

# GÜNEŞ ENERJİLİ ADSORPSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMLERİNDEKİ GELİŞMELER, ANALİZ YÖNTEMLERİ VE HESAPLAMA TEKNİKLERİ

Türkan Üçok ERKEK, Ahmed Mohammed Shakir SHAKIR, Ali GÜNGÖR

Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü

## ÖZET

Günümüzde günlük yaşantımızın vazgeçilmez bir unsuru olan soğutmada yeni ve çevreye dost teknik ve teknolojilerin kullanımına yönelik araştırmalar yapılmaktadır. Bu konuda güneş enerjili adsorpsiyonlu soğutma sistemleri, sağladığı çok düşük enerji tüketimi, düşük karbon emisyonu, ozon incelmesine sebep olmaması ve zararsız kimyasal kullanımı gibi yararlarıyla öne çıkmaktadır. Güneş enerjili adsorpsiyonlu soğutma sistemleri kullanılan adsorban çiftleri, adsorban yatakları, güneş kolektörü tipleri ve analiz yöntemleri konularında birçok araştırmada yer almaktadır. Bu çalışmada, güneş enerjili adsorpsiyonlu soğutma sistemlerindeki son gelişmeler kullanılan adsorban çiftleri, analiz yöntemleri, hesaplama teknikleri ve ulaşılan verimliliklere yer verilerek incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş enerjili, Adsorpsiyon, Soğutma.

## ABSTRACT

Recently, researches are carried out on the use of new and environmentally friendly techniques and technologies in cooling which is an urgent element of our daily lives. In this context, solar energy adsorption cooling systems stand out with their advantages such as very low energy consumption, low carbon emission, no ozone depletion and harmless chemical material usage. Adsorbent pairs, adsorbent beds, types of solar collectors and analysis methods that are used in solar adsorption cooling systems are involved in many research topics. In this study, recent developments in solar adsorption cooling systems are investigated by using adsorbent pairs, analysis methods, calculation techniques and attained efficiencies.

**Key Words:** Solar, Adsorption, Cooling.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde, soğutma uygulamalarında ortaya çıkan gereksinimlerden biri elektrik enerjisi kullanımını en aza indirmek, diğeri de soğutucu sistemlerde kullanılan soğutkanların çevreye zararlı etkilerini ortadan kaldırabilmektir. Bu konuyla ilgili iyileştirici yaklaşımlardan biri güneş enerjili soğutuculardır. Türkiye, bulunduğu konum nedeni ile güneş ışınımı açısından yüksek ışınım potansiyeline sahiptir ve uzun güneşlenme süresi ile oldukça avantajlı bir konumdadır. Bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynaklarından güneşin soğutma uygulamalarında kullanımını ile tüketilen elektrik enerjisi miktarı azaltılabilir ve su, amonyak gibi çevreyle uyumlu doğal soğutkanlar soğutma sisteminde kullanılabilir.

Adsorpsiyonlu soğutma sistemleri, güneş enerjisi, endüstriyel veya otomobil atık ısısı ve jeotermal ısı gibi düşük sıcaklıklı işletim kaynaklarıyla çalışabilmesi nedeniyle güneş enerjili soğutma için çok uygun bir sistemdir. Ayrıca, bu sistemler çevreye zararsız doğal soğutkanlar veya sıfır ozon zararının yanı sıra sıfır küresel ısınma potansiyeline sahip olan alternatif diğere soğutkanları kullanmaktadır[1].

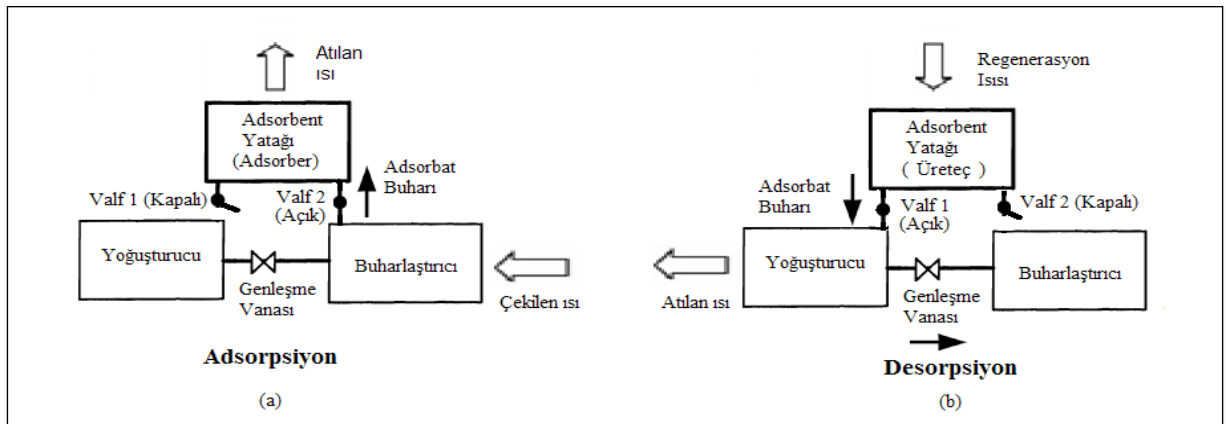
Bu alanda şimdiye kadar yapılan birçok çalışma mevcuttur. Önceki çalışmalar detaylı bir şekilde incelendiğinde, bu sistemlerin temelde açık ve kapalı olmak üzere ikiye ayrıldığı görülmektedir. Açık sistemler sadece iklimlendirme ve nem alma uygulamalarında yer alan gaz-katı nem alma malzemeli sistemlerdir. Kapalı sistemler ise dondurma, soğutma ve iklimlendirme uygulamalarında yer almaktadır. Kapalı sistemler termodinamik çevrim çalışmasına dayalı olarak temel tek yataklı, adsorpsiyon soğutma borulu ve gelişmiş çok yataklı sistemler olarak alt kategorilere ayrılmaktadır. Çok yataklı sistemler, tek yataklı sistemlerin performansını artırmak ve sürekli işletim sağlamak geliştirilen biçimdir. Bu iyileştirmeler kütle kazanımı, ısı kazanımı, birleşik kütle ve ısı kazanımı, ısıl dalga ve taşınımı ısıl dalga, ardışıklandırma ve çok aşamalandırma gibi düzenlerdir [2]. Adsorban-adsorbat çiftleri, adsorpsiyon yatak tasarımı ve tipleri, ısı-kütle transfer mekanizmaları, adsorpsiyon karakteristiği çalışmalarda öne çıkan unsurlar arasındadır.

Bu çalışmanın amacı, güneş enerjili adsorpsiyonlu soğutma sistemlerinde gerçekleşen son gelişmeleri kullanılan adsorban-adsorbat çiftleri, analiz yöntemleri, hesaplama teknikleri ve ulaşılan verimliliklerle birlikte yer vererek daha sonraki çalışmaların önünü açmak ve önemli etkenlere ışık tutarak yeni çalışmalara motivasyon kaynağı oluşturmaktır.

## 2. TEMEL ADSORPSİYONLU SOĞUTMA ÇEVİRİMİ

Son 20 yılda ABD, Fransa, Japonya, İngiltere, İtalya, Hindistan ve diğer ülkelerden katı adsorpsiyonlu soğutma ve ısı pompası ile ilgili araştırmalar yapılmıştır ve içerikler esas olarak adsorpsiyon çalışma çiftleri, ısı ve kütle transfer performansı ve adsorpsiyon soğutma çevrimleri vb. Adsorpsiyon soğutma teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, bazı silika jel-su adsorpsiyonlu soğutucular piyasada başarıyla ticarileştirilmiştir. Adsorpsiyon soğutma teknolojisinin gelişimi, aşağıdaki şekilde daha ayrıntılı olarak özetlenebilir: adsorpsiyon çalışma çiftleri ve mekanizmaları; adsorpsiyon soğutmasının sistem yapısı; adsorpsiyon yatağının ısı ve kütle transferinin yanı sıra, gelişmiş rejeneratif döngülerin ısıl özelliklerinin geliştirilmesi.

Adsorpsiyon soğutma çevrimi, adsorpsiyon safhası ve desorpsiyon safhası olmak üzere iki safhadan oluşur. Adsorpsiyon safhasında, soğutkan buharlaştırıcıda buharlaşır ve adsorban yatağı tarafından adsorbe edilir. Bu arada, buharlaştırıcıda soğutma elde edilir. Desorpsiyon safhasında, adsorban yatağı ısıtılarak adsorbatın adsorban yatağından desorbe edilmesi ve yoğuşturucuda yoğuşarak buharlaştırıcıya geçer (Şekil 1).



Şekil 1. Temel Adsorpsiyonlu Soğutma Çevrimi.

Başlangıç olarak düşünülürse, adsorban yatağı soğutulur ve basınç düşer. Basınç buharlaşma basıncının altına düştüğünde buharlaştırıcı ve adsorban yatağı arasındaki valf 2 açılır ve adsorpsiyon işlemi başlar. Düşük basınca sahip buharlaştırıcıda bulunan adsorbat ortamdan ısı çekerek buharlaşır. Ortamdan çekilen bu ısı elde edilen faydadır. Buharlaştırıcıdan çıkan adsorbat, adsorban yatağında tutulur. İdeal olarak adsorban yatağı içindeki adsorban doyduğu zaman bu aşama biter. Bu işlem çevrimin adsorpsiyon kısmıdır. Adsorpsiyon sırasında dışarıya ısı atılır. Bu işlem esnasında toplayıcı ile yoğuşturucu arasındaki valf 1 kapalıdır(Şekil 1 (a)).

Bu işlemin ardından, adsorbat açısından zengin adsorban yatağı bir ısı kaynağı ile ısıtılır. Güneş enerjili sistemlerde, kolektörde elde edilen ısı enerjisi adsorban yatağının ısıtılmasında kullanılmıştır. (Şekil 1 (b)). Basınç yoğuşma basıncına ulaştığında valf 1 açılır ve adsorbat buharı adsorban yatağından yoğuşturucuya geçer. Adsorban yatağını terk ederek yoğuşturucuya gelen adsorbat ısını çevreye vererek yoğuşur. Sıvı adsorbat genleşme vanasından geçerek buharlaştırıcıya gelir ve temel adsorpsiyon soğutucu çevrimi tamamlanır. İdeal olarak, bu aşama desorpsiyon tamamlandığında biter.

## 2.1 Fiziksel adsorpsiyon

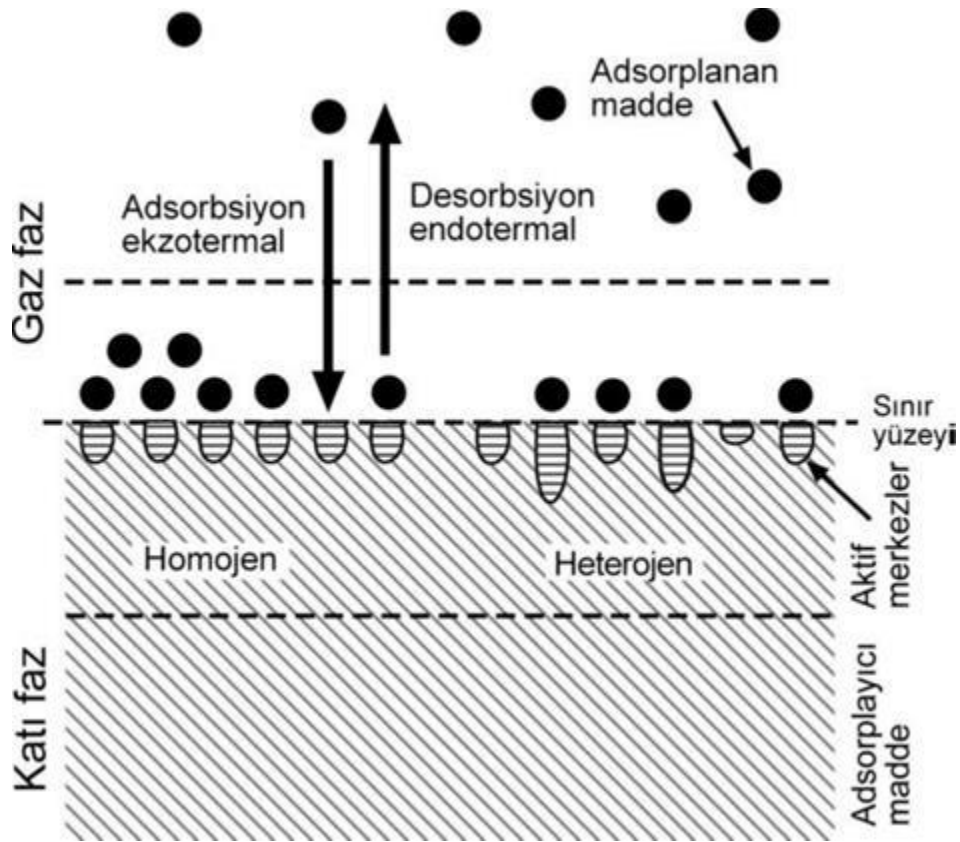
Fiziksel adsorpsiyon çalışma çiftleri için, karbon-metanol çalışma çifti büyük bir adsorpsiyon ve desorpsiyon konsantrasyonuna sahiptir. Desorpsiyon sıcaklığı 100 °C civarında olup yüksek değildir ve 1800-2000 kJ / kg civarında düşük adsorpsiyon ısı avantajına sahiptir. Buz yapmak için metanol soğutucu akışkanı uygulanabilir, çünkü donma noktası 0 °C'nin altındadır. Aktif karbon-metanol çalışma çiftleri için en yüksek desorpsiyon sıcaklığı 120 °C'yi aşamaz, aksi halde metanol ayrışır. Aktif karbon-amonyak sisteminin avantajı, buz yapımında yaygın olarak kullanılan soğutucunun düşük buharlaşma sıcaklığıdır. Adsorpsiyon kapasitesi için sıcaklık değişikliklerine karşı daha az duyarlı olmasıyla karakterize, genellikle daha yüksek ısı kaynağı sıcaklığı kullanılmıştır. Çalışma silika jel-su çifti için, desorpsiyon sıcaklığı çok yüksek olamaz. 120 °C'den yüksekse, silika jelin yapısı bozulacaktır. Bu nedenle silika jel düşük sıcaklık ısı kaynağı için ortak bir adsorbandır. Zeolit- su çalışma çifti çok çeşitli desorpsiyon sıcaklığına (70-250 °C) sahiptir. Adsorpsiyon ısı yaklaşık 3200–4200 kJ/kg'dır ve suyun buharlaşma gizli ısı 2400–2600 kJ / kg'dır.

## 2.2 Kimyasal adsorpsiyon

Kimyasal adsorpsiyon çalışma çiftleri esas olarak Hidritler-hidrojen, metal klorürler (tuz) - amonyak, metal oksitler-su ve metal oksitler-karbon dioksit ve benzerlerini içerir. Metal hidritler-hidrojen sistemi, adsorpsiyon işleminin yanı sıra desorpsiyon işleminden de faydalanır. Metaller veya alaşımlar ve soğutma için hidrojen, özellikle Ni, Fe, La ve Al içeren gelişmiş gözenekli metal hidritler (PMH) veya Misch metal (Mm) alaşım matrisleri için büyük adsorpsiyon ve desorpsiyon ısı ile karakterize edilir. Bu tür çalışma çiftleri genellikle adsorpsiyon ısı pompası için kullanılmıştır, çünkü yüksek adsorpsiyon ısı ve yüksek adsorpsiyon konsantrasyonuna sahiptirler. Metal klorür-amonyak çalışma çiftleri, büyük bir adsorpsiyon kapasitesine sahip olarak özelliklidir. Örneğin, kalsiyum klorür-amonyak için çalışma çifti 1 mol kalsiyum klorür, 8 mol amonyağı adsorbe edebilir. Eş zamanlı olarak, amonyağın kaynama noktası -34 °C'den düşüktür, bu nedenle buz yapmak için kullanılabilir, bu arada buzdolabı, sistem için gerekli olan daha basit üretim tekniklerinin bir özelliği olan pozitif basınç koşullarında çalışır.

### 2.3 Adsorpsiyonda Gerçekleşen İşlemler

Adsorpsiyon olayındaki adsorban ne kadar önemli ise adsorban madde de o kadar önemlidir. Adsorberin yüzeyine aktif merkez denir. Aktif merkezdeki atomlar arasındaki bağ kuvvetleri zayıf olduğu için, yabancı madde olarak adlandırılan adsorban madde parçacıklarının veya parçacıklarının adsorpsiyonu meydana gelir. Burada, adsorblayanda toplanan bir madde vardır, ancak aktif yüzey tarafından daha fazla adsorbe olabilen bir maddeyle karşılaştığında, yeni madde adsorbe edilirken, diğer madde desorbe edilir. Birçok yerde ve alanda, istenmeyen bir maddenin çıkarılması, bu tür tercih edilen türlerin adsorpsiyon yöntemi olarak adlandırılır [3]. Şekil 2’de adsorpsiyon ve desorpsiyon şematik işlemini göstermektedir.



Şekil 2. Adsorpsiyon ve Desorpsiyon işlemi [3].

### 2.4 Adsorban ve Adsorbat Çalışma Çiftinin Seçilmesi

Adsorban-adsorbat çiftinin özellikleri, adsorpsiyon soğutma sisteminin performansı için çok önemlidir. Bu özelliklerin sistemin çalışması, performansı ve hatta tasarımı üzerinde önemli etkileri vardır.

Çalışma çiftinin seçiminde aranan özellikler, kolay kullanılabilirlik, düşük çevresel etki, minimum aşınma ve ardışık döngülerde düşük performans kaybı gibi özellikler her biri için gereklidir.

Yaygın olarak kullanılan adsorbat-adsorban çifti, aktif karbon fiber-metanol, aktif karbon-amonyak, aktif karbon-metanol, silika jel-su, zeolit-su, metal hidritler-hidrojen ve kalsiyum klorür-amonyadır.

## 2.5 Farklı Adsorpsiyon Soğutma Çiftlerinin Karşılaştırılması

Adsorpsiyon makineleri için ana ısı kaynakları atık ısı ve güneş enerjisidir. Fiziksel adsorpsiyon çalışma çiftleri genellikle güneş enerjisi ısı kaynağı olduğunda tercih edilir. Silika jel-su, düşük desorpsiyon sıcaklığından dolayı güneş enerjisi için uygun bir çalışma çiftidir, ancak sıfırın altındaki sıcaklık üretememesi nedeniyle iklimlendirme için uygulanabilir.

**Tablo 1. Farklı adsorpsiyon çalışma çiftlerinin performans karşılaştırması**

Buharlaştırma sıcaklık (°C)	Adsorpsiyon çalışma çifti	COP	SCP (Özgül soğutma gücü) (W/kg)	Özellikleri	Veri kaynağı
8	Aktif karbon-NH <sub>3</sub>	-	1000	Taşınımli ısı dalga döngüsü	Hesaplama [4]
1	Activated carbon fiber/CaCl <sub>2</sub> -NH <sub>3</sub>	0.6	330	Kompozit adsorban, ısı borulu ısıtma	Deney [5]
3	Activated carbon-NH <sub>3</sub>	0.67	557	Taşınımli ısı dalga döngüsü	Hesaplama [6]
-10	SrCl <sub>2</sub> -NH <sub>3</sub>	0.32	230	Tek etkili sistem	Deney [7]
-25	(MnCl <sub>2</sub> +NiCl <sub>2</sub> )-NH <sub>3</sub>	0.4	70 × 2c	Çift etkili sistem	Hesaplama [7]
-10	Metal hidridhidrojen	0.43	25 × 2	Isıl dalga döngüsü	Deney [8]
3	Grafit / silika jel -su	-	35 x 2	Kompozit adsorban	Deney [9]
5	Zeolit - su	0.9	125 × 2	Aralıklı taşınımli ısı dalga döngüsü	Hesaplama [10]
-15	CaCl <sub>2</sub> / aktif karbon – amonyak	0.41	731	Kompozit adsorban, ısı borulu tip ısıtma ve soğutma	Deney [11]
-25	CaCl <sub>2</sub> / aktif karbon – amonyak	0.36	627.7	Kompozit adsorban, ısı borulu tip ısıtma ve soğutma	Deney [11]
10	Silika jel - su	0.4	85	Bölünmüş ısı borusu tipi evaporatör	Deney [12, 13]

Aktif karbon-metanol çifti buz üretimi uygulamaları için kullanılabilir ve 120 °C'den düşük sıcaklıklara sahip ısı kaynakları tarafından çalıştırılabilir. Silika jel-su ve aktif karbon-metanol

çiftleri, düşük sıcaklıkta atık ısının kullanımı için uygun çalışma çiftleridir. Yüksek sıcaklıklara uygun olan atık ısı çiftleri zeolit-su, aktif karbon – amonyak, metal klorür-amonyak ve kompozit adsorban-amonyaktır. Silika jel-su, aktif karbon-metanol ve zeolit-su içeren adsorpsiyonlu soğutma sistemleri vakum şartlarında çalışır ve sızdırmaz makineler sistemin performansını korumak için şarttır. Amonyagi soğutucu olarak kullanan sistemler pozitif basınçta ve bu sistemlerin vakum sistemlerine kıyasla üretimi ve bakımı çok daha kolaydır.

Adsorpsiyonlu soğutma performansını değerlendirmek için iki ana parametre vardır: soğutma etkinlik katsayısı (COP) ve özgül soğutma gücü (SCP = specific cooling power). COP, ısı geri kazanım çevrimi ve kütle geri kazanım çevrimi gibi gelişmiş bir adsorpsiyonlu soğutma çevrimi ile iyileştirilebilirken, SCP gelişmiş adsorbe etme teknolojisi ve yüksek ısı ve kütle transfer performansına sahip adsorban kullanılarak artırılabilir. Tablo 1, bazı umut verici deneysel performansların kompozit adsorbanlar-amonyak çalışma çiftleri ile elde edildiğini göstermektedir. Aktif karbon-CaCl<sub>2</sub>-amonyak çifti ile elde edilen özgül soğutma gücü (SCP), buharlaşma sıcaklığı -15 °C olduğunda, 731 W / kg kadar yüksektir ve soğutma etkinlik katsayısı (COP) yaklaşık 0.4-0.5'tir. Bununla birlikte, yapılan bazı hesaplamalarda elde edilen bulgular aktif karbon-amonyak çalışma çifti kullanılarak taşınımlı ısı dalgası döngüsü ile SCP'nin 1000 W/kg'dan daha yüksek olabileceğini göstermiştir.

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

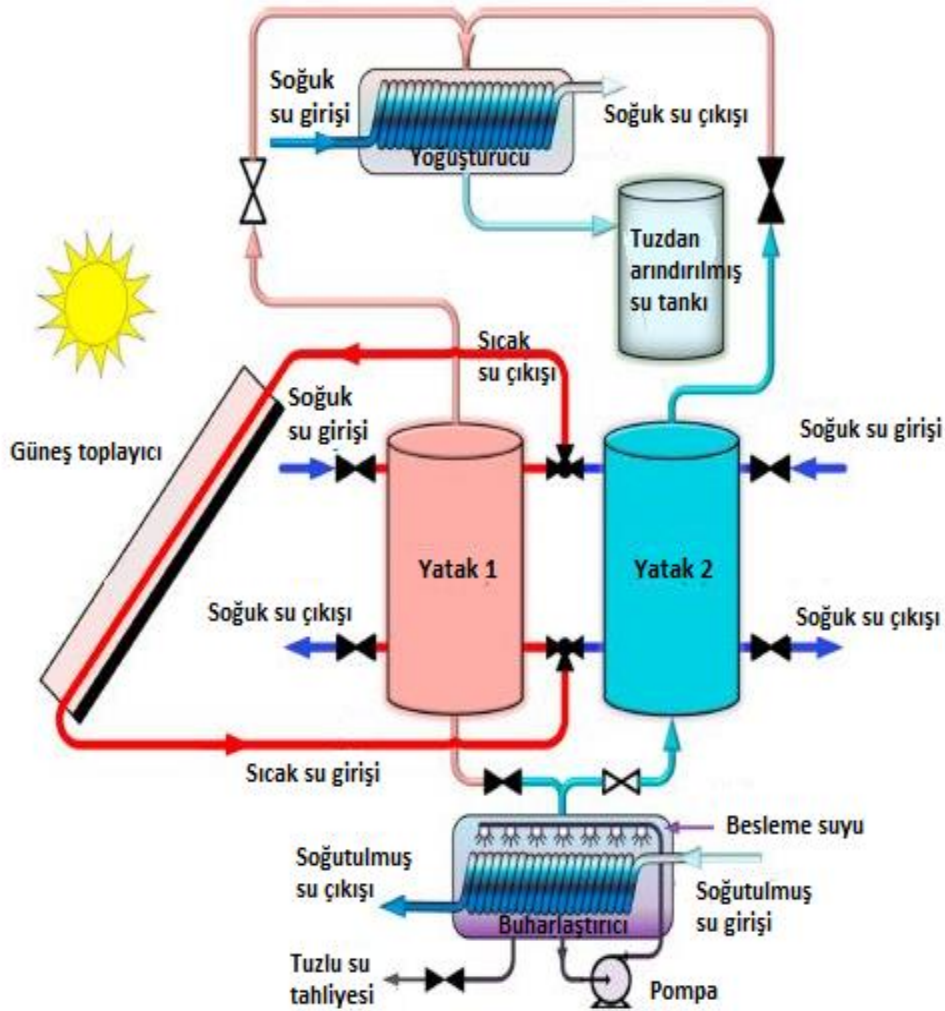
Zhu vd. [14] yaptıkları çalışmada Guangzhou şehrinde güneş enerjili çift yataklı adsorpsiyonlu soğutma sistemi inşa ve test edilmiştir. Güneş enerjisi ile çalışan adsorpsiyonlu soğutma sisteminin soğutma performansına etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışmada adsorban-adsorbat çifti olarak silika jel-su kullanılmıştır. 2 saatte 52.2W / kg'lık bir spesifik soğutma gücü ve 0.20'lik bir performans katsayısı elde edilmiştir. Son olarak, adsorpsiyonlu soğutma sisteminin farklı koşullarda, maksimum spesifik soğutma gücü ve performans katsayısı, sırasıyla 180.4 W / kg ve 0.29'dur.

Chan vd. [15] tarafından adsorbat olarak su ve adsorban olarak kompozit zeolit 13X / CaCl<sub>2</sub> kullanılan kompakt bir iki yataklı adsorpsiyonlu soğutma sistemi prototipi oluşturulmuştur. Sistemin performansını optimize etmek için temel çevrim, kütle geri kazanım çevrimi, ön ısıtma ve ön soğutma çevrimi ve ön ısıtma ve ön soğutma çevrimi ile kütle geri kazanımı olmak üzere dört farklı işlem dizisi incelenmiştir. Ön ısıtma ve ön soğutma çevriminin gerçekleştirilmesinin özgül soğutma gücünü 401 W / kg'a kadar artırabildiği bulunmuştur.

Zhu vd. [16] çalışmasında araç radyatörleri kullanan güneş enerjili adsorpsiyonlu soğutma sistemi inşa edilmiş ve sistem performansı Guangzhou ikliminde deneysel olarak incelenmiştir. Güneş enerjisini adsorban - adsorban çalışma çifti olarak 5.6 kg Zeolit 13X / CaCl<sub>2</sub> kompozit adsorban - su kullanılmıştır. Güneş enerjisini toplamak için toplam 12 m<sup>2</sup> alana sahip 6 adet tek camlı yassı plakalı güneş enerjisi toplayıcısı kullanılmıştır. Güneş toplayıcı alanı büyüdükçe özgül soğutma gücünün arttığı sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak 2 saatlik bir ön ısıtma aşaması önerilmiştir ve 1-2 kW'lık bir adsorpsiyonlu soğutma sistemi için minimum 3 tane 6 m<sup>2</sup>'lik bir güneş toplayıcı alanı tavsiye edilmiştir. Hem elektrostatik kaplama yönteminin hem de Zeolit 13X / CaCl<sub>2</sub> kompozit adsorbanın güneş enerjili adsorpsiyonlu soğutma sistemlerinde iyi bir potansiyele sahip olduğu rapor edilmiştir.

Rezk vd. [17] silika jel kullanan güneş enerjisi destekli desalinasyonlu adsorpsiyon soğutma sisteminin performansını teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Sistem tasarımında Şekil 3'te şematik resmi görülen adsorpsiyon soğutma sisteminin kullanılan malzemelerde değişiklik yapılmadan optimum çalışma koşulları kullanılarak özgül soğutma gücünde % 70 artış sağlanmıştır.

Thakare ve Deshmukh [18] kompozit adsorban, % 25 aktif karbon ve % 75 silika jel kullanan güneş enerjisi destekli adsorpsiyonlu su soğutma sisteminin performansını deneysel olarak incelemiştir. 10 litre soğutma suyu yükü için güneş performans katsayısı 0.088 ve etkinlik katsayısı 0.83 olarak hesaplanmıştır. Sistemin soğutma etkinlik katsayısının esas olarak güneş ışınımının yoğunluğuna bağlı olduğu bildirilmiştir. Aynı zamanda çıkıştaki soğutma yükünün sıcaklığına da bağlı olduğu görülmüştür. Girişteki soğutma yükünün sıcaklığı ile çıkış arasındaki fark büyüdükçe, soğutma etkinlik katsayısının değerinin arttığı gözlenmiştir. Bunun yanısıra, soğutma etkinlik katsayısının yatak sıcaklığına da bağlı olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 3. Güneş enerjisi destekli desalinasyonlu adsorpsiyon soğutma sisteminin düzeni [17].

#### 4. SİMULASYON MODELİ İÇEREN ÇALIŞMALAR

Hassan vd. çalışmalarında aktif karbon-metanol (AC / M) çifti kullanan boru şeklindeki bir güneş adsorpsiyonlu soğutma sistemi için daha gerçekçi bir teorik simülasyon modeli tanıtılmıştır. Oluşturulan matematiksel model, adsorpsiyon yatağı, kondansatör ve buharlaştırıcı içindeki ısı ve kütle transferini temsil etmiştir. Simülasyon tekniğinde, ortam sıcaklığı ve gün boyunca güneş ışınımındaki değişimler dikkate alınmıştır. Ayrıca, yerel basınç ve boru şeklinde reaktör içindeki uzay ve zamandaki yerel ısı iletkenlik farklılıkları da incelenmiştir. Sonlu farklar yöntemini kullanarak önerilen sayısal modeli çözmek için bir C ++ bilgisayar programı yazılmıştır. Geliştirilen program, tüm sistem bileşenlerinin çevrim süresi boyunca çalışmasını kapsamaktadır. Borulu reaktörün, yoğunlaştırıcının ve buharlaştırıcının performansı tartışılmıştır. Güneş soğutma sistemi işlemleri için zaman tahsisi şeması ve anahtarlama işlemleri de gösterilmiştir. İncelenen durum, AC / M çiftini içeren 20 paslanmaz çelik boru ile entegre 1 m<sup>2</sup> yüzey güneş düz plaka toplayıcısına sahiptir ve her bir tüp 5 cm dış çapa sahiptir. Ek olarak, yoğunlaştırıcı basıncı 54.2 kPa olarak ayarlanmıştır. Elde edilen bulgulara göre, güneş performans katsayısı ve sistemin özgül soğutma gücünün sırasıyla 0.211 ve 2.326 olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, adsorpsiyon yatağının içindeki basınç dağılımının neredeyse homojen olduğu ve sadece zamana göre değiştiği bulunmuştur. Ayrıca, AC / M ısı iletkenliğinin hem mekan hem de zaman içerisinde sabit olduğu gösterilmiştir [19].

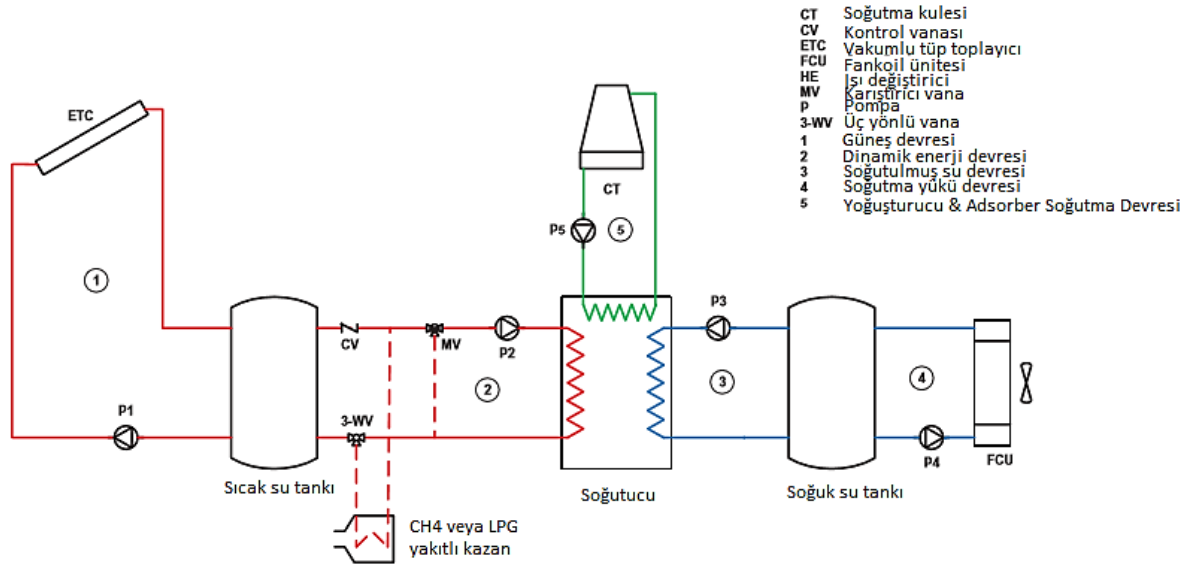
Sayfıkar ve Behbahani çalışmalarında, İran'ın güneyindeki Ahwaz kentinde bulunan, güneş enerjisi iki yataklı sürekli adsorpsiyonlu soğutma sisteminin geçici rejimde simülasyonunu sunmuştur. Çalışmada adsorban-adsorbat çifti olarak silika jel su çifti kullanılmıştır. Sistemin optimum çalışma değerlerini değerlendirmek için sıcak su giriş sıcaklığı, çevrim süresi, geçiş süresi, güneş enerjisi toplama alanı ve depolama tankı hacminin dahil olduğu bir parametrik bir analiz yapılmıştır. Modellenen soğutucunun etkinlik katsayısı ve soğutma gücü sırasıyla 0.575 ve 8.84 kW olarak hesaplanmıştır. Güneş sisteminde kullanılan toplam toplayıcı alan ve depolama tankının hacminin başlangıç değerleri 55 m<sup>2</sup> ve 2750 litre alınmıştır. Yıllık hesaplanan güneş enerjisinden yararlanma oranı ve bu sistemin yardımcı ısı sırasıyla 0.62 ve 29427 MJ olmuştur. Ulaşılan sonuçlara göre, temel durum için günlük en yüksek ve en düşük güneş enerjisinden yararlanma oranı sırasıyla 2 Ağustos ve 28 Eylül'de gerçekleşmektedir. Sıcak su sıcaklığının etkinlik katsayısı ve soğutma değerleri üzerindeki etkisinin incelenmesi, sıcak su sıcaklığının 85° C'ye kadar yükselmesinin etkinlik katsayısını arttırdığını, ancak daha fazla artışın etkinlik katsayısının düşmesine neden olduğunu göstermiştir. Ayrıca, toplayıcı alanının ve depo tank hacminin optimum değerlerini bulmak için yaşam döngüsü maliyet analizi yöntemini kullanarak ekonomik bir analiz yapılmıştır. Ardışık karesel programlama metodu kullanılarak optimum konfigürasyon 38 m<sup>2</sup> toplayıcı alanı ve 1.045 m<sup>2</sup> tank hacmi olarak bulunmuştur[20].

Alsaman vd. çalışmalarında, Mısır'ın iklim koşulları altında önerilen yeni bir güneş adsorpsiyon tuzdan arındırma-soğutma sistemi tasarlamış, inşa ve test etmiştir. Adsorban olarak ticari olarak temin edilebilen, yaklaşık 13.5 kg'lık bir silika jel kullanılmıştır. Kullanılan adsorbat ise su buharıdır. Ayrıca, sistem performansını tahmin etmek için teorik bir dinamik model geliştirilmiştir. Farklı Mısır iklim koşullarında teorik ve deneysel sonuçlar arasında iyi bir uyum bulunmuştur. Sonuçlar, ortalama spesifik soğutma gücünün 112 W / kg olduğunu ve ortalama spesifik günlük su üretiminin, ton silika jel başına 4 m<sup>3</sup> olduğunu



göstermiştir. Soğutma etkinlik katsayısı 0.45 olarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar göz önüne alınarak, güneş enerjisiyle çalışan bu sistemin, geleneksel tuzdan arındırma sistemlerine uygun bir alternatif sunan ve Mısır ikliminde gelecek vadeden yeterli bir çözüm olduğu kanıtlanmıştır [21].

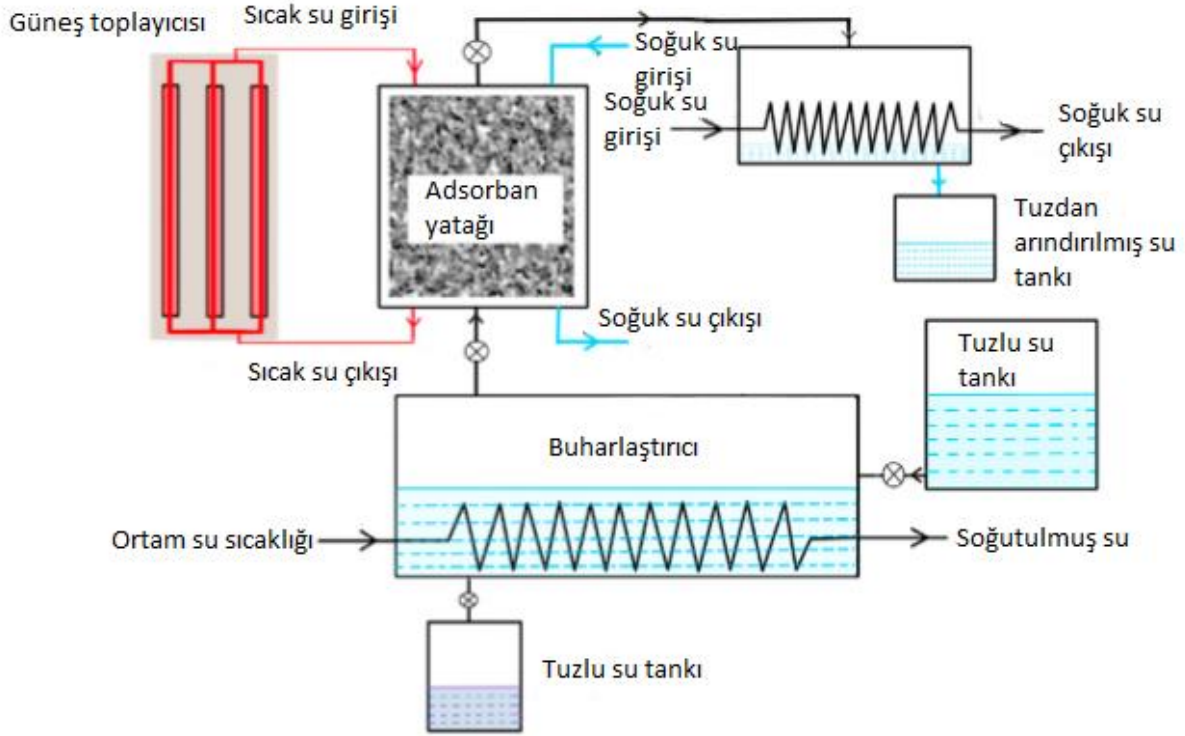
Reda vd. Mısır Assiut Üniversitesi kampüsünde inşa edilen küçük ölçekli bir konut tipi güneş enerjili adsorpsiyon (silika jel-su) soğutma sisteminin performansı üzerine deneysel bir araştırma yapmıştır. Assiut bölgesi sıcak ve kurak bir iklim olduğu için, yaz mevsiminde sistem çalışmasının performans değerlendirmesi için saha testleri farklı çevresel çalışma koşullarında gerçekleştirilmiştir. Sistem, toplam 36 m<sup>2</sup> alana sahip yansıtıcı konsantrasyon parabolik yüzeyli güneş toplayıcısı alanına sahip boşaltılmış bir tüp, 8 kW nominal soğutma kapasitesine sahip bir silika jel-su adsorpsiyonlu soğutucu sırasıyla hacim olarak 1.8 m<sup>3</sup> ve 1.2 olan sıcak ve soğuk su ısı depolama tanklarından oluşmaktadır. Yaz mevsimi saha testinin sonuçları, günlük güneş ışığında 21 ila 27 MJ/m<sup>2</sup> arasında değişen güneş kolektörlerinin sistemde kullanılan güneş kolektörlerinin yüksek ve neredeyse sabit ısı verime sahip olduğunu göstermiştir. Sistemin çalışması sırasında günlük güneş toplayıcısı verimliliği yaklaşık % 50 ila % 78 arasında değişmiştir. Adsorpsiyonlu soğutucu performansı, soğutma suyu ve soğutulmuş su sıcaklıkları sırasıyla yaklaşık 31 °C ve 19 °C iken, ortalama soğutma kapasitesi ve günlük soğutma etkinlik katsayısının sırasıyla 4.4 kW ile 0.41 olduğunu göstermiştir. Soğutucu soğutma suyu, sıcak kurak alandaki soğutma kulesi tarafından soğutulurken, soğutma suyu, soğutucunun tasarım noktasından daha yüksek bir sıcaklıktadır. Bu nedenle, soğutma suyu için şehir suyu kullanılarak bir deney yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, şehir suyu 27.7 °C iken, soğutucu etkinlik katsayısında % 40 ve soğutma gücünde % 17 oranında bir artış olduğunu göstermiştir [22].



Şekil 4. Güneş enerjili adsorpsiyonlu soğutma tesisinin şematik diyagramı [22]

Raj vd. çalışmalarında adsorpsiyon tuzdan arındırma sisteminin işletme ve performans parametrelerini incelemiştir. Çalışmada adsorban olarak RD tip silika jel kullanılmıştır. Adsorban-adsorbat çiftinin (silika jel- su) adsorpsiyon özelliklerini tanımlamak için Dubinin Astakhov modeli kullanılmıştır. Adsorpsiyon tuzdan arındırma sisteminin termodinamik

çevrimi denge koşulları altında analiz edilmiştir. Termodinamik analiz, sistem performansının çeşitli çalışma sıcaklıklarına bağlı olduğunu göstermiştir. Sıcak su giriş sıcaklığının, soğutma suyu sıcaklığının ve kondenser sıcaklığının su üretimi, kilogram su üretimi için gerekli enerji ve etkinlik katsayısı çevrimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Adsorpsiyon tuzdan arındırma çevriminin matematiksel modelleme denklemleri MATLAB 2017 kullanılarak çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar, sıcak su giriş sıcaklığının, soğutma suyu sıcaklığının ve kondenser sıcaklığının, su üretimi, enerji tüketimi ve sistemin etkinlik katsayısı üzerinde büyük bir etkisi olduğunu göstermektedir. Düşük soğutma suyu sıcaklığı, düşük yoğuşma sıcaklığı ve yüksek sıcak su giriş sıcaklığı için sistemden daha iyi performans elde edilebileceği rapor edilmiştir [23].



Şekil 5. Adsorpsiyon tuzdan arındırma sistemi şematik diyagramı [23]

## 5. SİSTEM DEĞERLENDİRMELERİ VE PERFORMANS HESAPLAMA TEKNİKLERİ

Zhu vd. [14] çalışmalarında güneş enerjili adsorpsiyonlu bir soğutma sistemi için güneş enerjisi etkinlik katsayısını hesaplamak için aşağıda verilen denklemi kullanmıştır:

$$COP_{So} = \frac{\int_0^{t_{\text{çevrim}}} \left( \frac{\dot{Q}_{\text{soğutma}}}{\dot{Q}_{\text{des,so}}} \right) dt}{\int_0^{t_{\text{çevrim}}} dt} \quad (1)$$

$\dot{Q}_{\text{soğutma}}$ , soğutma çıkış gücünü temsil eder (W);  $\dot{Q}_{\text{des,so}}$  ise güneş enerjisi ısıllı kollektörlerinden ısıllı giriş gücünü ifade eder (W) ve  $t_{\text{çevrim}}$  adsorpsiyonlu soğutma sistemi (ASS)'nin bir çevrimi tamamlaması için gereken süreyi temsil etmektedir. Elektrikli ısıtıcılar tarafından tahrik edilen sistemin etkinlik katsayısı Denklem 2 ile hesaplanmıştır:

$$COP_{he} = \frac{\int_0^{t_{\text{cevrir}}} \left( \frac{\dot{Q}_{\text{soğutma}}}{\dot{Q}_{\text{des,he}}} \right) dt}{\int_0^{t_{\text{cevrir}}} dt} \quad (2)$$

$\dot{Q}_{\text{des}}$  ise, elektrikli ısıtıcıların ısı girişi gücünü ifade etmektedir (W). Soğutma çıkış gücü Denklem 3 ile hesaplanmıştır:

$$\dot{Q}_{\text{soğutma}} = \dot{m}_{\text{soğutma}} c_{p,su} (T_{\text{soğutma,giren}} - T_{\text{soğutma,çıkan}}) \quad (3)$$

Burada  $\dot{m}_{\text{soğutma}}$ , soğutulmuş suyun kütle debisini ifade eder (kg / dak),  $c_{p,su}$  suyun özgül ısı kapasitesini belirtir (J / (kgK)),  $T_{\text{soğutma,giren}}$  ve  $T_{\text{soğutma,çıkan}}$ , sırasıyla soğutulmuş suyun giriş ve çıkış sıcaklıklarını temsil eder (°C). Güneş toplayıcılarından ve elektrikli ısıtıcılardan gelen ısı girişi gücü, sırasıyla Denklem 4 ve 5 ile hesaplanmıştır:

$$\dot{Q}_{\text{des,so}} = \dot{m}_{\text{sıcak}} c_{p,su} (T_{\text{so,giren}} - T_{\text{so,çıkan}}) \quad (4)$$

Burada  $\dot{m}_{\text{sıcak}}$ , sıcak suyun kütle debisidir [kg / dak],  $T_{\text{so,giren}}$  ve  $T_{\text{so,çıkan}}$ , sırasıyla güneş ısı kollektörlerinin giriş ve çıkış suyu sıcaklığını belirtmektedir (°C).

$$\dot{Q}_{\text{des,he}} = \dot{m}_{\text{sıcak}} c_{p,su} (T_{\text{sıcak,giren}} - T_{\text{sıcak,çıkan}}) \quad (5)$$

Son olarak, adsorpsiyonlu bir soğutma sistemi özgül soğutma gücünü (SCP) hesaplamak için aşağıda verilen denklem kullanılmıştır:

$$SCP = \frac{\dot{Q}_{\text{soğutma}}}{W} \quad (6)$$

$W$ , adsorban yatağında kullanılan adsorban kütleini temsil etmektedir [kg].

Chan vd. [15] çalışmalarında adsorpsiyonlu bir soğutma sisteminde (ASS), özgül soğutma gücünü (SCP) aşağıda verilen denklemi kullanarak hesaplamıştır:

$$SCP = \dot{m}_{\text{soğutma}} c_{p,su} \int_0^{t_{\text{cevrir}}} (T_{\text{soğutma,giren}} - T_{\text{soğutma,çıkan}}) dt / W t_{\text{cevrir}} \quad (7)$$

$\dot{m}_{\text{soğutma}}$ , soğutulmuş suyun kütle debisidir,  $c_{p,su}$ , özgül ısı kapasitesidir,  $W$ , kompozit adsorbanın kütleidir (2 kg zeolit 13X / CaCl<sub>2</sub>) ve  $t_{\text{cevrir}}$  devir döngü süresidir. Denk. (8) farklı işlem koşulları için deney prototipinin soğutma etkinlik katsayısını (COP) hesaplamak için kullanılmıştır.

$$COP = \int_0^{t_{\text{cevrir}}} \frac{\dot{m}_{\text{soğutma}} c_{p,su} (T_{\text{soğutma,giren}} - T_{\text{soğutma,çıkan}}) dt}{\dot{m}_{\text{sıcak}} c_{p,su} (T_{\text{sıcak,giren}} - T_{\text{sıcak,çıkan}})} dt / \int_0^{t_{\text{cevrir}}} dt \quad (8)$$

Zhu vd. [16] ASS'nin bir günündeki bir deneyin ortalama SCP'sini hesaplamak için denklem (9)'u kullanmıştır:

$$SCP = \frac{\int_0^t \dot{Q}_{\text{soğutma}} dt}{W t} \quad (9)$$

$\dot{Q}_{\text{soğutma}}$  soğutma çıkış gücüdür;  $t$ , ASS'nin bir gündeki toplam çalışma süresini temsil eder;  $W$  adsorban yatağındaki kompozit adsorban kütleini temsil etmektedir. Soğutma çıkış gücü aşağıda verilen denklemde faydalanılarak hesaplanmıştır:

$$\dot{Q}_{\text{soğutma}} = \dot{m}_{\text{soğutma}} c_{p,su} (T_{\text{soğutma,giren}} - T_{\text{soğutma,çıkan}}) \quad (10)$$

burada  $\dot{m}_{soğutma}$ , soğutulmuş suyun kütle debisidir ;  $c_{p,s}$ , suyun izobarik spesifik ısı kapasitesini temsil etmektedir;  $T_{soğutma,giren}$  ve  $T_{soğutma,çıkan}$ , soğutulmuş su giriş ve evaporatöre çıkış sıcaklıklarını temsil eder. Ortalama enerji verimliliği oranı ( $EER$ ) şu denklemden hesaplanmıştır:

$$EER = \frac{\int_0^t Q_{soğutma} dt}{E} \quad (11)$$

burada  $E$ , aşağıdakileri içeren elektrik tüketimini temsil etmektedir. Pompa, vana ve kontrol sisteminin elektrik tüketimi ve bir elektrik sayacı ile ölçülmüştür. Ortalama soğutma etkinlik katsayısı ( $COP$ ) aşağıdaki denklem (12) kullanılarak hesaplanmıştır:

$$COP = \frac{\int_0^t Q_{soğutma} dt}{\int_0^t Q_{sıcak} dt} \quad (12)$$

$Q_{sıcak}$  ısı giriş gücünü temsil etmektedir aşağıda verilen denklemden yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_{sıcak} = \dot{m}_{sıcak} c_{p,su} (T_{sıcak,giren} - T_{sıcak,çıkan}) \quad (13)$$

Rezk vd. [17] yaptığı çalışmada ısı değiştiricileri için çıkış sıcaklıkları aşağıdaki denklem (14) kullanılarak elde edilmiştir. Bu denklemden  $id$  alt indis ısı değiştiriciyi simgelemektedir.

$$T_{su,çıkış} = T_{id} + (T_{su,giriş} - T_{id}) \exp\left(\frac{-UA_{id}}{(\dot{m}c_p)_{su}}\right) \quad (14)$$

Buharlaştırma ısı, desorpsiyon ve yoğunlaşma enerjisinin elde edilmesi için kullanılan denklemler aşağıda (15-17) verilmiştir. Denklemlerde  $c_p$  özgül ısı,  $hw$  ve  $ch$  alt indisleri sırasıyla ısıtma suyunu ve soğutulmuş suyu belirtmektedir.

$$Q_{buh} = \int_0^{t_{çevrim}} \dot{m}_{ch} c_{p,ch} (T_{ch,giren} - T_{ch,çıkan}) dt \quad (15)$$

$$Q_{des} = \int_0^{t_{çevrim}} \dot{m}_{hw} c_{p,w} (T_{hw,giren} - T_{hw,çıkan}) dt \quad (16)$$

$$Q_{yoğ} = \int_0^{t_{çevrim}} \dot{m}_w c_{p,w} (T_{cw,giren} - T_{cw,çıkan}) dt \quad (17)$$

Çevrimin performans parametreleri denklemlerle (18-20) gösterilmiştir.  $SDWP$  özgül günlük su üretimini tanımlamaktadır.

$$SDWP = \int_0^{t_{çevrim}} \frac{\dot{m}_w c_{p,w} (T_{cw,giren} - T_{cw,çıkan})}{h_{fg} M_{sg}} dt \quad (18)$$

$$SCP = \int_0^{t_{çevrim}} \frac{\dot{m}_{ch} c_{p,ch} (T_{ch,giren} - T_{ch,çıkan})}{M_{sg}} dt \quad (19)$$

$$SCP = \int_0^{t_{çevrim}} \frac{\dot{m}_{ch} c_{p,ch} (T_{ch,giren} - T_{ch,çıkan})}{\dot{m}_{hw} c_{p,w} (T_{hw,giren} - T_{hw,çıkan})} dt \quad (20)$$

Thakare ve Deshmukh [18], çalışmalarında güneş performans katsayısını aşağıdaki denklemle bulmuştur:

$$COP_s = \frac{Q_e}{I_{toplam}} \quad (21)$$

Denklem (21)'de  $Q_e$  üretilen soğutma etkisini ve  $I$  ise güneş enerjisi şiddetini göstermektedir.

$$I_{toplam} = I \times A \quad (22)$$

$$Q_e = m c_p (T_{giren} - T_{çıkan}) \quad (23)$$

Soğutma Performans Katsayısı, sistemden gelen son çıktının, soğutma sisteminin performans göstergesi olarak kullanılan sisteme girdi oranıdır.

$$T_{ays} = \text{Adsorber yatak sıcaklığı}$$

$$T_o = \text{Ortam sıcaklığı}$$

$$T_{min} = \text{Buzdolabında ulaştığı minimum sıcaklık (buharlaştırıcı)}$$

$$COP_R = \frac{T_{ays}(T_o - T_{min})}{T_{min}(T_{ays} - T_o)} \quad (24)$$

## SONUÇLAR

Güneş enerjili adsorpsiyonlu soğutma sistemleri temiz çevre ve enerji tasarrufu açısından büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada, güneş enerjili adsorpsiyonlu soğutma sistemleriyle ilgili gelişmeler yapılan yeni çalışmalar ışığında incelenmiş, kullanılan adsorban-adsorbat çiftleri, analiz yöntemleri, hesaplama teknikleri ve ulaşılan verimliliklerle birlikte yer vererek araştırılmıştır. İncelenen çalışmalar deneysel ve simülasyon içeren çalışmalar olarak iki grupta değerlendirilmiştir.

İncelen çalışmalarda elde edilen bulgular Tablo 2'de özetlenmiştir.

**Tablo 2. Güneş enerjili adsorpsiyonlu soğutma sistemlerin karakteristik özellikleri**

Çalışma çifti	Toplayıcı Alanı(m <sup>2</sup> )	Güneş enerjisi yoğunluğu (W/m <sup>2</sup> )	SCP (Özgül soğutma gücü) (W/kg)	COP	SDWP (Günlük özgül su üretimi) (m <sup>3</sup> /ton)	Referans
Silika jel – Su	6	800	180.4	0.29	-	[14]
Zeolit 13X / CaCl <sub>2</sub> - Su	-	-	401	0.3	-	[15]
Zeolit 13X / CaCl <sub>2</sub> - Su	6	840	52.2	0.29	-	[16]
Zeolit 13X / CaCl <sub>2</sub> - Su	-	-	83.218	0.607	2.997	[17]
Silika jel/ aktif karbon – Su	0.9	382.465	-	0.83	-	[18]
Aktif karbon - metanol	1	-	-	2.326	-	[19]
Silika jel-su	38	-	-	0.575	-	[20]
Silika jel- su	-	-	-	0.45	4	[21]
Silika jel –su	36	486-625	-	0.41	-	[22]
CaCl <sub>2</sub> / aktif karbon – amonyak	-	3 kWh/m <sup>2</sup> /day	1.67 kg/kg/day	0.15	-	[24]

Bu çalışmalarda açıkça görüldüğü gibi silika jel-su çifti halen güneş enerjili adsorpsiyonlu soğutma sistemlerinde en çok kullanılan çifttir. Aktif karbon nanotüp ve kompozit çok duvarlı karbon nanotüp / MIL-100 (Fe) gibi yeni adsorbanlar kullanılmaya başlanmıştır. Soğutma etkinlik katsayısı çalışmaları içinde farklılık göstermekle birlikte, en yüksek soğutma etkinlik katsayısı 0.83 olarak aktif karbon ve silika jelin birlikte kullanıldığı kompozit adsorban kullanımı ile elde edilmiştir. Bununla birlikte özgül soğutma gücünün 401 W/kg olarak en yüksek bulunduğu kompozit Zeolit 13X/CaCl<sub>2</sub> -su çiftinin soğutma etkinlik katsayısı 0.28 olarak gözlenmiştir.

İncelenen çalışmalarda elde edilen tüm bulgular değerlendirildiğinde kompozit adsorban – adsorbat çiftlerinin gelecek vaat ettiği, enerji kayıplarının azaltılması gerektiği ve yararlı enerji kullanım verimlerinin büyük önem taşıdığı görülmüştür. Ayrıca, adsorban yatak tasarımı ve ısı ve kütle transferinde yapılacak iyileştirmeler sistemlerin performansının artırılması ve sistemlerin boyutlarının küçültülerek ticarileşmesi için yapılacak gelecek çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

### **Kaynaklar**

- [1] Sah R. P., Choudhury B., Das R.K., 2016, A review on low grade heat powered adsorption cooling systems for ice production, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 62, 109–120.
- [2] Hassan H.Z., Mohamad A.A., Alyousef Y., Al-Ansary H.A., 2015, A review on the equations of state for the working pairs used in adsorption cooling systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 45, 600–609.
- [3] Demir, E., Yalçın, H., 2014, “Adsorbentler: Sınıflandırma, Özellikler, Kullanım ve Öngörüler,” *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi* 7 (2), 70-79.
- [4] Critoph, R.E., Tamainot-Telto, Z., and Davies, G.N.L., 1997, Design of an adsorption generator utilising a novel carbon-aluminium laminate. *Proceedings of International Heat Pump Conference, Nottingham, UK*, 349–358.
- [5] Vasiliev, L.L., Mishkinis, D.A., Vasiliev, Jr. L.L., 1996, Multi-effect complex compound/ammonia sorption machines, *Proceedings of International Sorption and Heat Pump Conference, Montreal, Canada*, 3–8.
- [6] Critoph, R.E. (1999) Forced convection adsorption cycle with packed bed heat regeneration. *International Journal of Refrigeration*, 22(1), 38–46.
- [7] Pons, M., Meunier, F., Cacciola, G. et al., 1999, Thermodynamic based comparison of sorption systems for cooling and heat pumping, *International Journal of Refrigeration*, 22, 5–17.
- [8] Willers, E. and Groll, M., 1999, Evaluation of metal hydride machines for heat pumping and cooling applications, *International Journal of Refrigeration*, 22(1), 47–58.
- [9] Eun, T.H., Song, H.K., Han J.H., Li K.H., Kim J.N., 2000, Enhancement of heat and mass transfer in silica-expanded graphite composite blocks for adsorption heat pumps, Part II: Cooling system using the composite blocks. *International Journal of Refrigeration*, 23, 74–81.
- [10] Lai, H.M., 2000, An enhanced adsorption cycle operated by periodic reversal forced convection, *Applied Thermal Engineering*, 20, 595–617.
- [11] Wang, L.W., Wang, R.Z., Lu, Z.S. et al., 2006, Split heat pipe type compound adsorption ice making unit for fishing boats, *International Journal of Refrigeration*, 29, 456–468.
- [12] Wang, D.C., Wu, J.Y., Xia, Z.Z. et al., 2005, Study of a novel silica gel–water adsorption chiller. Part II. Experimental study. *International Journal of Refrigeration*, 28(7), 1084–1091.

- [13] Wang, D.C., Xia, Z.Z., Wu, J.Y. et al. ,2005, Study of a novel silica gel–water adsorption chiller. Part I. Design and performance prediction. *International Journal of Refrigeration*, 28(7), 1073–1083.
- [14] Zhu, L.Q., Tso, C .Y., , He W., Wu, C.L, Chao C.Y.H., 2017, A field investigation of a solar-powered adsorption cooling system under Guangzhou's climate with various numbers of heat exchangers in the adsorbers, *Science and Technology for the Built Environment*, 0, 1–11 .
- [15] Chan K.C., Tso C.Y., Wu C., Chao C.Y., 2018, Enhancing the performance of a zeolite 13X/CaCl<sub>2</sub>–water adsorption cooling system by improving adsorber design and operation sequence, *Energy and Buildings*, 158, 1368-1378.
- [16] Zhu, L.Q., Tso, C .Y., Chan K.C., Wu, C.L., Chao C.Y.H., Chen J. He, W., Luo, S.W., 2018, Experimental investigation on composite adsorbent – Water pair for a solar-powered adsorption cooling system *Applied Thermal Engineering*, 649-659.
- [17] Rezk, H., Alsaman, A.S., Al-Dhaifallah, M., Askalany, A.A., Abdelkareem, M.A., Nassefa, A.M., 2019, Identifying optimal operating conditions of solar-driven silicagel based adsorption desalination cooling system via modern optimization, *Solar Energy*, 181, 475-489.
- [18] Thakare A.M., Deshmukh S.J., 2018, Performance Analysis of Solar Powered Adsorption Cooling System, ICUE 2018 on Green Energy for Sustainable Development Thavorn Palm Beach Resort Karon, Phuket, Thailand.
- [19] Hassan H. Z.,Mohamad A. A.,Bennacer R.,2011, Simulation of an adsorption solar cooling system, *Energy*, 36:1, 530-537.
- [20] Sayfikar M., Behbahani A., 2013, Study of the performance of a solar adsorption cooling system *Energy Equipment and Systems*, 11, 75-90.
- [21] Alsaman A.S., Askalany A.A., Harby K., Ahmed M.S, Performance evaluation of a solar-driven adsorption desalination-cooling system, *Energy*, 128, 196-207.
- [22] Reda A.M., Ali A.H.H., Taha İ.S., Morsy M.G., 2017, Performance of a small-scale solar-powered adsorption cooling system, *International Journal Of Green Energy*, 14: 1, 75–85 .
- [23] Raj R., Baiju V., Thermodynamic Analysis of a Solar Powered Adsorption Cooling and Desalination System, *Energy Procedia*, 158, 885-891.
- [24] C. Li, R.Z. Wang, L.W. Wang, T.X. Li, Y. Chen, Experimental study on an adsorption icemaker driven by parabolic trough solar collector, *Renew. Energy* 57 (2013) 223–233.

## **ÖZGEÇMİŞLER**

### **Türkan ÜÇOK ERKEK**

1986 yılı Adana doğumlu, evli bir erkek çocuk annesidir. 2004 yılında Adana Anadolu Lisesi Fen Bilimleri Alanından mezun olmuştur. 2009 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Müh. Bölümünü bitirmiştir. 2009 yılında Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Müh. Bölümü Termodinamik Ana Bilim Dalında Araştırma görevlisi olarak göreve başlamıştır. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans eğitimini 2012 yılında tamamlamıştır. 2016 yılında 14 ay süreyle Fraunhofer Güneş Enerjisi Sistemleri Enstitüsü, Almanya'da doktora çalışmaları ile ilgili araştırmalarda bulunmuştur. 2018 yılında doktora öğrenimini tamamlamıştır.

### **Ahmed Mohammed Shakir SHAKIR**

1991 Kerkük, Irak doğumludur. 2013 yılında Tikrit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2016 yılında Tikrit Üniversitesinde yüksek lisans öğrenimini tamamlamıştır. 2018 yılında Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde doktora öğrenimine başlamış olup, halen öğrenimine devam etmektedir.

### **Ali GÜNGÖR**

1955 Elazığ doğumlu, evli ve iki kız çocuk babasıdır. Ege Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden 1977 yılında Mühendis, 1978 yılında Yüksek Mühendis ve aynı Üniversitenin Güneş Enerjisi Enstitüsü'nden 1985 yılında Doktor Mühendis derecelerini aldı. 1986 yılında Kanada'da Brace Research Institute'de altı ay araştırmalarda bulundu. 1989 yılında Isı ve Madde Transferi Bilim Dalında Doçent oldu. 1996 yılında Ege Üniversitesinde Profesör unvanını aldı. 1997-2012 yılları arasında Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Bölüm Başkanlığı yaptı ve halen aynı bölümde Termodinamik Ana Bilim Dalında öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır.