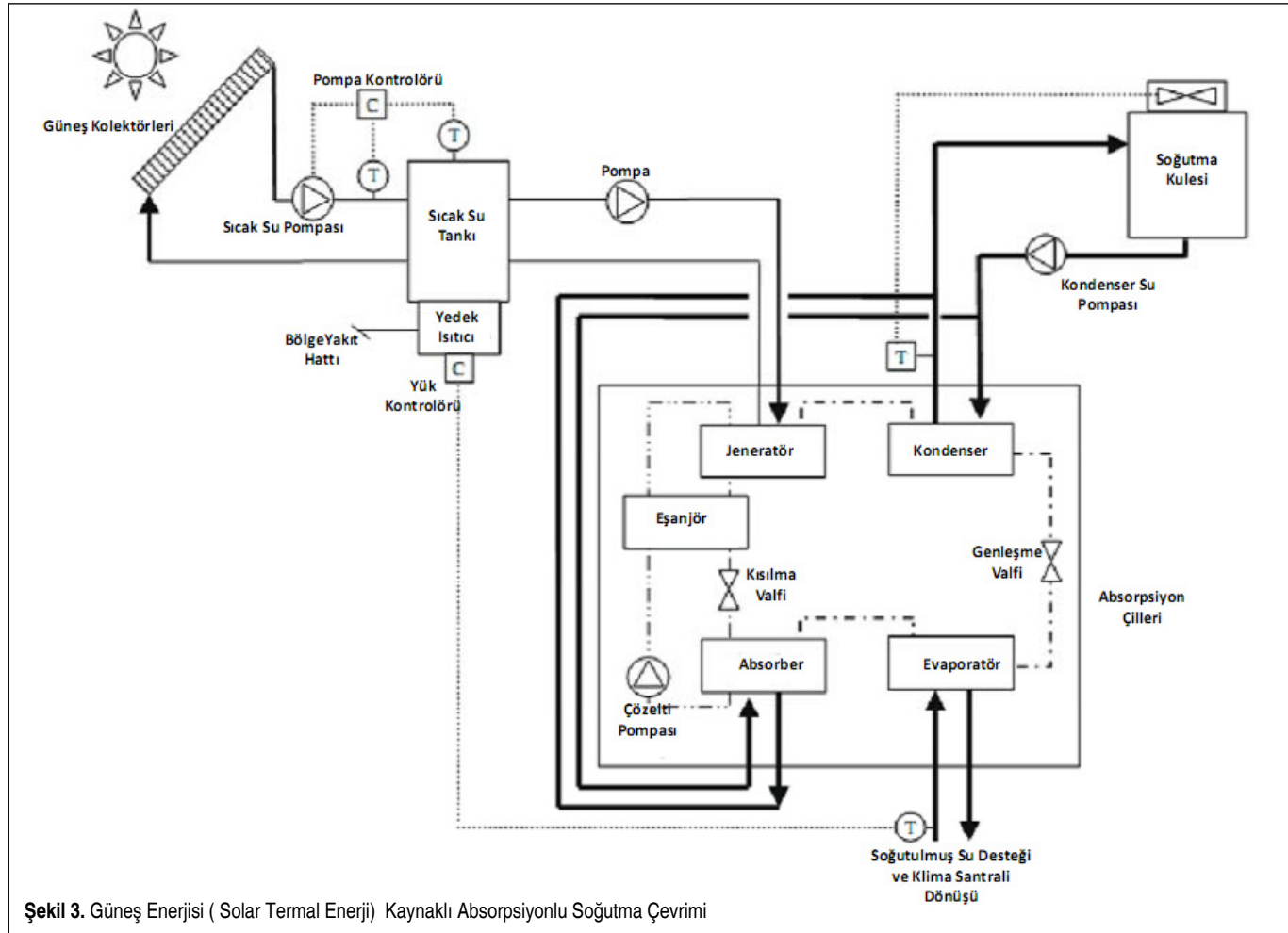
Bu beş temel solar enerji destekli soğutma çevriminin karşılaştırıldığı bir makalede, tek etkili absorpsiyon sisteminin güneş enerjili termal uygulamalar için, termoeconomik yönden en uygun soğutma sistemi olduğu belirtilmiştir [1].

2.4 Güneş Enerjisi (Solar Termal Enerji) Kaynaklı Adsorpsiyon Soğutma Çevrimi

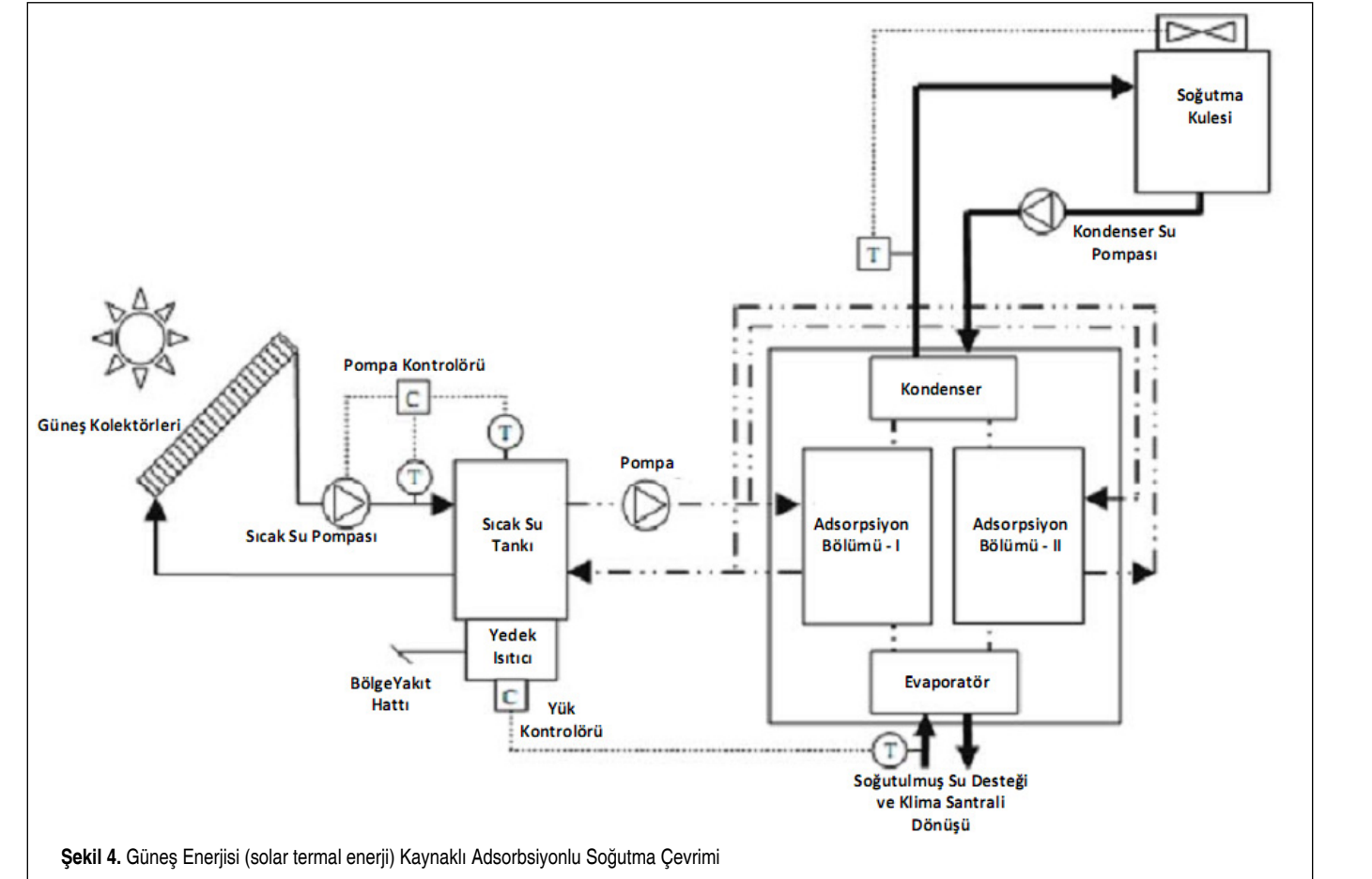
Absorpsiyonlu soğutma sisteminde katı adsorbent ile soğutucu gaz bulunur. Bu iki madde arasında oluşan fiziksel

ve kimyasal reaksiyondan yararlanır. Adsorbent maddenin yüzeyine soğutucu maddenin tutunmasında Van der Waals bağları görev alır. Bu sistemin en büyük avantajlarından birisi hareketli elemanın olmamasıdır, bunun sayesinde oldukça uzun ömre sahip olur. Sistemin sürekliliği ve yüksek COP değerlerine ulaşılabilmesi için Şekil 4'te görüldüğü gibi birden fazla adsorbent yatağı kullanılır. Bunun sebebi ise adsorpsiyon ile desorpsiyon arasındaki geçişlerdir. Tek yataklı bir sistemde süreç kesikli olarak işler. En çok kullanılan adsorbentler aktif karbon, silikajel ve zeolittir ve en yaygın kullanılan adsorbentler ise su, metanol ya da amonyaktır. İki yataklı bir sistem şeması Şekil 4'te verilmiştir.

Absorpsiyonlu soğutma çevriminde birincil enerji girdi ihtiyacı PV destekli konvansiyonel buhar sıkıştırma çevrimine ve termal güneş enerjisi kaynaklı absorpsiyonlu soğutma çevrimine göre oldukça yüksektir. Sistemin daha efektif çalışabilmesi için farklı adsorbent-adsorbat çiftleri üzerine araştırmalar yapılmaktadır [11, 12, 13]. Ayrıca yeni yapılan sistem konfigürasyonlarıyla adsorpsiyon-desorpsiyon işleminin etkisi artırılmaktadır [13, 14, 15]. Bu sebeplerden dolayı adsorpsiyonlu soğutma işlemi hâlâ termal güneş enerjisi için umut vadetmektedir [2].



Şekil 3. Güneş Enerjisi (Solar Termal Enerji) Kaynaklı Adsorpsiyonlu Soğutma Çevrimi



Şekil 4. Güneş Enerjisi (solar termal enerji) Kaynaklı Adsorpsiyonlu Soğutma Çevrimi

2.5 Güneş Enerjisi (Solar Termal Enerji) Kaynaklı Desikant Soğutma Çevrimi

Desikant çevrimde sorbent havanın kurutulmasında görev alır. En sık rastlanan sorbentler; silika jel, aktif alüminyum, zeolit, LiCl ve LiBr'dür.

Termodinamik bakış açısına göre, kurutma işlemi kapalı sorpsiyon çevriminden çok farklı değildir. Havanın akışı sırasında değişen entalpiyi gözardı edersek, sorbentten 1 kg su buharlaştırmak için gerekli ısı enerjisi miktarı aynıdır. Yapılan bir çalışmada katı desikant soğutma sisteminin COP değeri 0,7 olarak hesaplanmıştır [16]. Benzer COP değerleri sıvı desikant soğutma sistemleri için de aynı şekilde hesaplanmıştır [17] (Matsushita vd. 2005). Tabii gerçekte COP çalışma koşullarıyla değişir.

Desikant soğutma sistemleri tam anlamıyla HVAC sistemleridir. Yani havalandırma, nem ve sıcaklık kontrolü yapılabilir. Nem kontrolü konusunda diğer sistemlerden çok daha etkili çözümler sunarlar. Özellikle yüksek havalandırma ya da nem alma ihtiyacı bulunduğu solar termal enerji destekli desikant sistemler, tam bir çözüm niteliği taşımaktadır. Şekil 5'te desikant bir iklimlendirme sistemi gösterilmektedir.

2.6 Son Yıllarda Yapılan Güneş (Solar) Enerjisi Kaynaklı Soğutma Sistemi Çalışmaları

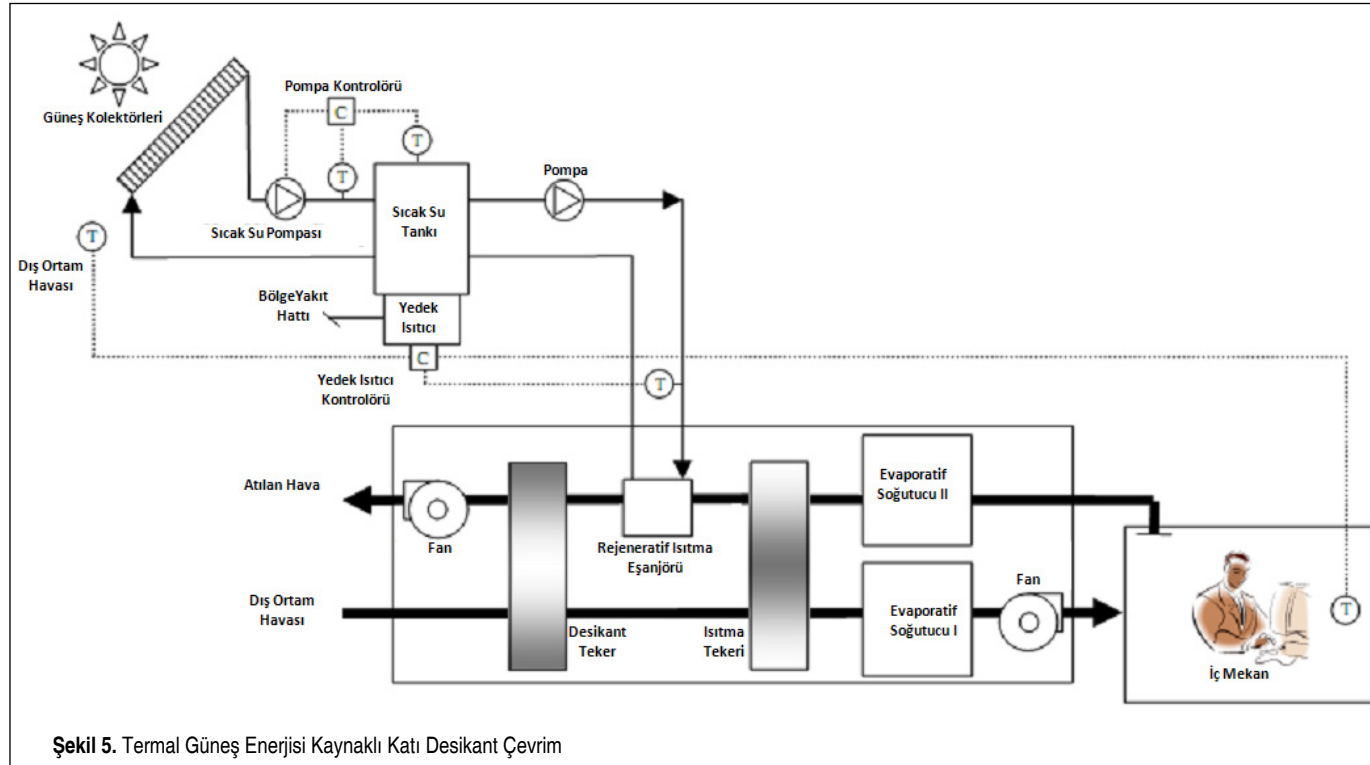
Çin'in Şangay kentinde 2008 yılında yayınlanan bir çalışmada, Çin'de gerçekleştirilen güneş enerjisi kaynaklı adsorpsiyon

ve adsorpsiyon sistemleri incelenmiştir. Çin'de gerçekleştirilmiş en bilinen beş adet çalışmanın (Jiangmen, Rushan, Tianpu, Beiyuan ve Şangay'da gerçekleştirilen çalışmaların) performans değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Son 20 yılda adsorpsiyonlu ve adsorpsiyonlu soğutma sistemleri araştırma odağı olmuştur.

Şangay'da gerçekleştirilen çalışmada kurulan sistemin geri ödeme süresinin, sistemin kullanım şekliyle önemli oranda değiştiği görülmüştür. Sistemin yalnızca soğutma için kullanılması durumunda geri ödeme süresi 7-8 yılı bulurken, sistemin ayrıca sıcak kullanım suyu olarak değerlendirilmesi durumunda geri ödeme süresi 2-3 yıl olmaktadır.

Hâlihazırda yapılmakta olan iki ana çalışmada LiBr adsorpsiyonlu soğutma çillerleri ve silika-jel adsorpsiyonlu soğutma çillerleri üzerine ilerlemektedir. Elde edilen sonuçlara dayanarak güneş enerjisi kaynaklı adsorpsiyon soğutmasının büyük uygulamalar için uygun olduğu, küçük soğutma projelerinde ise güneş enerjisi kaynaklı adsorpsiyon soğutma makinalarının daha pratik ve uygulanabilir olduğu belirtilmiştir. Silikajel-su adsorpsiyonlu soğutma sisteminde piyasada rahatlıkla bulunabilen düz levhali veya vakum borulu kolektörler kullanılabilir, çünkü bu iki materyal çifti için gerekli sıcaklık 100 °C'nin altındadır [13].

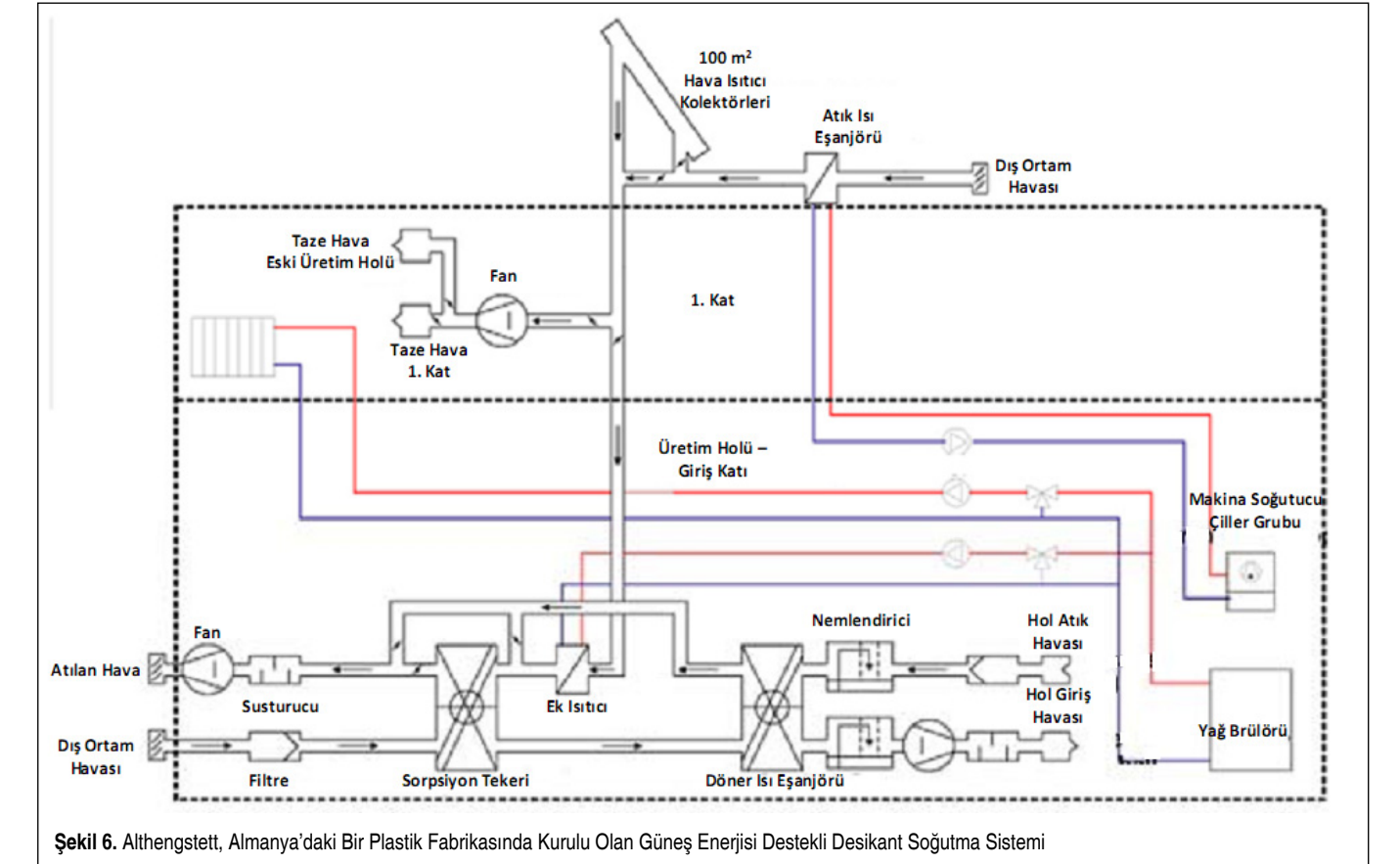
2010 yılında yapılan bir çalışmada hava ısıtıcı kolektörlerle desteklenen desikant soğutma sistemleri incelenmiştir. Üç farklı iklimdeki desikant sistemler incelenmiştir. Bunlar; tek kademeli desikant sistem Althengstett/ Almanya'da bir fabri-



Şekil 5. Termal Güneş Enerjisi Kaynaklı Katı Desikant Çevrim

Tablo 1. Çin'de Gerçekleştirilen Beş Önemli Çalışmanın Performans Değerleri

	Jiangmen	Rushan	Tianpu	Beiyuan	Shangai
Güneş Kolektörü Tipi	Düzlemsel	Vakumlu Tüp			
Kolektör Verimi	0,45	0,40w	0,40	0,42	0,40
Çiller Tipi	Absorpsiyon	Absorpsiyon	Absorpsiyon	Absorpsiyon	Absorpsiyon
Çalışma Sıcaklığı (°C)	75	88	75-90	83-88	60-95
COP – Çiller	0,45	0,57	0,8	0,75	0,35
COP –Güneş En.	0,25	0,20	0,2-0,3	0,25	0,15



Şekil 6. Althengstett, Almanya'daki Bir Plastik Fabrikasında Kurulu Olan Güneş Enerjisi Destekli Desikant Soğutma Sistemi

kada, tek kademeli desikant sistem Mataro/İspanya'da bir kütüphanede ve Çin'de bir laboratuvarında kurulu bulunmaktadır.

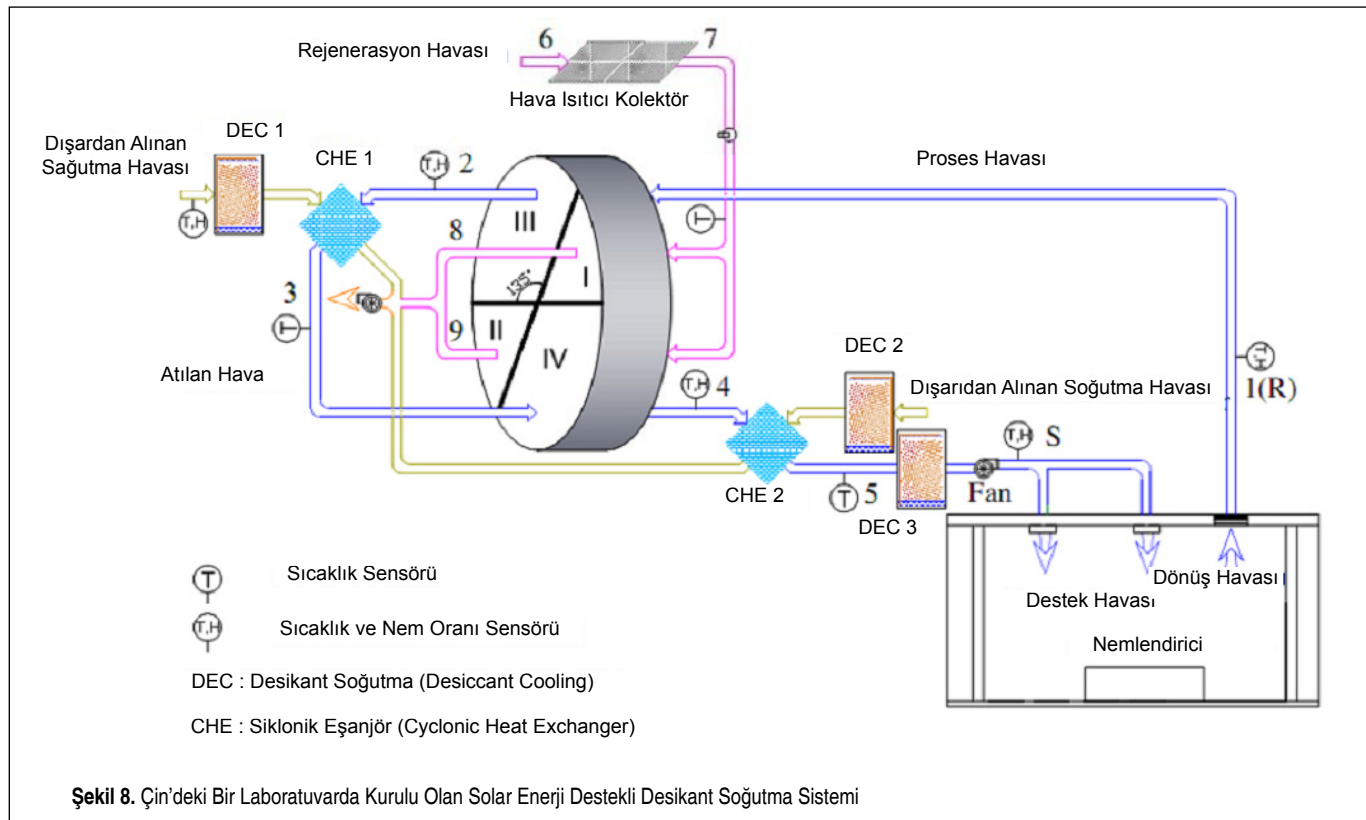
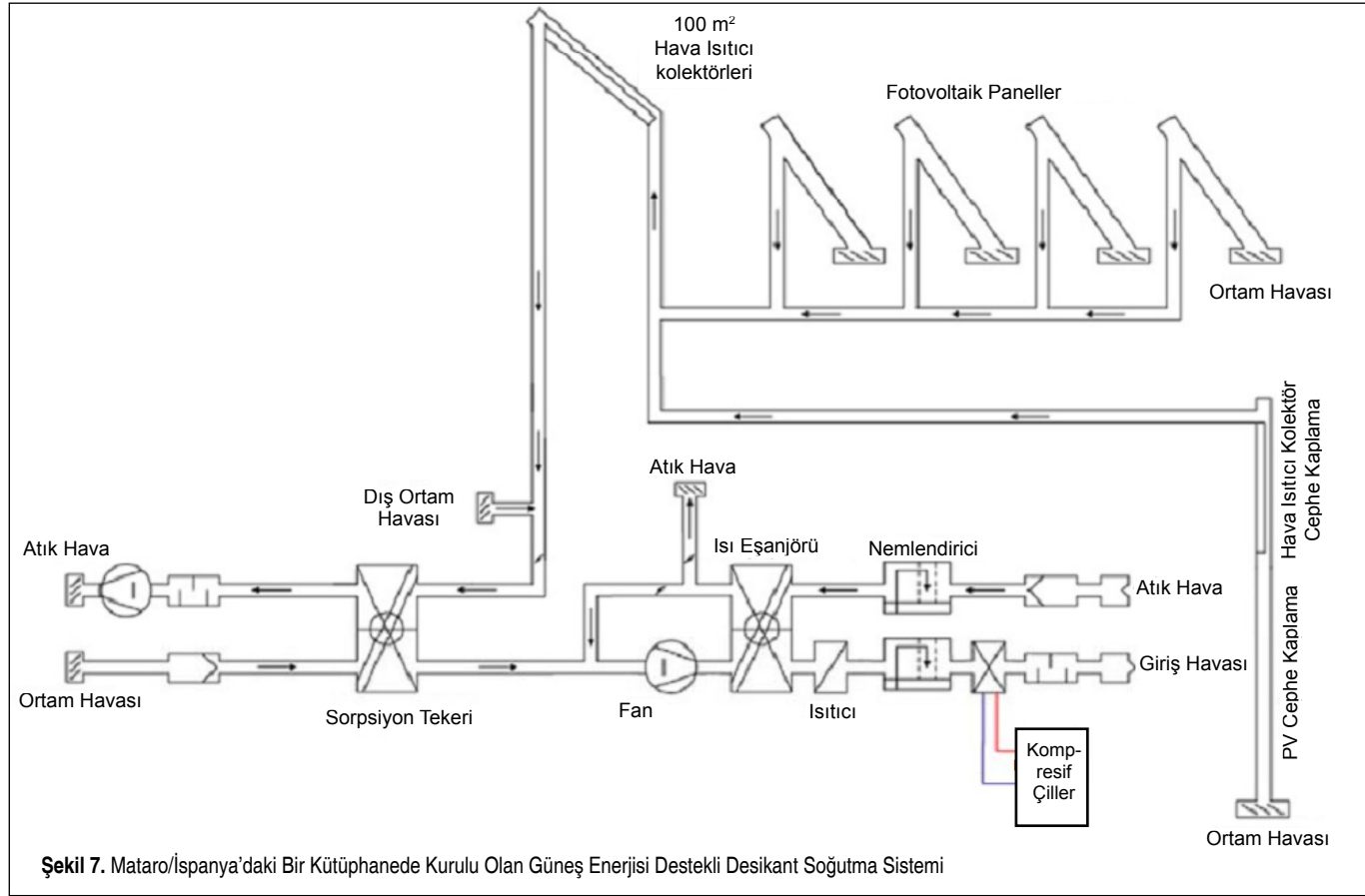
Şekil 6'da Althengstett'de kurulu olan sistemin şeması görülmektedir. 100 m² lik hava ısıtıcı kolektör alanı ile 800 m² alanın soğutulması gerçekleştirilmektedir. Sistemde ulaşılan minimum soğutma havası sıcaklığı 17 °C'dir. Sistemde fabrikadaki atık ısıdan yararlanılmış ve hava akışı 45kW'lık bir ön ısıtmaya tabi tutulmuştur. Sorpsiyon tekerinde LiCl kullanılmıştır.

Şekil 7'de Mataro/İspanya'da kurulu olan ve bir halk kütüphanesinin soğutulmasında kullanılan desikant sistem görülmek-

tedir. Sistemle 3500 m² alan soğutulmaktadır. Ayrıca sistem 55kWp gücünde PV paneller de içermektedir, bu panellerin serinletilmesi için havalandırılması yapılmıştır. Bir yandan elde edilen ısı da sisteme kazandırılmaktadır. Kullanılan hava ısıtıcı kolektör alanı 155 m²'dir.

Sistemde kullanılan kontrol sistemi sayesinde soğutmanın yalnızca %9'luk bir kısmı maksimum debide (12 000 m³/h) gerçekleşmiştir, %24'ü 6000 ile 12 000 m³/h debide %27'si de 6000 m³/h debide gerçekleşmiştir. Bu sayede büyük ölçüde elektrikten tasarruf sağlanmıştır.

Şekil 8'de Şangay/Çin'de kurulu olan iki kademeli desikant



Tablo 2. Üç Farklı Bölgede Uygulanan Desikant Soğutma Sistemlerinin Bileşenlerinin Performans Değerleri

	Mataro	Althengstett	Shangai
Nem alma verimi	80	80	88
Nemlendirme verimi	86	85	82
Isı kazanım verimi	68	62	70/67

sistem görülmektedir. Diğer iki sisteme göre küçük bir sistemdir. 72 m³ lük hacime sahip bir laboratuvarı soğutmak için kullanılmaktadır. Sistemin maksimum soğutma yükü 4,5kW dolaylarındadır. Rejenerasyon için üç adet vakum tüplü hava ısıtıcı kolektör kullanılmıştır.

Kurulu olan üç farklı sistem için bileşen performans değerleri Tablo 2' de gösterilmiştir. Düşük ısı geri kazanım verimlerinden dolayı COP değerlerinde de düşme olmuştur. Mataro'daki ölçümlerde 75°C rejenerasyon sıcaklığı için COP değeri ortalaması 0,6 olarak saptanmıştır. Şangay'daki sistemde ortalama COP değeri 0,95 olarak bulunmuştur. Althengstett'de ise tam desikant soğutma işlemi sırasında ortalama COP değeri 0,5'dir [17].

Yayınlanan bir çalışmada Mardin'de konuşlanmış beş villa için güneş enerjisi destekli absorpsiyonlu soğutma sistemi tasarlanmış ve MATLAB'de yazılan bir program aracılığıyla ekserji analizi yapılmıştır. Sistemin soğutma kapasitesi 106kW olarak belirlenmiştir. Sistem Şekil 9'da gösterilmiştir.

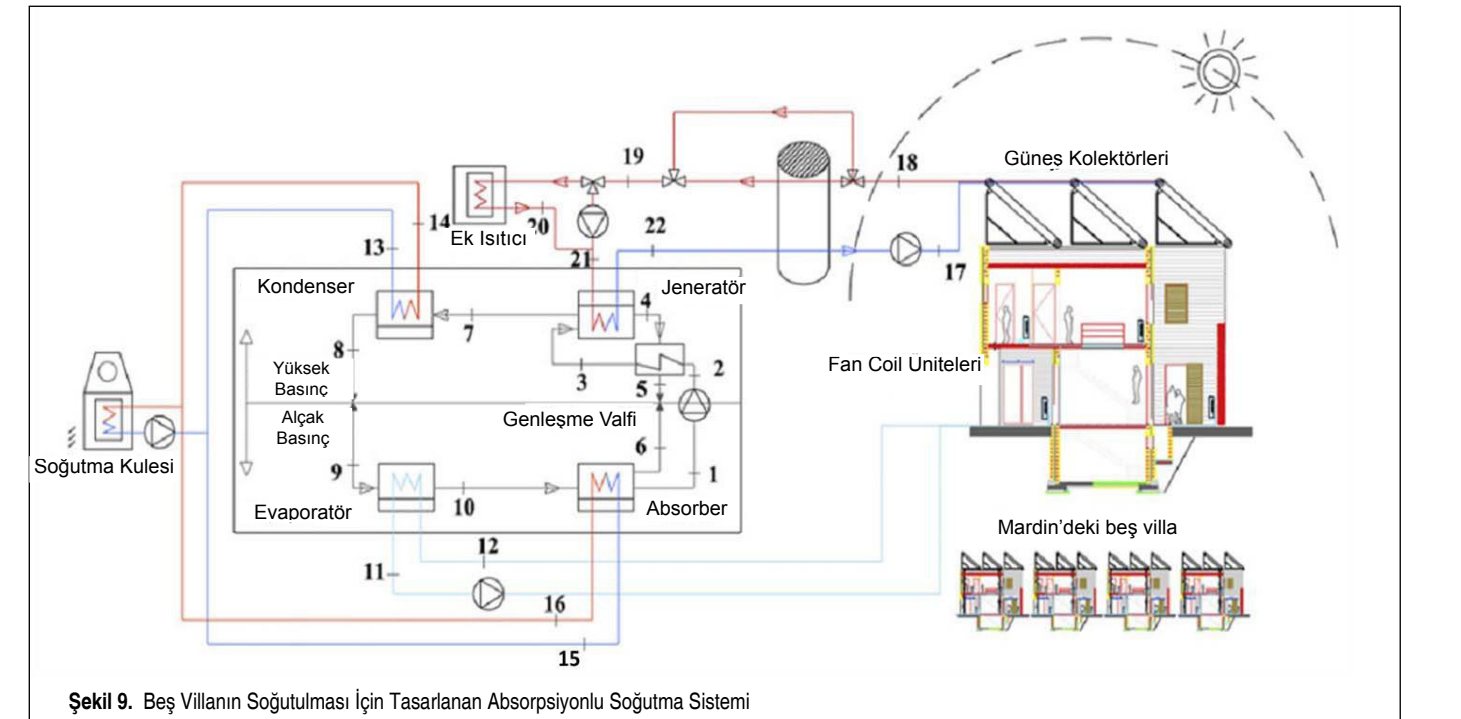
Sıvı akışkanlı kolektörlerle beslenen sistemin ekserji analizi, en çok ekserji kaybının güneş kolektörlerinde ve jeneratör-

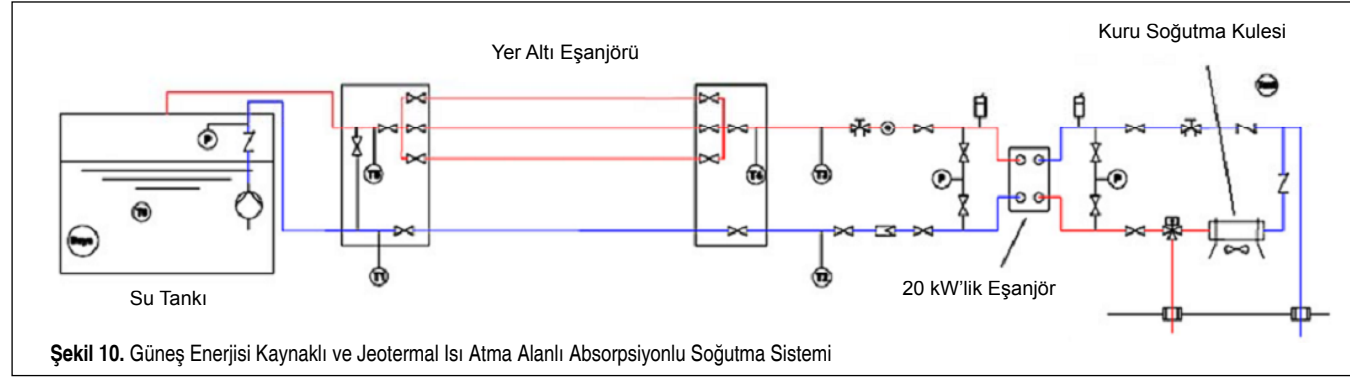
de olduğunu göstermiştir. Güneş kolektöründe ekserji kaybı sıcaklığa ve ışınımına bağlı olarak %10 ile %70 arasında değişirken, jeneratörde ise %5 ile %8'lik ekserji kayıpları dikkati çekmektedir [18].

Monne ve arkadaşlarının 2007 ve 2008 yıllarında güneş enerjisi kaynaklı absorpsiyonlu soğutma sistemi üzerinde yaptıkları deneylerde ve aynı sistemin TRNSYS ile yapılan dinamik simülasyonlarında çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. Sistem 37,5 m² düz levhalı güneş kolektörlerinden, kuru soğutma kulesinden ve 4,5 kW'lık tek etkili LiBr-H₂O absorpsiyon çillerinden oluşmaktadır. Yaptıkları deneylerde COP değerleri 2007'de 0,6, 2008'de ise 0,46-0,56 olarak belirtilmiştir [19,20].

Hâlihazırda bulunan sistemin COP değerini arttırmak için bir çözüm buldular. Isı atma alanının sıcaklığının sistemin performansında büyük bir etkiye sahip olduğu düşünülerek, bir su yatağına bir eşanjör yerleştirip sabit sıcaklıkta (17°C) bir ısı atma alanı sistemde tanımlanmış oldu (Şekil 10.). Bunun sayesinde COP değeri 0,72 değerine ulaşmış, COP'de %42'lik bir kazanç sağlanmıştır.

Yayınlanan bir başka makalede güneş enerjisi kaynaklı iki kademeli NH₃-H₂O akışkan çiftli absorpsiyonlu soğutma sistemi numerik olarak incelenmiştir. Sistem kolektörlerden gelen 85°C sıcak su ile beslenmiştir. Sıcaklığın düşük olması, yüksek basınçta yoğunlaşma ve buharlaşma sıcaklığı gibi sebeplerden dolayı rektifere (zenginleştirme kolonuna) ihtiyaç duyulmamıştır. Sistemin COP değeri 0,34 olarak hesaplanmıştır [14].

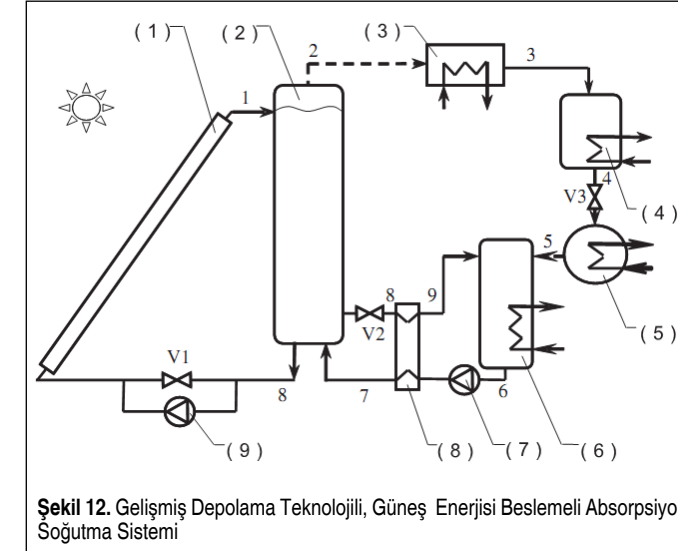
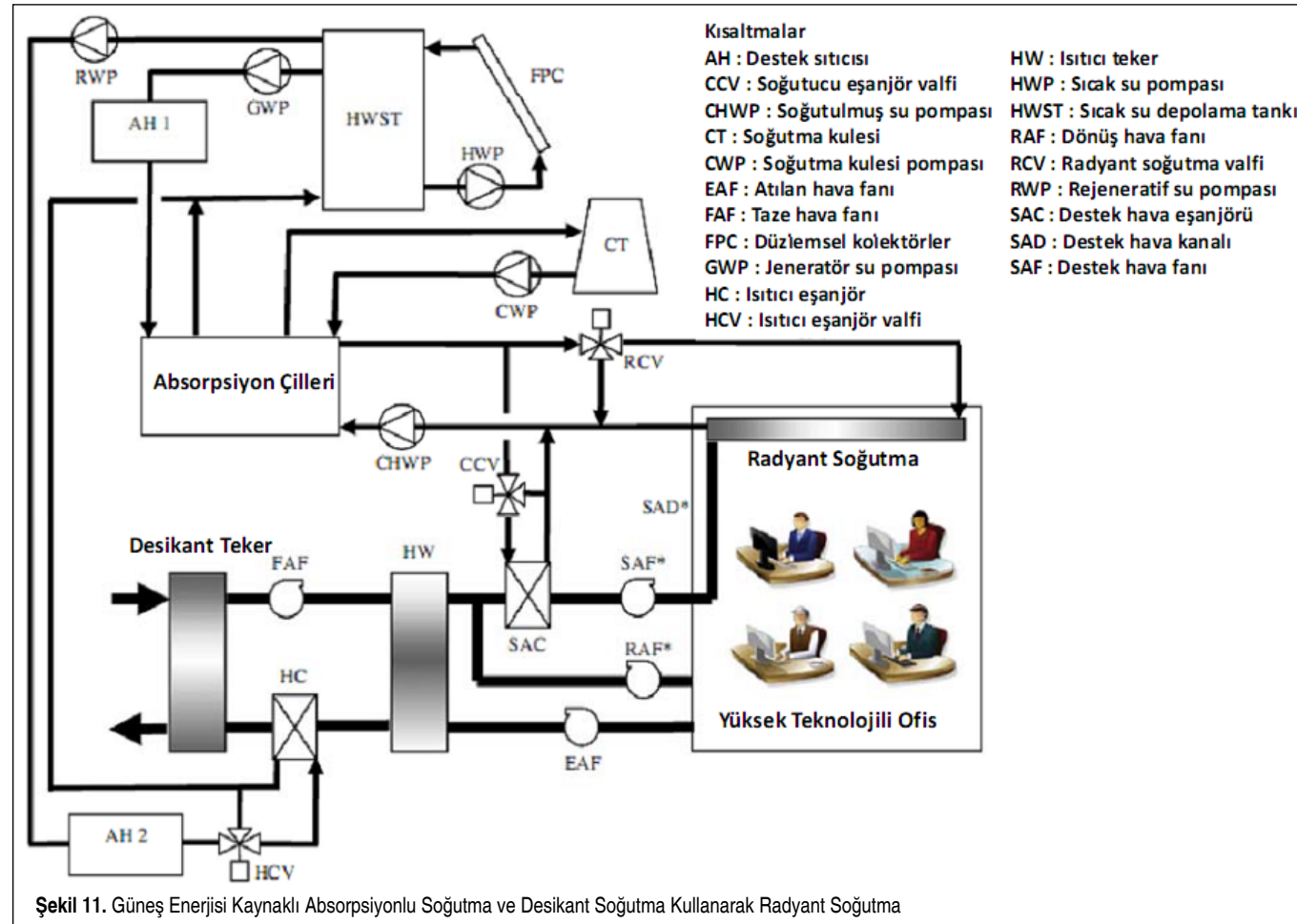




Chidambaram ve arkadaşları 2011'de yayınladıkları makalede güneş enerjili termal ısıtma ve soğutma teknolojilerinde enerji depolamanın gerekliliğinden bahsetmişler ve enerji depolama yöntemlerini üç başlıkta toplamışlardır: (1) hissedilir ısı depolama, (2) faz değiştirici madde kullanarak ısı depolama ve (3) kimyasal reaksiyonla ısı depolama. Hissedilir ısı depolama yöntemlerine örnek olarak kaya yatağı, su veya yağ verilmiştir. Düşük ısı kapasitelerinden dolayı fazla hacim kaplamaktadırlar. Faz değiştirici maddeler ise oldukça yüksek ısı kapasitesine sahiptirler ve ısı aktarımı sabit sıcaklıkta

gerçekleşir. Bu çalışmada özellikle ısı depolama yöntemleri üzerine yapılmış çalışmalardan bahsedilmiş ve özellikle güneş enerjisiyle soğutma absorpsiyonlu soğutma üzerinde durulmuştur [21].

Hong Kong/Çin'de yapılan bir çalışmada absorpsiyonlu soğutma ve desikant soğutmanın bir arada incelendiği bir güneş enerjili hibrit soğutma sistemi göz önüne alınmış ve dinamik simülasyonu yapılmıştır. Simülasyonda soğutma fan coil'lerle değil radyant soğutmayla yapılmıştır. Radyant soğutma ab-



sorpsiyonlu çiller ile sağlanırken, havalandırma ise desikant nem almayla sağlanmıştır. Hibrit sistemde güneş enerjili absorpsiyon çillerini beslerken, bir yandan da desikant tekerin rejenerasyonunda görev alır. Sistem Şekil 11'de gösterilmiştir.

Çalışma sonucunda tasarlanan sistemin yıllık dinamik simülasyonundan yararlanarak teknik açıdan feasible olduğu görülmüştür. Bu soğutma sisteminin konvansiyonel merkezi klima sistemleri yerine kullanıldığında birincil enerji kullanımında %36,5'e kadar tasarruf sağlanabilir. Ticari binaların toplam elektrik sarfiyatının %40-60'ının ortam iklimlendirme giderlerine sarfedildiği düşünülürse bu sistemin ne kadar büyük kazanç sağlayacağı daha net görülebilir [22].

Bir başka yenilikçi çalışmada ise gelişmiş enerji depolama teknolojisine sahip bir güneş enerjili beslemeli absorpsiyonlu soğutma sistemi tasarımı tanıtılmıştır. Çevrimde akışkan çifti olarak LiBr-H₂O kullanılmıştır. Değişken kütle enerjisi transformasyonu ve depolanması teknolojisine sahip bu sistemin COP değerleri 0,7527 ile 0,7555 arasında değişmektedir. Sistem Şekil 12'de gösterilmiştir.

Sistemin çalışma prensibi şu şekilde özetlenebilir: Güneş kolektörüne pompalanan akışkanın sıcaklığı artar ve doyma noktasına gelir. Bir kısmı buharlaşarak sıvı-buhar karışımı iki fazlı izoleli soğutma tankına girer ve burada sıvı ve gaz ayrılır. Sıvı kısım depolanan sıvı kısım ile karışır. Bu şekilde depolama tankındaki sıcaklık ve LiBr konsantrasyonu artar. Öte yandan ayrışan gaz fazındaki sıvı depoyu terk eder ve kondensere girer ve burada ısı soğutma suyu ya da havası tarafından alınır. Burada yoğuşan su, su tankına gider ve depolanır. Kolektörlerdeki akışkan ile çözelti depolama tankındaki akışkan arasındaki ortalama yoğunluk farkı yeterli seviyeye geldiğinde V1 valfi açılır ve sistem termosifon etkisi gösterir. Enerji depolanması sırasında çözelti tankında çözelti kütlesi giderek azalırken su çözelti tarafından desorblanır. Sonuç ola-

rak depo tankında LiBr giderek artar ve su buharı tutma kapasitesi artar. Böylelikle güneş kolektörlerinden alınan enerji, çözelti tankında depolanmış olur [23] (Xu vd., 2011).

3. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Küresel ısınmanın giderek ciddiyet kazandığı, fosil yakıtların giderek pahalandığı ve azaldığı bir yandan da bu fosil yakıtların yanması sonucu atmosfere yayılan sera gazlarının artmasıyla birlikte yenilenebilir ve temiz enerjiye olan ihtiyacımız son derece açık ve nettir.

Özellikle yazın oluşan ve çok yüksek seviyelere çıkan soğutma ihtiyaçlarının karşılanması için en azından yenilenebilir enerjilerin "destek" olarak kullanılması şarttır. Soğutma ihtiyaçlarının artarken de güneş ışınımının da bir diğer yandan artmasıyla güneş kolektörlerinde yüksek sıcaklıkların elde edilmesi özellikle termal güneş enerjisiyle çalışan soğutma sistemlerinin önemini belirtmektedir.

Bu çalışmada güneş enerjisiyle çalışan soğutma sistemleri incelenmiş ve tanıtılmıştır. Yapılan eski ve en yeni araştırmalara atıfta bulunarak bu soğutma sistemlerinin birbirleriyle karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Özellikle absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin güneş kolektörlerinden elde edilecek düşük sıcaklıklarda bile başarılı sonuçlar vermesi, diğer sistemlere göre daha az yer kaplaması giderek pazarda kendine yer edineceği yönündeki düşünceleri kuvvetlendirmektedir. Bir yandan da çoğu bilim insanının dikkatini toplamış ve üzerine çalışmalar yapmasına neden olmaktadır. Yakın zamanda bu soğutma sistemlerinin fiyatlarının giderek düşüp daha çok görmeye alışacağımız şüphe götürmez bir gerçektir.

Güneş enerjisi kaynaklı soğutma sistemlerinin COP değerleri, konvansiyonel buhar sıkıştırımlı çevrime ve bazı diğer elektrikli çevrimlere göre oldukça düşük olsa da özellikle absorpsiyonlu soğutmanın göz ardı edilecek seviyelerdeki birincil enerji girdi ihtiyacı ona büyük avantaj vermektedir.

Özellikle son yıllarda küçük güçlü güneş enerjili absorpsiyonlu ve adsorpsiyonlu soğutma sistemleri ticarileşmiştir. Bu uygulamaların küçük evlerin tüm gereksinimlerini sağlayacak biçimde ve de özellikle ısıtma ile birlikte projelendirilmesi uygulamaları artabilecektir. Son olarak ülkemizin önde gelen güneş kolektörü üreticilerinden birisinin 8kW'lık ve 15kW'lık adsorpsiyonlu soğutma üniteleri son bir yıldır tanıtılmaktadır; fakat uygulamada henüz yer ettiği söylenemez.

KAYNAKÇA

1. Kim, D.S. InfanteFerreira, C.A. 2007. "Solar Refrigeration Options - a State-of-the-Art Review," Inter. Journal of Refrigeration 31 (2008), p. 3-15.
2. Fong, K.F., Chow, T.T., Lee, C.K., Lin, Z., Chan, L.S. 2010. "Comparativestudy of Different Solar Cooling Systems"

- For Buildings in Subtropicalcity,” *Solar Energy*, 84 (2010), 227-244.
3. **Lamp, P., Ziegler, F.** 1998. “European Research on Solar-Assisted Air Conditioning,” *International Journal of Refrigeration* 21, p. 89-99.
 4. **Fanney, A.H., Dougherty, B.P., Davis, M.W.** 2001. “Measured Performance of Building Integrated Photo Voltaic Panels,” *Journal of Solar Energy Engineering* 123, p. 187-193.
 5. **Prigmore, D., Barber, R.** 1975. “Cooling With The sun’s sheet design Considerations and Test Data for a Rankine Cycle Prototype,” *Solar Energy* 17, p. 185-192.
 6. **Larson, D.** 1983. “Final Report of the Coolidge Solar Irrigation project,” Sandia National Laboratory report, SAND83-7125, Albuquerque, New Mexico, USA.
 7. **Stein, W.B., Geyer, M.** 2001. Power from the Sun. <<http://www.powerfromthesun.net/chapter12/chapter12new.htm>>, Chapter 12, p. 25-27.
 8. **Dinçer, İ., Erdallı, Y.** 1993. “Absorpsiyonlu Soğutma Sistemlerinin Rolü ve Etkinliği,” *Termodinamik*, 5 (1993), p. 31-37.
 9. **Akdemir, Ö., Güngör, A.** 2001. “Absorpsiyonlu Soğutma Sistemleri; Verimlerini Artırmak İçin Geliştirilen Çevrimler,” V. Ulusal Tesisat Müh. Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, İzmir, s. 99-112.
 10. **Srikhirin, P., Aphornratana, S., Chungpaibulpatana, S.** 2001. “A Review of Absorption Refrigeration Technologies,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 5 (2001), p. 343-372.
 11. **Fan, Y., Luo, L., Souyri, B.** 2006. Review of Solar Sorption Refrigeration Technologies: Development And applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11 (2007), p. 1758-1775.
 12. **Khattab, N.M.** 2004. “A Novel Solar Powered Adsorption Refrigeration Module.” *Applied Thermodynamics Engineering* 24 (2004), p. 2747-2760.
 13. **Zhai, X.Q., Wang, R.Z.** 2008. “A Review for Absorption and Adsorption Solar Cooling Systems in China,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (2009), 1523-1531.
 14. **Lin, P., Wang, R.Z., Xia, Z.Z.** 2010. “Numerical Investigation of two-Stage air-Cooled Absorption Refrigeration System for Solar Cooling,” *Cycle Analysis and Absorption Cooling Performances. Renewable Energy* 36 (2011), p. 1401-1412.
 15. **Voyiatzis, E., Stefanakis, N., Palyvos, J., Papadopoulos, A.** 2007. “Computational Study of a Novel Continuous Solar Adsorption Chiller,” *Performance Prediction and Adsorbent Selection, Intern. Journal of Energy Research* 31, p. 931-946.
 16. **Henning, H.M.** 2004. “Solar-Assisted air-Conditioning in Buildings,” *A Handbook of Planners*, Springer-Verlag Wien, New York.
 17. **Eicker, U., Schneider, D., Schumacher, J., Ge, T., Dai, Y.** 2010. “Operational Experiences with Solar Collector Driven Desiccant Cooling Systems,” *Applied Energy*, 87 (2010), p. 3735-3747.
 18. **Onan, C., Özkan, D.B., Erdem, S.** 2010. “Exergy Analysis of a Solar Assisted Absorption Cooling System on an Hourly basis in Villa Applications,” *Energy*, 35 (2010), p. 5277-5285.
 19. **Monné, C., Alonso, S., Palacin, F., Serra, F.** 2010. “Monitoring and Simulation of an Existing Solar Powered Absorption Cooling System in Zaragoza (Spain),” *Applied Thermal Engineering*, 31 (2011), p. 28-35.
 20. **Monné, C., Alonso, S., Palacin, F., Guallar, J.** 2010. “Stationary analysis of a Solar LiBr-H₂O Absorption Refrigeration System,” *Int. Journal of Refrigeration* 34 (2011), p. 518-526.
 21. **Chidambaram, L.A., Ramana A.S., Kamaraj G., Velraj R.** “Review of Solar Cooling Method and Thermal Storage-options Review Article,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, issue 6, August 2011, p. 3220-3228
 22. **Fong, K.F., Chow, T.T., Lee, C.K., Lin, Z., Chan, L.S.** 2011. “Solar Hybrid Cooling System for High-Tech offices in Subtropical Climate – Radiant Cooling By Absorption Refrigeration and Desiccant Dehumidification,” *Energy Conversion and Management* 52 (2011), p. 2883-2894.
 23. **Xu, S.M., Huang, X.D., Du, R.** 2011. “An Investigation of the Solar Powered Absorption Refrigeration System with Advanced Energy Storage Technology,” *Solar Energy*, (2011), doi:10.1016/j.solener.2011.04.022.