

# Absorpsiyonlu ve Adsorpsiyonlu İklimlendirme Sistemleri Performans Değerlendirmesi

Bülent ORHAN  
Ali GÜNGÖR

## ÖZET

*Enerjinin gittikçe daha çok önem kazanmaya başladığı dünyamızda, elektrik enerjisi yerine birincil enerji olarak ısı enerjisi (atık ısı veya güneş enerjisi) kullanılan iklimlendirme sistemleri geliştirilmiştir. Bu bağlamda, ısı enerjisi kullanan absorpsiyonlu ve adsorpsiyonlu su soğutucular iklimlendirme sistemlerinde kullanılmaktadır. Absorpsiyonlu ve adsorpsiyonlu sistemlerin, enerji tasarrufu ve çevre korunması gibi avantajları bulunmaktadır. Bu çalışmada, absorpsiyonlu ve adsorpsiyonlu soğutucu teknolojileri ortaya konulmuştur. Ayrıca, bu tip sistemlere ait tasarım karakteristikleri tartışılmış ve mevcut tasarımlar üzerinde durulmuştur. Absorpsiyonlu ve adsorpsiyonlu su soğutucu sistemi kullanılan bazı ticari uygulamalar incelenmiştir. Bu uygulamalarda ortaya çıkan performans tartışılmıştır.*

**Anahtar Sözcükler:** İklimlendirme, Soğutucu, Absorpsiyon, Adsorpsiyon.

## 1. GİRİŞ

Soğutma makineleri düşük enerji kaynağından aldığı ısıyı daha yüksek sıcaklıktaki ısı kuyusuna aktarır. Soğutma makinelerinden faydalı soğutma elde edilebilmek için açık ve kapalı çevrimde birçok farklı yöntem bulunmaktadır. Bunların içinde, elektrik tahrikli kompresör kullanan soğutucuların kullanımı oldukça yaygındır. Ülkemiz, elektrik enerjisi üretimi ve tüketimi açısından çeşitli sorunlarla karşılaşmaktadır. Elektrik tüketimini arttıran önemli bir unsur da soğutma uygulamalarıdır. Bunun yanında, fosil yakıtların oluşturduğu çevre kirliliği, yeni enerji kaynaklarının araştırılmasını ve bugün kullanılan sistemlerde enerji tasarrufuna yönelik çalışmaların yapılmasına yol açmıştır. Bu bağlamda, elektrik enerjisi tahrikli kompresör kullanan soğutucular yerine atık ısı, güneş enerjisi, jeotermal gibi ısı enerjisi kullanan soğutucular geliştirilmiştir. Bu tip sistemlerde, elektrik enerjisi yerine ısı enerjisi kullanılarak soğutma çevrimi oluşturulur.

Şekil 1’de elektrik ve ısı enerjisi kullanılan sistemlerin enerji dengesi görülmektedir. Isı enerjisi kullanan sistemler üç sıcaklık seviyesinde

## Abstract:

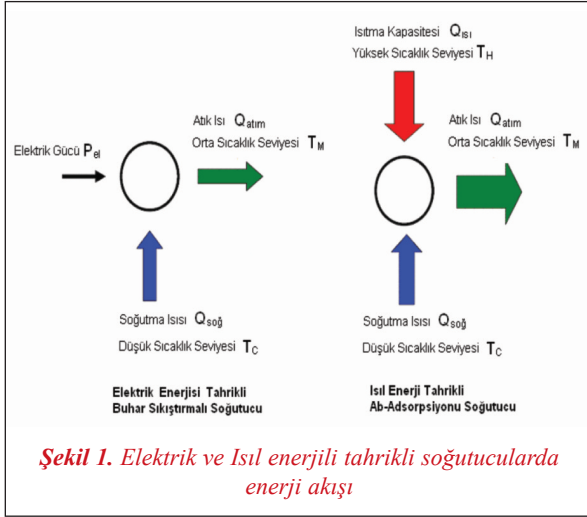
In our world where energy is gaining more importance, air conditioning systems which use heat energy (waste heat or solar energy) instead of electrical energy as primal energy are improved. So, absorption and adsorption systems have advantages of energy saving and environmental protection. In this study, absorption and adsorption refrigerator technologies are brought up. Furthermore, design characteristics of these systems are discussed and existent designs are examined. Some commercial application using absorption and adsorption chiller systems are studied. Performance of these applications are discussed.

## Key Words:

Air condition, Refrigerator, Absorption, Adsorption.

## Makale

çalışmaktadır.  $T_H$  sıcaklığındaki kaynaktan (Yüksek Sıcaklık Seviyesi)  $Q_{ISI}$  sisteme aktarılır.  $T_C$  sıcaklığındaki ortamdan (Düşük Sıcaklık Seviyesi)  $Q_{soğ}$  soğutma için çekilir.  $T_H$  sıcaklığındaki ısı kuyusuna (Orta Sıcaklık Seviyesi)  $Q_{atı}$  sistemden atılır. Sistemin çevrimini sağlayan  $Q_{ISI}$  sisteme yenilenebilir enerji ve başka bir sistemin atık ısısı kullanılarak verilebilir [1].



Soğutma sistemlerinde, termodinamiğin birinci yasasının bir sonucu olarak, dış ortama atılan ısı akısı ( $\dot{Q}_{atı}$ ), iklimlendirilen ortamdan çekilen ısı akısı ( $\dot{Q}_{soğ}$ ) ve çevrimi sağlayan güç (P) toplamına eşittir ( $\dot{Q}_{atı} = \dot{Q}_{soğ} + P$ ). Elektrik tahrikli soğutucu için çevrimi sağlayan güç elektrik enerjisidir. Isıl enerji kullanan sistemlerde yüksek sıcaklıktan elde edilen ısı akısı  $\dot{Q}_{ISI}$  çevrimi harekete geçiren ve sürekliliğini sağlayan güçtür.

Enerji performansını değerlendirmek için performans katsayısı (COP) anahtar parametre olarak kullanılır. Isıl enerji tahrikli iklimlendirme sistemlerinde  $COP_{ISIL}$  soğuk üretmek için harcanan ısı enerjisinin derecesini gösterir ve Eşitlik 1'de verildiği gibi formüle edilebilir.

$$COP_{ISIL} = \frac{\dot{Q}_{soğ}}{\dot{Q}_{ISI}} \quad (1)$$

$COP_{ISIL}$  değeri sıcaklık seviyesi değerleri, soğutma yükü gibi soğutucu çalışma şartlarına göre değişir. Bu nedenle birbirinden farklı sistemlerin COP

değerlerini aynı çalışma şartları altında iken karşılaştırmak gerekir. Benzer şekilde, elektrik tahrikli kompresör kullanan sistemlerde  $COP_{elek}$  soğutma elde etmek için harcanan elektrik enerjisinin derecesini gösterir [1].

$$COP_{el} = \frac{\dot{Q}_{soğ}}{P_{el}} \quad (2)$$

Elektrik tahrikli soğutucular ile ısı enerji kullanan soğutma makineleri COP değerlerini doğrudan karşılaştırılması yanıltıcı sonuç verebilir. Çünkü giren enerji niteliği (ekserji girişi) birbirinden farklıdır. Bu soğutucuları birbiriyle karşılaştırması sistemlerin birincil enerji tüketimine dayandırılması uygun olur [1].

Isıl enerji tahrikli soğutucularda elde edilebilecek ideal verimlilik Carnot verimliliği ile bulunabilir. Sistemin  $COP_{ideal}$  değeri sıcaklık seviyelerine bağlıdır. Eşitlik 3'de verilen  $T_C$  düşük sıcaklık seviyesindeki soğutulan kaynak sıcaklığı,  $T_H$  yüksek sıcaklık seviyesindeki sistemin tahrikini sağlayan ısı kaynağı sıcaklığı,  $T_M$  orta sıcaklık seviyesindeki ısı kuyusu sıcaklığıdır [2].

$$COP_{ideal} = \frac{T_C}{T_H} \cdot \frac{T_H - T_M}{T_M - T_C} \quad (3)$$

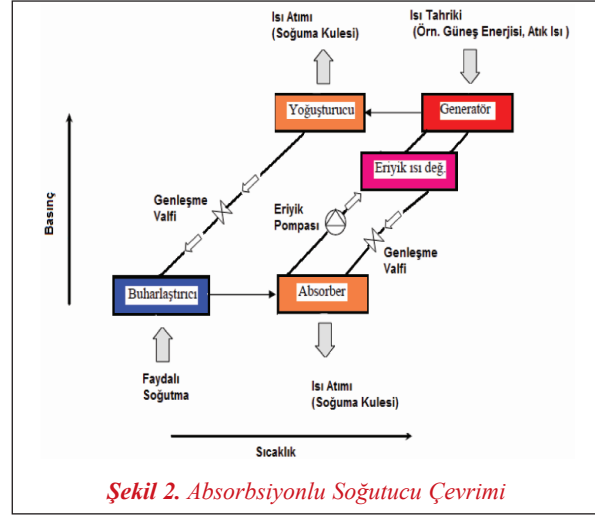
## 2. ABSORPSİYONLU VE ADSORPSİYONLU SOĞUTUCU TEMEL PRENSİPLERİ

Isıl enerji kullanan soğutucu uygulamalarında kapalı çevrim kullanılan absorpsiyonlu ve adsorpsiyonlu soğutucular ön plana çıkmaktadır. Absorpsiyonlu soğutucularda, mekanik sıkıştırma sistemlere benzer biçimde buharlaştırıcı, yoğuşurucu ve genişleme valfi bulunmaktadır. Buharlaştırıcıda, soğutkan düşük sıcaklık kaynağından ısı çekerek buharlaşırken yoğuşurucu kısmında orta sıcaklık seviyesindeki ısı kuyusuna ısı atılır. Absorpsiyonlu soğutucularda, mekanik sıkıştırma sistemlerden farklı olarak kompresör görevini ısıl enerji kaynağı kullanan absorber, generatör ve eriyik pompası yerine getirir. Bu bağlamda, absorpsiyonlu sistemlerin başlıca elemanları; generatör, yoğuşurucu, buharlaştırıcı, absorber, eriyik ısı değiştirici, eriyik pompası ve genişleme valfidir. Absorpsiyonlu sistemlerde kul-

lanılan iki farklı akışkan vardır. Bunlardan birisi soğutucu akışkan, diğeri ise soğutucu akışkanı absorbe eden soğurucu (absorbent) akışkandır. Soğutucu akışkan, sistemin bütün elemanlarında dolaşır. Soğutucu akışkan, buharlaştırıcıda buharlaşarak soğutma yükünün ortamdaki çekilmesini sağlar. Soğurucu akışkan ise sadece generatör, absorber ve eriyik ısı değiştirici arasında dolaşır. Soğurucu akışkan ise, çevrimin belirli kısımlarında soğutucu akışkan taşıma vazifesi görür [3].

Absorpsiyonlu sistemlerin çalışma prensibi kısaca şöyledir: Başlangıç olarak düşünülürse, soğurucusoğutkan eriyiği absorberden çıkıp bir pompa vasıtasıyla, eriyik ısı değiştiricisinden geçer. Bir miktar ısınır ve soğutkan madde miktarınca zengin olan eriyik generatöre gelir. Burada dışarıdan sisteme giren ısı enerjisiyle, soğutkanın kaynama sıcaklığı karışımın kaynama sıcaklığından daha düşük olduğundan, soğutkan buharlaşarak eriyikten ayrışır. Soğutkan buharının ayrılmasıyla generatörde kalan, soğurucu akışkanca zengin eriyik, ısı değiştiricisinden geçerek absorbere geri döner. Buharlaşarak generatörü terk eden soğutkan buharı, yoğuşturucuya gider. Yoğuşturucuya giren soğutkan buharı, burada yoğuşarak sıvı haline gelir. Yoğuşturucudan çıkan soğutucu akışkan, genleşme valfinden geçerek buharlaştırıcıya ulaşır. Buharlaştırıcıda, soğutucu akışkan buharlaşarak gerekli soğutma yükünü ortamdaki çeker. Buharlaştırıcıdan çıkan soğutkan buharı, absorbere gelir. Absorbere gelen soğutkan buharı, generatörden gelen eriyik tarafından absorbe edilir. Absorbere, soğutucu akışkan miktarınca zenginleşen eriyik, bir pompa vasıtasıyla tekrar generatöre gönderilir ve çevrim böylece devam eder (Şekil 2).

Absorpsiyonlu sistemlerde amonyak-kalsiyum klorid, amonyak-su, amonyak-lityum nitrat, lityum bromid-su, sodyum, potasyum ve sezyum hidroksitlerinden oluşan üçlü karışımlar, metanol-lityum bromid, metanol-lityum klorür gibi farklı pek çok akışkan çiftleri kullanılmaktadır. Bunlardan lityum bromid-su ve amonyak-su soğurucu-soğutkan çiftleri uygulamalarda daha fazla önerilmekte ve kullanılmaktadır. Absorpsiyonlu soğutma çevrimleri tek



etkili veya çok etkili olarak tasarlanabilmektedir. Çok etkili absorpsiyonlu sistemlerinde birbirleriyle bağlantılı çalışan birden fazla absorpsiyonlu soğutma çevrimi bulunur. Yüksek sıcaklıktaki ısı girdisi ile beslenen üst çevrimden atılan ısı, alt çevrimi çalıştırmak için kullanılır [3].

Absorpsiyonlu soğutucularda farklı olarak, adsorpsiyonlu soğutucularda, soğutkanı absorbe eden eriyik yerine soğutkanı adsorbe eden katı adsorbent madde kullanılır. Adsorpsiyon, iki farklı fazdaki maddelerin ara yüzeyinde gerçekleşen yüzey olayıdır. Faz sınırlarındaki yüzey kuvvetleri katı ve akışkan madde ara yüzeyinde molekül konsantrasyonunun değişimine neden olur. Fiziksel adsorpsiyon adsorbent molekülü ve adsorbat molekülü arasındaki Van der Waals kuvveti sonucu olur. Katı adsorbent tarafından fiziksel olarak adsorbe edilen moleküller ısı uygulanarak tekrar ayrılabilir. Bu nedenle, fiziksel adsorpsiyon tersine çevrilebilir bir işlemdir. Adsorpsiyonlu soğutucularda katı fazında bulunan ve soğutkanı adsorbe/desorbe eden maddelere “adsorbent” adı verilir. Adsorbent maddenin adsorpsiyon karakteristiği sistem performansını belirleyen önemli bir etkidir ve uygulamalarda silika jel, zeolit ve aktif karbon kullanılmaktadır. Adsorpsiyonlu soğutucu uygulamalarında soğutkan olarak su, metanol, etanol ve amonyak kullanılabilir [4].

Temel adsorpsiyonlu çevrimde kullanılan ana elemanlar adsorbent yatağı, yoğuşturucu, buharlaştırıcı

## Makale

ve genişleme valfidir. Başlangıç olarak düşünülürse, düşük basınca sahip buharlaştırıcıda bulunan adsorbat ortamdan ısı çekerek buharlaşır. Ortamdan çekilen bu ısı elde edilen faydadır. Buharlaştırıcıdan çıkan adsorbat, adsorbent yatağında adsorbe edilir. Bu işlem, çevrimin adsorpsiyon kısmıdır. Adsorpsiyon sırasında dışarıya ısı atılır. Adsorpsiyon halinde bulunan adsorbent yatağına “toplayıcı” adı verilir (Şekil 1 (a)). Bu işlemin ardından, adsorbent yatağı bir ısı kaynağı ile ısıtılır ve adsorbat, adsorbent yatağı tarafından desorbe edilir. Desorpsiyon işlemi için ihtiyaç duyulan bu ısıya “regenerasyon ısı” ve desorpsiyon halinde bulunan adsorbent yatağına “üreteç” adı verilir (Şekil 1 (b)). Adsorbent yatağını terk ederek yoğuşturucuya gelen adsorbat ısını çevreye vererek yoğuşur. Sıvı adsorbat genişleme vanasından geçerek buharlaştırıcıya gelir ve temel adsorpsiyon soğutucu çevrimi tamamlanır.

Tek yataklı adsorpsiyonlu soğutucular kesintili sistemlerdir. Çünkü desorpsiyon sırasında buharlaştırıcıda soğutma olamaz. Sürekli soğutma elde edilemek için yatak sayısının artırılması gerekir. Bunun için, adsorpsiyonlu soğutucu iki adsorbent yataklı

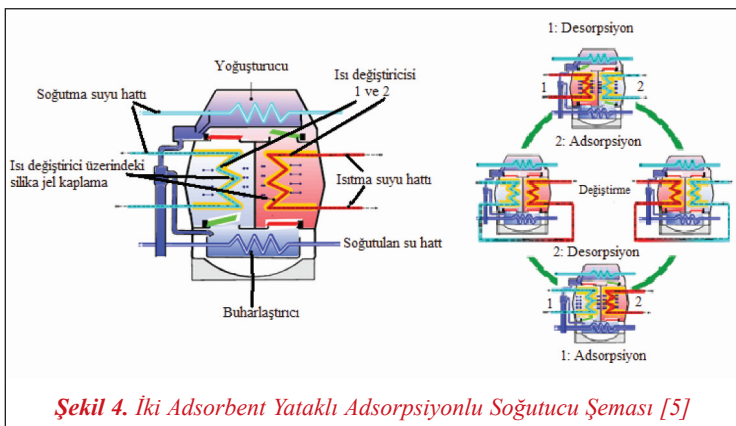
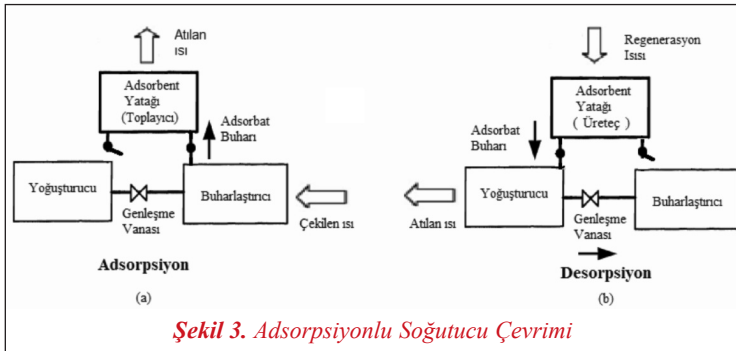
olarak tasarlanır. İki adsorbent yatağından biri üreteç görevi yaparken diğeri toplayıcı görevi yapar. Soğutulan adsorbent yatağı, adsorpsiyon halindedir ve buharlaştırıcıya bağlı olan valf buharlaştırıcıdan gelen adsorbatı yutmaya izin verecek şekilde açılırken yoğuşturucuya bağlı olan valf kapalıdır. Desorpsiyon halinde ısıtılan adsorbent yatağına yoğuşturucuya bağlı olan valf adsorbent yatağından gelen adsorbatı yoğuşturmaya izin verecek şekilde açılırken buharlaştırıcıya bağlı olan valf kapalıdır. Isıtılan ve soğutulan yataklar ve valf yönleri çevrim sonunda değiştirilerek sürekli soğutma etkisi elde edilebilmektedir. Çevrim zamanının sona ermesinden sonra adsorbent yatağındaki işlemler değiştirilir. Böylece, sürekli bir soğutma elde edilmiş olur.

### 3. ABSORPSİYONLU VE ADSORPSİYONLU SOĞUTUCU UYGULAMALARI

Sorpsiyonlu su soğutucular hava iklimlendirilmesinde ihtiyaç duyulan soğuk suyun elde edilmesinde kullanılmaktadır ve birçok farklı firma tarafından üretilmektedir. Tablo 1’de soğutucu akışkan olarak su kullanılan bazı düşük kapasiteli ticari üretim adsorpsiyonlu ve adsorpsiyonlu su soğutucu örnek-

leri verilmiştir. Sorpsiyonlu su soğutucular, güneş enerjisi ve atık ısı kullanımı ile gerçekleştirilen başarılı uygulamalar ile güvenilirliğini ve ticari değerini ortaya koymuşlardır. Sorpsiyonlu su soğutucular iklimlendirme uygulamalarında tek başına soğutma sağlayabildiği gibi başka bir sistemlere destek olacak şekilde kullanılabilir.

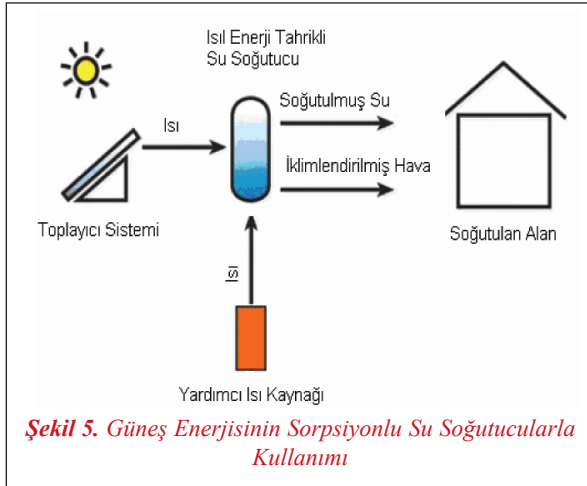
Güneş enerjili sorpsiyonlu soğutma sistemi, güneş enerjisi toplayıcısı, depolama tankı, kontrol ünitesi, borular ve pompalar ve sorpsiyonlu su soğutucusundan oluşur (Şekil 5). Sorpsiyonlu su soğutucusunun ihtiyaç duyduğu ısı enerjisi, düzlem tip veya vakum tüp güneş kolektörü ve buna yardımcı olarak fosil yakıt kullanan boylerli ısıtma sistemi sorpsiyonlu



**Tablo 1. Adsorpsiyonlu ve Absorpsiyonlu Soğutucu Ticari Ürünler [ 1, 6, 7 ]**

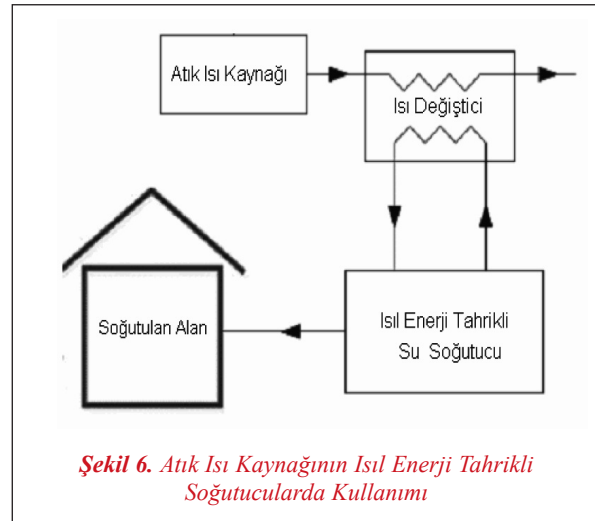
Çevrim	Adsorber/Absorber	Soğutkan	Soğutma Gücü (kW)	Isı Kaynağı Sıcaklığı (°C)	Tasarım Koşulları ve Nominal COP
Adsorpsiyon	Silika Jel	Su	70	55-90	T = 75 °C; T = 29 °C; T = 9 °C COP=0,60
Adsorpsiyon	Silika Jel	Su	67	55-95	T = 90 °C; T = 29 °C; T = 7 °C COP=0,65
Adsorpsiyon	Silika Jel	Su	15	55-90	T = 75 °C; T = 27 °C; T = 18 °C COP=0,56
Adsorpsiyon	Silika Jel	Su	7,5	55-90	T = 75 °C; T = 27 °C; T = 18 °C COP=0,56
Absorpsiyon	Lityum Bromid	Su	35	80-100	T = 87 °C; T = 30 °C; T = 9 °C COP=0,70
Absorpsiyon	Lityum Bromid	Su	15	75-95	T = 85 °C; T = 30 °C; T = 12 °C COP=0,70
Absorpsiyon	Amonyak	Su	100	> 90	T = 32 °C; T < 2 °C COP=0,64

soğutucu için ısı enerji kaynağı desteği olmakta ve kış ayında ise sistemin ısı pompası olarak çalışması durumunda yardımcı ısı enerji kaynağı görevlerini yapmaktadır.



Birçok enerji veya güç tesisindeki enerjinin büyük bir kısmı atık ısı olarak kaybolmaktadır. Son yıllarda çevreye atılan bu ısıların, aynı anda hem ısıtma hem de soğutma uygulamalarında kullanılarak değerlendirilmesi, oldukça önemli ve giderek artan bir ilgiye sahip olmaktadır. Atık ısının kullanılmasıyla tasarlanacak kombine bir güç, ısıtma ve soğutma sistemi sorpsiyonlu su soğutucuları kullanımına uygun bir potansiyele sahiptir. Sorpsiyonlu su soğutucuları bu uygulamalar için fazladan bir enerjiye de ihtiyaç

duymayacaktır. Aynı zamanda, sorpsiyonlu su soğutucuları, gıda, içecek ve kimyasal madde üretim işlemleri sırasında atık ısı ortaya çıkaran ve aynı anda soğuk su veya iklimlendirilmiş havaya ihtiyaç duyan tesislerde kullanılmaktadır. Bununla birlikte, atık ısıya benzer biçimde jeotermal ısı kaynakları da sorpsiyonlu su soğutucularının ısı kaynağı olarak kullanılabilir (Şekil 6).



#### 4. ABSORPSİYONLU VE ADSORPSİYONLU SOĞUTUCU PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Absorpsiyonlu ve adsorpsiyonlu soğutucuların performans değerlendirilmesi sistem güvenilirliği,

## Makale

verimliliği, kapasitesi ve maliyeti değerlendirme kriterlerine göre yapılmıştır. Değerlendirmede aynı soğutkanı kullandıkları ve çalışma değerleri birbirine yakın olduğu için Su-Lityum Bromid ve Su-Silika Jel adsorpsiyonlu ve adsorpsiyonlu soğutucular ele alınmıştır.

### 4.1. Sistem Güvenilirliği

Bir sistemin sürekli olarak devrede kalabilme derecesi onun güvenilirliği ve uygulanabilirliği açısından önemlidir. İncelenen adsorpsiyonlu ve adsorpsiyonlu soğutucularda soğutkan olarak su kullanılmaktadır. Su kolayca elde edilebilen, ekonomik ve doğaya zararı olmayan bir maddedir. Ayrıca, gizil ısı oldukça yüksek olup (5 °C sıcaklıkta 2490 kJ/kg) soğutma için oldukça avantajlıdır. Buna karşılık, sistem güvenilirliğini etkileyen iki önemli dezavantaj içermektedir. Bunlardan birincisi suyun 0 °C altı sıcaklıklarda donma riskidir. Diğer bir dezavantajı da suyun soğutkan olarak kullanılabilmesi için ortam basıncının vakum halinde olması zorunluluğudur. Bu durum, sisteme dışarıdan hava sızıntısı tehlikesini doğurmaktadır.

Absorpsiyonlu soğutucularda kullanılan LiBr, karışım kütle oranının %70'den daha az olduğunda su içinde çözünebilir. LiBr kütle oranının yüksek olması durumunda sistem içinde LiBr kristalleşmesi ortaya çıkacak ve bu durum adsorpsiyonlu soğutucuya zarar verebilecektir. Bu risk faktörü, absorberin maksimum sıcaklığını sınırlamaktadır. Sıcaklık seviyelerinin iyi kontrol edilememesi veya çalışma şartlarındaki hızlı değişim kristalleşme sorunu ortaya çıkarabilecektir. Bunun için sistemde ısı atım tasarımının uygun ve dikkatli yapılması gerekmektedir. Adsorpsiyonlu soğutucularda kristalleşmeyi engellemek için kontrol mekanizmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu da sistem güvenilirliğini azaltmaktadır. Adsorpsiyonlu soğutucularda böyle bir kristalleşme problemi yoktur. Ancak, adsorpsiyonlu soğutucularda, sıcak su sıcaklığının en fazla 90 °C olması tavsiye edilir. Bu sıcaklık üzerindeki sıcaklık kaynağında pompa emişinde suyun aniden buharlaşarak pompaya zarar verme riski bulunmaktadır [1].

Hareketli ve aşırı güç çeken sistemler güvenilirlik açısından bir risktir. Adsorpsiyonlu ve adsorpsiyonlu

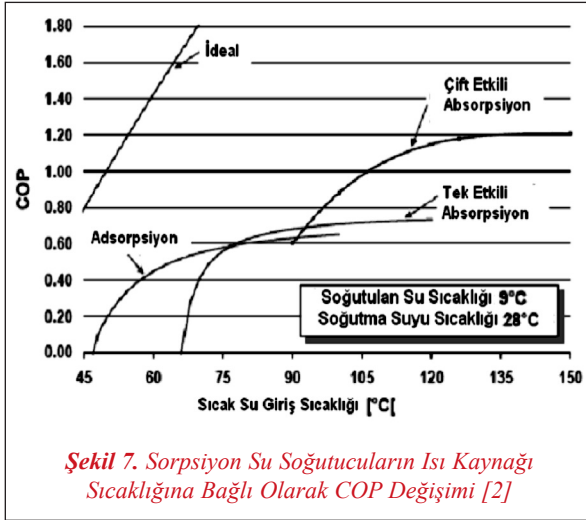
soğutucularda hareketli parça olarak sadece pompalar kullanılmaktadır ve düşük elektrik güçleriyle çalışmaktadır. Ancak, adsorpsiyonlu soğutucularda sürekli çalışması gereken bir eriyik pompası bulunmaktadır. Buna karşılık, adsorpsiyonlu soğutucularda sürekli çalışması gereken bir pompa yoktur. Bununla birlikte, adsorpsiyonlu soğutucularda adsorbent yatağını adsorpsiyon sırasında soğutan ve desorpsiyon sırasında ısıtılabilmesi için soğuk ve sıcak su dolaşımı arasında sistemin karmaşıklığını arttıran hidrolik çevrim kullanılmaktadır. Ancak, adsorpsiyonlu soğutucularda 3-yollu kontrol valfleri kullanırken, adsorpsiyonlu soğutucularda daha basit yapıda çalışan kelebek valfleri kullanılmaktadır.

Absorpsiyonlu soğutucular içinde çözünmemiş oksijen bulunması halinde, suyla karışmış lityum bromid, çelik ve bakır dâhil birçok metal için oldukça korosif bir etki gösterir. Adsorpsiyonlu soğutucular hava geçirmez olarak imal edildiklerinden korosif etkisi düşük kalabilmektedir. Buna rağmen, sistemlerin uzun yıllar kullanılacağı göz önüne alınarak, oluşabilecek korosif etkiyi azaltmak için korozyon azaltıcı maddeler kullanılmaktadır. Bu durum, LiBr-inhibitor konsantrasyon değişiminin belirli aralıklarla kontrolünü ortaya çıkarır. Alınan tüm önleyici tedbirlere rağmen, adsorpsiyonlu soğutucularda var olan korozyon problemi sistem güvenilirliğini olumsuz etkileyecektir. Adsorpsiyonlu soğutucular ise bu konuda oldukça güvenilir olup korozyon problemi ortaya çıkarmamaktadır [8].

Uygulamalarda, adsorpsiyonlu su soğutucular 60-90 °C sıcaklıklarındaki ısı kaynaklarıyla, tek etkili adsorpsiyonlu soğutucular ise 80-120 °C sıcaklık aralıklarında çalışmaktadır. Adsorpsiyonlu soğutucular COP değerlerin düşmesine rağmen 50 °C sıcaklıkta dahi çalışabilmektedir. Adsorpsiyonlu soğutucularda ise, uygulamalarda, sıcak su sıcaklığı 80 °C altına düştüğünde otomatik kapatma özelliği bulunmaktadır. Bununla birlikte, adsorpsiyonlu soğutucularda yaşanabilecek kristalleşme nedeniyle soğutma suyu en düşük 22 °C olması gerekirken, adsorpsiyonlu soğutucularda böyle bir sınır bulunmamaktadır. Bunun aksine, soğutma suyu sıcaklığı düştükçe sistem kapasitesi ve verimliliği artmaktadır.

#### 4.2. Sistem Verimliliği

Uygulamalarda absorpsiyonlu soğutucuların, adsorpsiyonlu soğutuculara göre biraz daha fazla COP değerine sahip olduğu görülmektedir. Şekil 7’de verildiği gibi absorpsiyonlu soğutucu çevrimlerinde 80-100 °C sıcaklık altında COP değerleri 0.60-0.75 arasında değişmektedir. Adsorpsiyonlu soğutucular 60-100 °C sıcaklıklarında 0.50-0.65 değerleri arasındadır. Adsorpsiyonlu su soğutucular 80 °C düşük sıcaklıklarda düşük sıcaklıklarda verimlilikleri absorpsiyonlu soğutuculara göre daha yüksektir. Adsorpsiyonlu soğutucuların COP değeri sıcak su giriş sıcaklıklarından daha az etkilenirler. Örneğin, sıcak su sıcaklığının 90 °C’den 70 °C’ye düşmesi durumunda sistemin COP değeri 0,70’ten 0,50 mertebelerine düşmektedir.



Şekil 7. Sorpsiyon Su Soğutucuların Isı Kaynağı Sıcaklığına Bağlı Olarak COP Değişimi [2]

#### 4.3. Sistem Kapasitesi

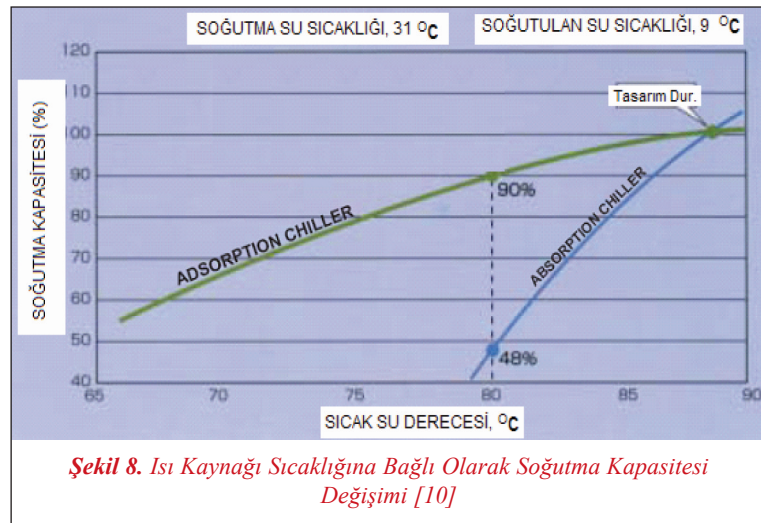
Adsorpsiyonlu soğutucuların mevcut uygulamalarda soğutma kapasiteleri 7,5-500 kW arasında değişmektedir. Buna karşılık absorpsiyonlu soğutucu kapasiteleri 35-5800 kW arasında olabilmektedir. Adsorpsiyonlu soğutucular adsorpsiyonlu soğutuculara göre daha büyük kapasitelerde üretilebilmektedir. Adsorpsiyonlu soğutucuların en önemli dezavantajı soğutma kapasitesine göre ağırlığının fazla olmasıdır. Mevcut ticari uygulamalarda adsorpsiyonlu soğutucuların birim

soğutma yüke göre ağırlık oranı 30-84 kg/kW aralığındadır. Buna karşılık, absorpsiyonlu soğutucular birim soğutucu yüke göre ağırlık oranı 8,5-22 kg/kW aralığındadır. Kapasite ağırlık oranı açısından absorpsiyonlu soğutucular daha iyi performans göstermektedir [9].

Şekil 8’de görüldüğü gibi ısı kaynağı su sıcaklığının 88 °C’den 80 °C’ye düşmesi halinde adsorpsiyonlu soğutucularda 88 °C’de % 100 olan soğutma kapasitesi oranı, 80 °C’de % 90 seviyesine düşerken, aynı durumdaki adsorpsiyonlu soğutucuda soğutma kapasitesi oranı % 48 seviyesine düşer. Isı kaynağı su sıcaklığının 80 °C’den 70 °C’ye düşmesi durumunda ise adsorpsiyonlu soğutucu soğutma kapasitesi oranı % 65 seviyesine düşmektedir. Adsorpsiyonlu soğutucu ise böyle bir durumda sistem devreden çıkmaktadır. Bu durum, adsorpsiyonlu soğutucu soğutma kapasitesinin kararlılığını gösterir. Adsorpsiyonlu su soğutucular, absorpsiyonlu su soğutuculara göre ısı kaynağı su giriş sıcaklığındaki olası düşüşlerden daha az etkilenirler. Güneş enerjili ve atık ısı uygulamalarında ısı kaynağı sıcaklık düşüşleri olabileceğinden adsorpsiyonlu soğutucular bu uygulamalarda daha iyi performans sergilerler.

#### 4.4. Sistem Maliyeti

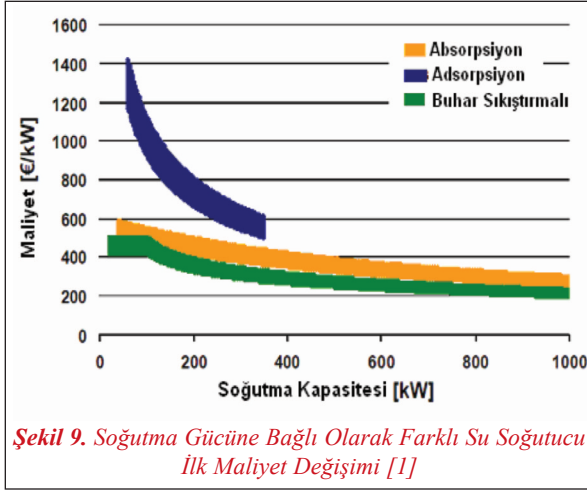
Adsorpsiyonlu su soğutucular absorpsiyonlu su soğutuculara göre ilk maliyetleri daha yüksektir. Bunun en önemli nedeni sınırlı sayıda üretici firmanın olmasıdır. Adsorpsiyonlu soğutucuların özellikle



Şekil 8. Isı Kaynağı Sıcaklığına Bağlı Olarak Soğutma Kapasitesi Değişimi [10]

## Makale

küçük kapasitelerde kW başına soğutma maliyeti çok daha fazladır (Şekil 9).



Şekil 9. Soğutma Gücüne Bağlı Olarak Farklı Su Soğutucu İlk Maliyet Değişimi [1]

Adsorpsiyonlu soğutucuların ilk maliyetlerinin yüksek olmasına karşın işletme ve bakım masrafları oldukça düşüktür. Adsorpsiyonlu soğutucuların bakımı basittir. Günlük bakım ihtiyacı yoktur. Vakum ve su pompası dışında hareketli parçası yoktur. 500 kW soğutma yükü kontrol ve iki küçük pompa için sadece 0,4 kW elektrik enerjisi tüketmektedir. Kontrol olarak bir kontrol paneli ve selonoid valfler vardır. Pompalarda biri vakum pompasıdır ve yoğuşmayan gazların sistem içinden atılması için kullanılır. Bu pompalar sistem çalışmasından ve gün aşırı 1 saat kullanılır. İkinci pompa ise su pompasıdır ve sadece suyun boşaltılması sırasında kullanılır. Bakım maliyetleri düşüktür. Bakım olarak sadece vakum pompasının yağ seviyesinin kontrolü ve her üç yılda kelebek valf yataklarının değişimi vardır [10].

Absorpsiyonlu su soğutucularında da fazla hareketli parça olmamasına rağmen kimyasal olayları da içeren daha karmaşık bir yapısı vardır ve işletmesi zordur. Birçok bakım ve kontrol gereksinimi olduğundan bakım maliyetleri yüksektir. Adsorpsiyonlu soğutucularda periyodik olarak absorbe edilemeyen gazın sistemden alınması, korozyon engelleyici ve pH düşürücü maddelerin eklenmesi, su-LiBr eriyiği konsantrasyonunun gözlenmesi bakımları vardır. Adsorpsiyonlu soğutucunun bakımı iyi yapılırsa dahi 2,5-3 yıl sonra ısı değiştirici boru demetlerinin korozyon nedeniyle değişimi gerekecektir[11].

Adsorpsiyonlu soğutucuların, absorpsiyonlu soğutuculara oranla kullanım ömrü 10 yıl daha uzundur ve 20 yıl olarak öngörülmektedir. Kullanım ömrü içinde silika jel değişim ihtiyacı doğurmamaktadır. Buna karşın, absorpsiyonlu soğutucularda 4-5 yıl içinde LiBr değişimi gerekmektedir. Adsorpsiyonlu soğutucuların ısı kaynağı sıcaklığı 85 °C altına düştüğünde destek ısı kaynağı kullanılmaktadır. Bu da alternatif enerji yerine fosil yakıt tüketimini ve işletim maliyetlerini arttırmaktadır [10].

## SONUÇ

Absorpsiyonlu ve adsorpsiyonlu soğutucular temel prensip olarak birbirine benzese de çalışma özellikleri ve performans açısından birbirinden farklılıklar gösterir. Adsorpsiyonlu soğutucular sistem güvenilirliği açısından absorpsiyonlu soğutuculara göre oldukça iyidir. Adsorpsiyonlu ve absorpsiyonlu soğutucuların verimlilik değerleri birbirine yakındır. Ancak, düşük sıcaklıktaki kaynaklarda absorpsiyonlu soğutucular kullanılmamakta veya verimlilik değerleri düşmektedir. Yüksek sıcaklık kaynaklarında absorpsiyonlu soğutucunun verimliliği daha iyidir.

Absorpsiyonlu soğutucularda çok daha fazla üretici firma bulunmakta ve daha yaygın kullanılmaktadır. Birkaç üretici firma bulunması ve daha pahalı olması nedeniyle adsorpsiyonlu soğutucular absorpsiyonlu soğutuculara göre ilk maliyet açısından dezavantajlı durumdadır. Ancak, adsorpsiyonlu soğutucu kullanımının yaygınlaşması ve seri üretilmesi halinde sistemi oluşturan bileşenlerin az olması nedeniyle ilk maliyetlerinde yüksek oranda azalma potansiyeline sahip olduğu değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, adsorpsiyonlu soğutucuların bakım ve işletme giderleri çok düşüktür. Basit bir bakımı vardır. Buna karşılık, absorpsiyonlu soğutucuların bakım giderleri yüksektir ve işletmesi daha zordur.

Ülkemizde absorpsiyonlu su soğutucular iklimlendirme uygulamalarında kullanılmakta ve daha çok tanınmaktadır. Ancak, yüksek ilk maliyetlerine rağmen adsorpsiyonlu soğutucular sağlam yapısı, kolay kurulumu, işletme kolaylığı ile absorpsiyonlu soğutuculara göre daha avantajlıdır. Adsorpsiyonlu soğutucuların, absorpsiyonlu soğutuculara göre daha avantajlıdır. Adsorpsiyonlu soğutucuların, absorpsiyonlu soğutuculara göre daha avantajlıdır.



tucularla kristalleşme, sağlığa zararlı madde sızıntısı sorunları bulunmamaktadır. Bütün bunlar, adsorpsiyonlu soğutucuları endüstriyel hava iklimlendirmesi, işlem soğutulması ve atık ısı geri kazanımı uygulamalarında iyi bir alternatif yapmaktadır.

Adsorpsiyon teknolojisine sahip soğutucular, absorpsiyonlu soğutuculara göre daha yeni bir teknolojiye sahiptir. Gelişen teknoloji ile birlikte büyük gelişim gösterme potansiyeline sahiptir. Bu nedenle, malzeme, ısı ve kütle transferi, bileşen ve makine gelişimi konularında araştırma ve geliştirme faaliyetlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Üreticilerin ve araştırmacıların bu konuya eğilerek adsorpsiyonlu soğutucu teknolojisinin ülkemize kazandırılması gerekmektedir.

#### KAYNAKLAR

- [1] ALTENER Project, Project Report, Technical Overview of Active Techniques, Project Number 4.1030/Z/02-121/2002.
- [2] HENNING, H.M, Technical Report, Solar Assisted Air Conditioning of Buildings – An Overview, Heat SET 2005, Grenoble-France, 2005.
- [3] ŞENCAN, A., Doktora Tezi, Atık Isı ile Çalışan Adsorpsiyonlu Sistemlerin Modellemesi, Ekserji Analizi ve Optimizasyonu, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2004.
- [4] WANG, L.W., WANG, R.Z. and OLIVERIA R.G., A Review on Adsorption Working Pairs For Refrigeration, Renewable and Sustainable Energy Reviews,13:518-534p, 2009.
- [5] Adsorption Chiller Nak GBU Technical Description, <http://smartenergy.arch.uiuc.edu/pdf/clearinghouse/adsorption%20chiller.pdf>
- [6] JAKOP U. and SAULICH S., “Development an investigation solar cooling systems based on smallscale sorption heat pumps”, Eurosun 2008; Lisbon-Portugal, 2008.
- [7] SOLAIR, Technical Report, Best Practise Catalogue on Successful Running Solar Air Conditioning Appliances, 2008
- [8] NÚÑEZ,T., Final Report, Technology and Literature Review, Polygeneration with advanced small and medium scale thermally project, Germany, 2010.
- [9] SIX, R., POIZE, N. and MESMAIN, J., Technical Report, Meeting cooling demands in Summer by Applying Heat from cogeneration Technology Report, France, 2007.
- [10] ICOGEN,S,A, Brochure, Stop The Global Warming And Save The Great Ocean Conveyor Belt With Adsorption Chiller, [www.icogen-sa.com](http://www.icogen-sa.com) .
- [11] LYTCHKE-JØRGENSEN, C.E. and STUBKIER, S., Project Report, Waste-heat Based Cooling, Denmark Technical University, Denmark, 2009.