

ADSORPSİYONLU ISI POMPALARI

Hasan DEMİR
Moghtada MOBEDİ
Semra ÜLKÜ

ÖZET

Bu çalışmada ısı pompalarının genel tanımı, çalışma prensibi ve tipleri özetlenmiş olup, adsorpsiyon ısı pompalarının tarihçesi, çalışma prensibi ve sistemin uygulama alanları aktarılmıştır. Adsorpsiyonlu sistemin avantaj ve dezavantajları diğer ısı pompalarıyla kıyaslanmıştır. Literatürdeki çalışmalar ve endüstriyel uygulamalar anlatılmıştır.

Anahtar Sözcükler : Isı pompası, termal ısı pompası, adsorpsiyonlu ısı pompası, ısı geri kazanımı, enerji depolama

ABSTRACT

In this study, a general information about heat pumps and their types is given. Adsorption heat pump which is a thermally driven heat pump and gains attentions in recent years is studied. The principle of working, components, application areas, advantages and disadvantages of this type of heat pumps are discussed.

Keywords : Heat pump, thermal heat pump, adsorption heat pump, heat recovery, energy storage

1. GİRİŞ

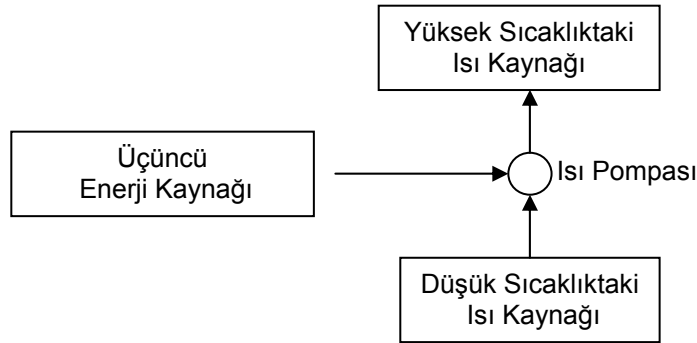
Carnot, buharlı güç çevriminin ters çalıştırılması ile ısının çevreden alınıp, yüksek sıcaklık bölgesine transfer edilebileceğini farketmiş; ancak, bu prensibe dayanan ısı pompalarının pratikte uygulanabilirliği fikri ilk defa William Thompson (daha sonra Lord Kelvin) tarafından ortaya atılmış (1852); belirgin bir şekilde uygulama alanına girmesi ise II. Dünya Savaşından sonra olmuştur [1]. Isı pompaları kullanılan enerji şekline göre, mekanik ve termal enerji ile tahrik edilen ısı pompaları olmak üzere iki ana grupta toplanabilmektedir. Klasik buhar sıkıştırımlı ısı pompaları ilk grup içinde yer almaktadır. Bilindiği gibi mekanik ısı pompaları genellikle birincil enerji kaynaklarından (kömür, fuel oil,...) yararlanılarak üretilen elektrik enerjisini mekanik güce dönüştürerek çalışmaktadır. Gerek sanayide ve gerekse günlük yaşamda ısıtma ve soğutmanın öneminin artmasından dolayı, ısı pompalarının toplam enerji sarfiyatındaki payı hızlı bir şekilde artmaktadır ve birincil enerji kaynaklarının azalmasında önemli rol oynamaktadır [2]. Bu nedenle enerjiyi daha verimli kullanılarak, atık ısıların değerlendirilmesi ve alternatif termal enerjiden (güneş, jeotermal,...) daha çok faydalanılması kaçınılmaz hale gelmiştir. Son yıllarda enerji tasarrufunda büyük avantajlar sağlayan termal ısı pompaları üzerine çalışmaların yoğunlaşması, bu tip ısı pompalarının ileride çok yaygın olarak kullanılabileceğinin bir göstergesidir. Özellikle atık ısı kaynakları, güneş enerjisi, jeotermal enerjisi veya herhangi bir ısı kaynağı doğrudan kullanılarak soğutma işleminin sağlanabilmesi bu tip ısı pompalarını cazip hale getirmiştir. Bu tip sistemler, enerjiyi depolayabilme ve daha sonra kesikli olarak kullanabilme imkanı yaratmasından dolayı da uygulama avantajı sağlamaktadır.

Termal enerji ile tahrik edilen ısı pompaları da kendi aralarında absorpsiyonlu ve adsorpsiyonlu ısı pompaları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Adsorpsiyonlu ısı pompaları, absorpsiyonlu ısı pompaları gibi, eski bir geçmişe sahiptir. Adsorpsiyonlu ısı pompalarının çevrimi ilk defa Faraday tarafından tanımlanmıştır (1848). Ancak, kompresörlü ısı pompalarının sahip olduğu büyük pazar hacminden ve COP değerlerinin yüksek olmasından dolayı, uzun bir süre araştırılmamıştır. Son yirmi yılda, özellikle ısı kaynaklarının diğer enerji tiplerine çevrilmeden direkt olarak kullanılması, cihazların birincil enerji veriminin artırılması ve atık ısıların değerlendirilmesi konularının önem kazanması ile, adsorpsiyonlu ısı pompaları tekrar gündeme gelmiştir. Günümüzde, çeşitli ülkelerde adsorpsiyonlu ısı pompaları üzerine yapılan yoğun çalışmalar sonucunda, bu tip ısı pompaları ticari değer kazanabilmiş ve ürün olarak pazara sunulmuştur. Her ne kadar, adsorpsiyonlu ısı pompalarının temeli ısı pompası teorisine dayanıyorsa da, çalışma prensibi açısından buhar sıkıştırılmalı ve absorpsiyonlu ısı pompalarından oldukça farklıdır. Literatürde geçen bir başka ısı pompası da kimyasal ısı pompalarıdır. Kimyasal ısı pompaları pratikte uygulanabilirliğinin zor olmasından ötürü bu makalede incelenmemiştir [2].

2. ISI POMPALARI

Isı pompaları, düşük sıcaklıktaki bir ısı kaynağından, daha yüksek sıcaklıktaki bir ısı kaynağına ısı geçişinin gerçekleştirildiği termodinamik sistemlerdir. Şekil 1'de ısı pompalarının genel çalışma prensibi gösterilmektedir. Termodinamiğin II. yasasından da bilindiği gibi düşük sıcaklık kaynağından yüksek sıcaklık kaynağına ısı geçişi ancak bir üçüncü enerji kaynağının varlığı ile mümkün olabilmektedir. Isı pompaları tek bir cihaz olarak hem ısıtma, hem de soğutma amaçlı kullanılabilirliği, geleneksel yöntemlere göre daha işlevsel oluşu, enerji tüketiminde önemli ölçüde tasarruf sağlaması, kompakt yapıya sahip olması, yüksek kontrol teknolojilerine uyum göstermesi ve benzeri avantajlarından ötürü son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Isı pompaları yukarıda da belirtildiği gibi üçüncü enerji kaynağının çeşidine göre ikiye ayrılmaktadır; mekanik enerji ve termal enerji ile çalışan ısı pompaları. Termal enerji ile çalışan ısı pompaları da kendi aralarında ikiye ayrılırlar: Adsorpsiyonlu ve absorpsiyonlu ısı pompaları.



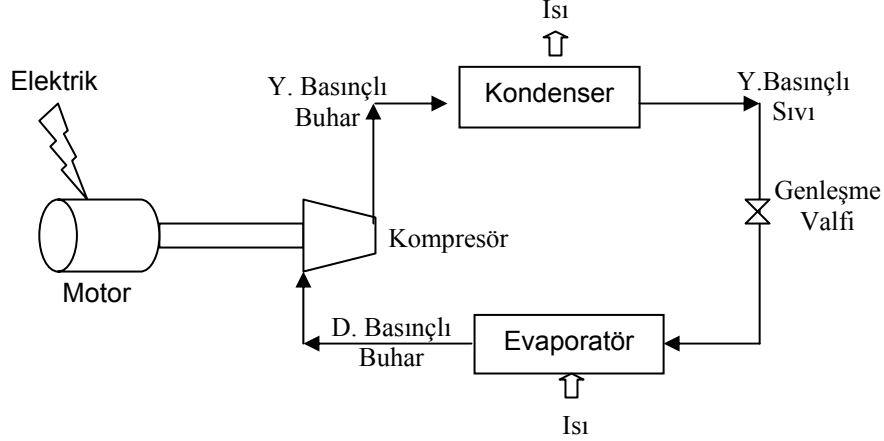
Şekil 1: Isı pompasının genel çalışma prensibi

2.1. Mekanik Tahrikli Isı Pompaları

2.1.1. Buhar Sıkıştırılmalı Isı Pompaları

Buhar sıkıştırılmalı ısı pompaları ana hatları ile kompresör, genleşme valfi ve iki adet eşanjörden (evaporatör ve kondenser) meydana gelmektedir. Şekil 2'de buhar sıkıştırılmalı ısı pompasının ana elemanları gösterilmektedir. Çalışma akışkanı veya bilindiği adıyla refrigerant bu dört parça içinde çevrim yapar. Evaporatörde, çalışma akışkanının sıcaklığı ısı kaynağının sıcaklığının altında tutulur. Böylece evaporatördeki çalışma akışkanının ısı kaynağından ısı alarak buharlaşması sağlanır. Buhar kompresörde yüksek basınca ve sıcaklığa sıkıştırılır. Sıcak buhar kondensere girer ve yoğunlaşarak

ısıyı dışarı verir. Son olarak yüksek basınçlı çalışma akışkanı genişleme valfında genişletilerek evaporatör basınç ve sıcaklığına getirilir. Çalışma akışkanı ilk durumuna dönmüş olur ve tekrar evaporatöre girer. Kompresör genellikle elektrik motoru veya bazen de yanmalı motorlar ile çalışır [3].

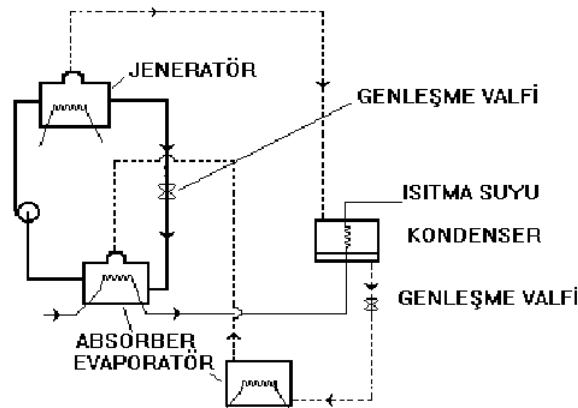


Şekil 2: Buhar sıkıştırımlı ısı pompası

2.2. Termal Enerji Tahrikli Isı Pompaları

2.2.1. Absorpsiyonlu Isı Pompası

Şekil 3'de absorpsiyonlu sistemin temel hatları gösterilmektedir. Absorpsiyonlu sistemlerde çalışma akışkanı, genellikle iki farklı akışkandan (Amonyak-su, LiBr-su vb.) oluşmaktadır. Çalışma akışkanı yüksek basınç ve sıcaklıkta jeneratörde ısıtılmakta buharlaşma sıcaklığı düşük olan akışkan (Amonyak, LiBr...) buharlaştırılarak kondensere aktarılmaktadır. Kondenserde yoğunlaşan buhar, genişleme ventiline genişletilerek evaporatöre aktarılmakta ve burada düşük sıcaklık ve basınçta tekrar buharlaştırılmaktadır. Evaporatörde buharlaşan akışkan (Amonyak, LiBr...) absorberde jeneratörden gelen zayıf uçucu madde çözeltisi (örneğin, amonyakça fakir su çözeltisi) içinde absorplanmaktadır. Elde edilen kuvvetli çözelti ise jeneratöre geri pompalanmakta ve çevrim tamamlanmaktadır. Şekil 3'de basit bir absorpsiyonlu ısı pompası olup, sistemin verimini arttırmak için jeneratör-absorber ve evaporatör-kondenser arasında ısı değiştirgeçleri kullanılabilir. Ayrıca son yıllarda üretici firmalar tarafından uygulanan çeşitli yöntemler sayesinde sistemin verimi arttırılmıştır [3,4].



Şekil 3: Absorpsiyonlu ısı pompası

2.2.2. Adsorpsiyonlu Isı Pompası

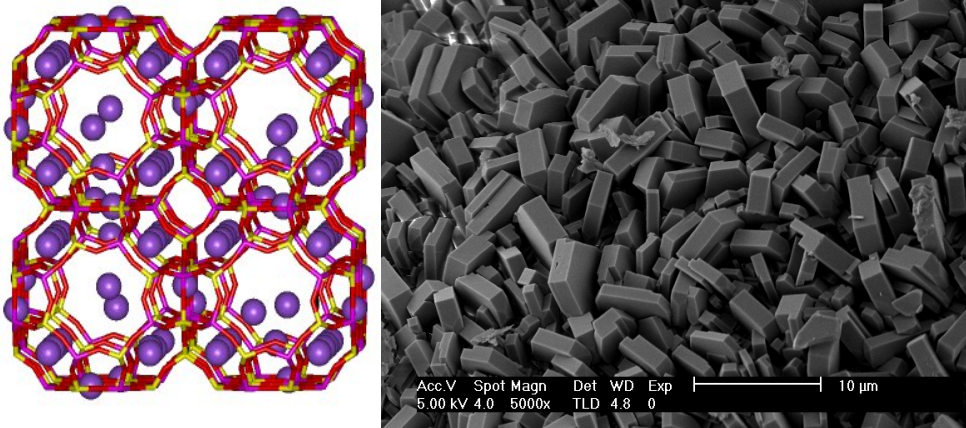
Adsorpsiyonlu ısı pompası çevrimleri ilk defa Faraday tarafından tanımlanmış (1848); ticari amaçlı soğutucu (veya ısı pompası) teşebbüsü ise 1920'de başlamıştır. Adsorpsiyonlu ısı pompaları enerji kaynaklarının türü ve çevrim süresince gerçekleşen fiziksel olaylar açısından adsorpsiyonlu ısı pompaları ile benzerlikler göstermesine rağmen, iki ısı pompası arasında belirgin farklılıklar vardır. Adsorpsiyon bir sıvı/gaz akışkanın diğer bir sıvı/katı maddenin içine difüzyonu olarak tanımlanmaktadır. Adsorpsiyon ise bir gazın/sıvının, sıvı/katı haldeki bir başka maddenin yüzeyi ile fiziksel veya kimyasal etkileşme olayıdır. Adsorpsiyonlu ısı pompasının çalışma prensibi tamamen adsorpsiyon olayına dayanmaktadır. Bu sebeple adsorpsiyon kavramının iyi anlaşılması önemlidir [5-9].

2.2.2.1 Adsorpsiyon

Yukarıda da belirtildiği gibi gaz veya buhar/sıvı adsorpsiyonu katı veya sıvı haldeki başka bir maddenin yüzeyine kimyasal ya da fiziksel etkileşme sonucunda tutunması olarak tanımlanmaktadır. Gaz fazdaki maddeye adsorbat, tutan katı veya sıvı haldeki maddeye de adsorbent denilmektedir. Adsorpsiyon, tanımından da anlaşıldığı gibi, fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon olarak ikiye ayrılmaktadır. Kimyasal adsorpsiyon da adsorbat, adsorbent yüzeyine kimyasal bağ (kovalent bağ) ile tutunur. Kimyasal adsorpsiyon reaksiyonunun en önemli özelliği endotermik ve genellikle tersinmez oluşudur, yani desorpsiyon olayı gerçekleşmez. Burada desorpsiyonu tanımlamak gerekirse desorpsiyon; adsorplanan adsorbatın adsorbent yüzeyinden uzaklaşma olayıdır. Fiziksel adsorpsiyon ise adsorbatın, adsorbent yüzeyine fiziksel bağlar (Van der Waals, dipol-dipol etkileşmesi gibi) ile tutunmasıdır. Fiziksel adsorpsiyon ortam sıcaklığının artışı ile ters orantılı olarak azalmaktadır ve reaksiyon tersinirdir. Adsorpsiyonlu ısı pompalarında kullanılan adsorbent-adsorbat çiftleri arasında gerçekleşen adsorpsiyon, fiziksel adsorpsiyondur.

Fiziksel adsorpsiyon işleminde, adsorbatın adsorplanması sırasında reaksiyonun ekzotermik olması dolayısıyla açığa ısı çıkar. Söz konusu bu ısıya adsorpsiyon ısısı denir.

Yaygın olarak bilinen adsorbentlere örnek olarak silika jel, aktif karbon, zeolit gibi maddeleri sayabiliriz. Adsorpsiyonlu ısı pompalarında sıklıkla kullanılan adsorbatlarda su buharı, metanol ve amonyağı örnek verebiliriz. Adsorbent maddenin fiziksel yapısı adsorpsiyon üzerinde oldukça fazla etkilidir. Şekil 4'te klinoptilolit doğal zeolit adsorbentinin elektron taramalı mikroskopta 5000 misli büyütme sonucunda alınmış fotoğrafı ve kimyasal iskeleti gösterilmektedir. Zeolitler alkali ve toprak alkali elementlerin kristal yapıya sahip sulu alüminyum silikatlarıdır. Genel kimyasal formülleri $M_{x/n}[(AlO_2)_x(SiO_2)_y]_2H_2O$ olan zeolitlerin (M, yapıya bağlı katyonları göstermektedir) çok farklı doğal ve yapay çeşitleri bulunmaktadır. 3-10 Å mertebesinde gözenekliliğe sahiptirler ve birim ağırlığa düşen yüzey alanı çok geniş (1000 m²/gr sentetik zeolit) olduğundan adsorplama kapasiteleri oldukça yüksektir. Zeolitler, ağırlıklarının yaklaşık %30'u kadar gaz adsorplayabilirler.

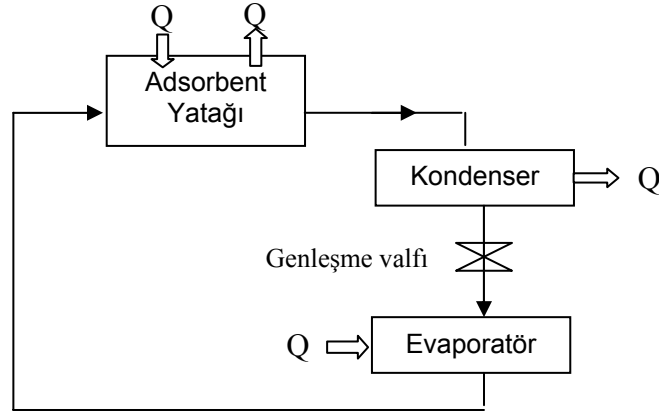


Şekil 4: Klinoptilolit doğal zeolit yapı modeli ve taramalı elektron mikroskop görüntüsü

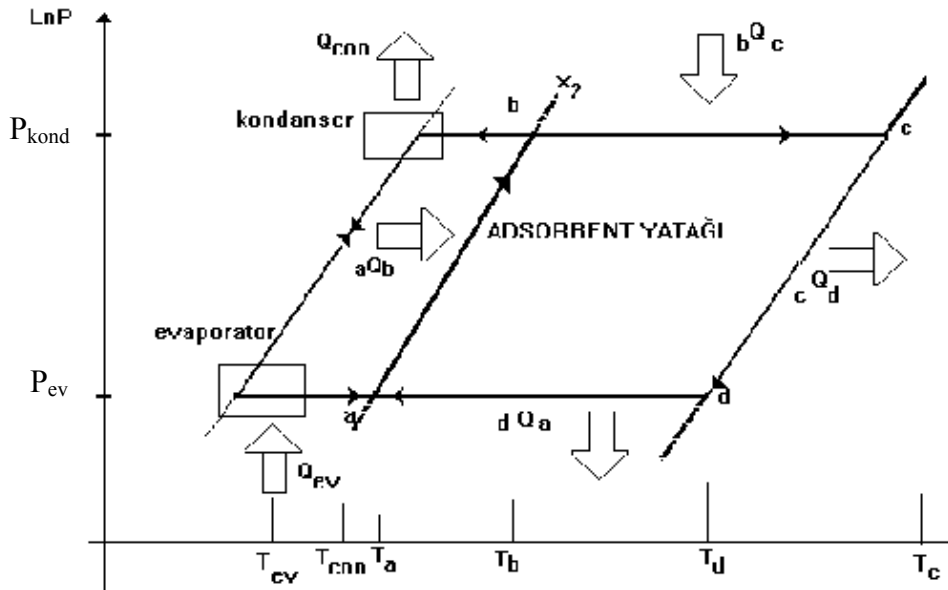
2.2.2.2 Adsorpsiyonlu Isı Pompalarının Çalışma Prensibi ve Ana Elemanları

Adsorpsiyonlu ısı pompaları, adsorbent, adsorbent yatağı, kondenser, evaporatör, genişleme vanası ve adsorbattan oluşmaktadır (Şekil 5). Bu tip pompalar, basit çalışma prensibine sahip olup, termal enerji ile çalışmaktadır. Soğutma periyodunda evaporatörde bulunan adsorbat çevreden ısı çekerek buharlaşmakta, adsorbent yatağında kuru durumda bulunan adsorbent tarafından adsorplanmaktadır. Yoğuşma sırasında ise, adsorbent yatağına transfer edilen ısı ile adsorbat desorbe edilip, adsorbent yatağına terk etmekte ve kondenserde çevreye ısı bırakarak yoğuşmaktadır. Kondenserde yoğuşan adsorbat daha sonra genişleme vanasından geçirilerek evaporatöre aktarılmaktadır.

Şekil 6'da adsorpsiyonlu ısı pompasının teorik çevrimi adsorbent-adsorbat çiftinin izoster grafiği üzerinde gösterilmiştir. İzoster grafiği, sabit miktarlardaki adsorplanmış adsorbatın basıncının sıcaklığa göre değişimini gösterir. İzoster grafiğinin, adsorpsiyonlu ısı pompası tasarımı esnasında, sistemin çalışma sıcaklıklarına bağlı olarak adsorbent-adsorbat çiftlerinin seçiminde ve sistemin teorik performans katsayısının hesaplanmasında büyük faydası vardır. İzoster grafiği genellikle yatay ekseni ($-1/T$) ve dikey ekseni ($\ln P$) olarak çizilmektedir.



Şekil 5: Adsorpsiyonlu ısı pompası



Şekil 6: Adsorbent - adsorbat çiftinin izoster grafiği

Şekil 6'daki lnP-1/T diyagramında da görüldüğü gibi adsorpsiyonlu ısı pompası çevrimini dört ayrı işlem şeklinde tanımlamak mümkündür.

- **İzosterik ısıtma işlemi, (a-b):** Adsorbent yatak sıcaklığı dışarıdan ısı girişi ile Ta'dan Tb'ye yükseltilmektedir. İşlem sırasında buhar basıncı desorpsiyon olmaksızın artmaktadır.
- **İzobarik desorpsiyon, (b-c):** Bu aşamada da adsorbent yatağına ısı girişi devam etmektedir. Ancak desorpsiyon başlamakta ve desorpsiyonla açığa çıkan buhar kondenser basıncında yoğuştuğundan basınç sabit kalmaktadır.
- **İzosterik soğutma işlemi, (c-d):** Maksimum yatak sıcaklığı Tc'ye ulaştıktan ve desorpsiyon işlemi tamamlandıktan sonra, adsorbent yatağı (evaporatör ve kondenser vanaları kapalı durumda iken) Td sıcaklığına soğutulmakta, dolayısıyla basınç düşmektedir.
- **İzobarik adsorpsiyon, (d-a):** Yataktan ısı çekilmeye devam edilmekte, evaporatörde çevreden ısı çekerek buharlaşan adsorbat, adsorbent tarafından adsorbe edilmektedir. Yatak sıcaklığının sabit basınçta Ta sıcaklığına düşmesi ile çevrim tamamlanmaktadır [10-13].

Görüldüğü gibi soğutma etkisi, izobarik adsorpsiyon işlemi (d-a) sırasında evaporatörde buharlaşan adsorbatın adsorbent tarafından adsorplanması ile oluşmaktadır. Isıtma işlemi ise izobarik desorpsiyon (b-c) sırasında adsorbent yatağını terk eden adsorbatın kondenserde yoğuşması ile meydana gelmektedir. Ayrıca c-d ve d-a işlemi sırasında adsorbent yatağından çekilen ısı ısıtma amacı ile kullanılabilir. Buna göre çevrimin ısıtma ve soğutma verimi aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\eta_{soğ} = \frac{Q_{evap}}{Q_{a-b} + Q_{b-c}} \quad (1)$$

$$\eta_{ısıtma} = \frac{Q_{kon} + Q_{c-d} + Q_{d-a}}{Q_{a-b} + Q_{b-c}} \quad (2)$$

2.2.2.3 Çift Yataklı Adsorpsiyon Sistemleri

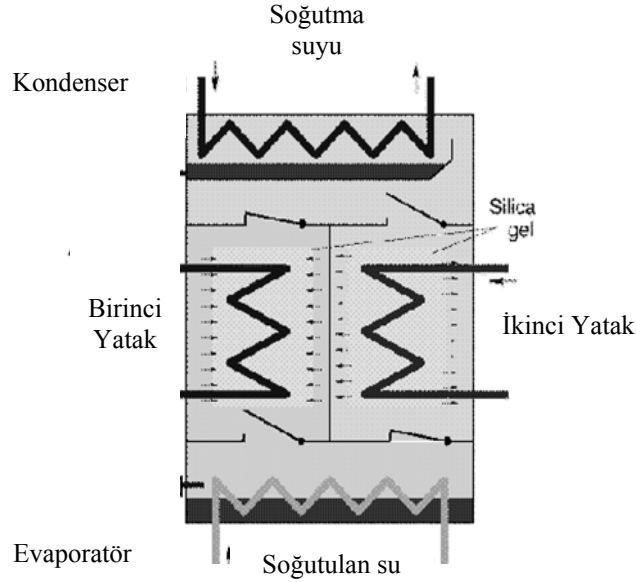
Adsorpsiyonlu ısı pompaları kesikli çalışan sistemlerdir. Evaporatörden buharlaşan adsorbat, adsorbent tarafından adsorplanırken kondenserde herhangi bir işlem yapılmamaktadır. Adsorbatın kondenserde yoğuşması sırasında ise evaporatörde bir işlem gerçekleşmemektedir. Bu sebeple adsorpsiyonlu ısı pompalarında belki en önemli dezavantajın kesikli çalışmasıdır. Çift yataklı adsorpsiyonlu ısı pompaları bu sorunu gidermektedir. Şekil 7'de bir üretici firma tarafında geliştirilen çift yataklı adsorpsiyon ısı pompası gösterilmiştir. Görüldüğü gibi birinci adsorbent yatağında adsorpsiyon işlemi tamamlandığında (d-a), adsorbent yatağının evaporatörle olan ilişkisi kesilir ve ısıtma işlemi başlar aynı anda da diğer yatağın evaporatörle olan bağlantıları açılır ve sistemin sürekli çalışması sağlanmış olur.

2.2.2.4 Adsorpsiyonlu Isı Pompalarının Tasarımı

Adsorpsiyonlu ısı pompalarının tasarımı, sistemin çalışma sıcaklık aralığına (evaporatör ve kondenser sıcaklıkları) ve üçüncü ısı kaynağının sıcaklığına bağlıdır. Evaporatör ve kondenser sıcaklıklarına, üçüncü ısı kaynağının sıcaklığına ve sistemin kullanım amacına göre, adsorbent-adsorbat çifti ve çalışma basınçları belirlenmektedir. Örneğin evaporatör sıcaklığı 0°C'nin altında olan bir uygulama için, zeolit-su çiftinin kullanılması mümkün olmamakta, bu durumda aktif karbon-metanol çiftinin kullanılması daha uygun olabilmektedir.

Adsorbentin adsorplama kapasitesinin artması ile birlikte çevrim verimi de artmaktadır. Adsorpsiyonlu sistemlerde adsorbat-adsorbent çiftine ait özgül ısı, ısı iletim katsayısı, yoğunluk gibi özelliklere

ilaveten çiftin adsorpsiyon özellikleri özel önem taşımaktadır. Çiftin birbiriyle olan ilişkisinin yeterince kuvvetli olması gerekmektedir. Fakat çok kuvvetli ilişkinin olduğu çiftler de rejenerasyon güçlüğü nedeni ile tercih edilmemektedir. Ayrıca adsorbent-adsorbat çiftinin insan ve çevre sağlığına negatif bir etkisi olmaması ve maliyetin düşük olması gözönünde bulundurulması gereken diğer hususlardır. Tablo 1’de yaygın olarak kullanılan bazı adsorbent-adsorbat çiftleri karşılaştırılmaktadır.



Şekil 7: Çift yataklı adsorpsiyon ısı pompası

Tablo 1: Adsorbent-adsorbat çiftlerinin karşılaştırılması

| Adsorbent-adsorbat çifti | Maks. Adsorplama Kapasitesi (kg/kg) | Adsorpsiyon Isısı (kJ/kg adsorbat) | Çalışma Sıcaklığı (°C) |
|--------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------|
| Su-Zeolit 4A | 0.22 | 4400 | 0-350 |
| Su-Zeolit 13X | 0.30 | 4400 | 0-350 |
| Su-Mordenit | 0.11 | 4000 | 0-250 |
| Su-Silika jel | 0.37 | 2560 | 0-150 |
| Metanol-Aktif Karbon | 0.32 | 1400 | -20 - 140 |

Adsorpsiyonlu ısı pompalarının yapısal tasarımında temel problem, adsorbent yatağının tasarımıdır. Adsorbent yatağında kütle ve ısı transferi hızlarının kontrol edilmesi iyi bir tasarım gerektirir. Adsorbentın ısı iletim katsayısının düşüklüğü, ısı transfer hızını düşürmekte dolayısıyla adsorpsiyon ve desorpsiyon periyotlarını uzatmaktadır. Adsorbentın adsorplama kapasitesini düşürmeden, ısı iletim katsayısını yükseltmek için çeşitli çalışmalar sürdürülmektedir. Ayrıca, evaporasyon sıcaklığına bağlı olarak sistemin düşük basınçta çalışması sebebiyle, sistemde kaçak problemleri yaşanmakta, bu da performans kaybına ve faydalı ömründe düşüğe yol açmaktadır. Bu sorun ancak yüksek vakum teknolojisinin kullanılması sayesinde giderilmektedir. Bu da belirli bir maliyet artışına neden olmaktadır.

Adsorpsiyonlu ısı pompaları herhangi bir dış mekanik güç gerektirmeden çalışabilen sistemlerdir. Ancak mekanik güç gerektirmeyen sistemlerde evaporatör, adsorbent yatağı ve kondenser arasındaki vanaların manual olarak açılıp kapanması gerekmektedir. Aksi takdirde bu vanaların açılıp kapanması için otomatik sistem düşünülmelidir. Çift yataklı sistemlerde ise vanaların sayısının artması ile otomasyon kontrol sistemlerinin kullanılması kaçınılmaz hale gelmektedir.

3. ISI POMPALARININ MUKAYESESİ

Daha önce de belirtildiği gibi buhar sıkıştırılmalı, absorpsiyonlu ve adsorpsiyonlu ısı pompaları oldukça eski bir geçmişe sahiptir. Buhar sıkıştırılmalı ısı pompaları pratikte sağladığı kullanma kolaylığı nedeniyle günümüzde yaygınlaşmış ve büyük pazar hacmine sahip olmuştur. Fakat son yıllarda yaşanan enerji krizleri ve birincil enerji kaynaklarının sınırlı oluşu alternatif yöntemleri cazip hale getirmiştir. Adsorpsiyonlu ve absorpsiyonlu sistemlerde atık enerji, jeotermal veya güneş enerjisi gibi ucuz ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılması sayesinde performans katsayılarından kaynaklanan dezavantaj büyük ölçüde telafi edilmiştir.

3.1 Buhar Sıkıştırılmalı Isı Pompalarının Avantaj ve Dezavantajları

Günümüzde buhar sıkıştırılmalı ısı pompaları yaygın olarak kullanılmaktadır. Sistemin bazı avantajları :

- 1) Performans katsayılarının (COP) yüksek olması
- 2) Kompakt bir yapıya sahip olması
- 3) Kontrol sistemlerinin geliştirilmiş olması ve mikroişlemciler sayesinde daha kolay kontrol edilebilmesi
- 4) İstenilen duruma hızlı bir şekilde ulaşması
- 5) Diğer ısı pompalarına göre maliyetinin düşük olması ve çalışma prensibinin yaygın olarak bilinmesi

Dezavantajları:

- 1) HCFC gazı gibi çevreye zararlı çalışma akışkanlarının kullanılması
- 2) Birincil enerji kaynaklarından doğrudan yararlanılmamasından ötürü birincil enerji veriminin düşük oluşu
- 3) Elektrik enerjisinin pahalı olduğu yerlerde işletim maliyetinin yüksek olması
- 4) Elektrik enerjisinin olmadığı yerlerde çalışmaması ve ekstra cihazlara ihtiyaç duyulması (jeneratör gibi)
- 5) Gürültülü ve sarsıntılı çalışması
- 6) Genellikle büyük sistemlerin sık periyodlarla bakım ve servise ihtiyaç duyması

3.2 Absorpsiyonlu Isı Pompalarının Avantaj ve Dezavantajları

Soğutma alanında absorpsiyon ısı pompaları, buhar sıkıştırılmalı ısı pompaları kadar bilinen sistemlerdir. Son yıllarda sürdürülebilir enerji kaynaklarından daha fazla faydalanılması ve atık ısıların değerlendirilmesi ile bu tür ısı pompalarının kullanımı üzerine yoğun çalışmalar yapılmaktadır.

Avantajları:

- 1) Doğrudan termal ısı kaynakları ve birincil enerji kaynakları ile çalışması
- 2) Sürekli çalışabilme prensibine sahip olması
- 3) Buhar sıkıştırılmalı ısı pompaları kadar hareketli parçalar içermemesi
- 4) Çalışma akışkanı olarak çevreye veya insan sağlığına zarar verici kimyasal (HCFC gibi...) maddeler kullanılmaması
- 5) Sarsıntısız ve gürültüsüz çalışması
- 6) Sistemin çalışma prensibinin yaygın olarak bilinmesi

Dezavantajları:

- 1) Performans katsayılarının düşük olması
- 2) Üçüncü ısı kaynağının sıcaklığının yüksekliği (150°C'nin üstü)
- 3) Elektrik enerjisinin ucuz olduğu yerlerde bu tip cihazların kullanımının cihaz maliyetlerinden dolayı tercih edilmemesi
- 4) Cihazların ağır ve hacimli olması yüzünden yaşanan yerleştirme problemleri
- 5) Soğutma da istenen yeni duruma sistemin yavaş ulaşması
- 6) Korozyona neden olan kimyasallar kullanıldığından cihaz ömrünün sınırlı olması
- 7) Absorbentin 4-5 yıl gibi kısa bir kullanım ömrünün olması

3.3 Adsorpsiyonlu Isı Pompalarının Avantaj ve Dezavantajları

Adsorpsiyonlu ısı pompaları özellikle son yıllarda atık ısı ve termal enerji kaynaklarının doğrudan kullanılmasında sağladığı avantajlardan dolayı gündeme gelmiştir. Sistemin uygulanması son zamanlarda yaygınlaşmaya başlamış olmakla birlikte üzerinde araştırma ve geliştirme çalışmaları halen devam etmektedir.

Adsorpsiyonlu ısı pompalarının en önemli avantajları ise şu şekilde sıralanabilir:

- 1) Atık ısı ve termal enerji kaynakları doğrudan kullanılarak çalışması
- 2) Adsorbent-adsobat çiftine bağlı olarak düşük sıcaklık ısı kaynakları ile çalışabilmesi (50°C'nin üstü)
- 3) Uygun tasarım (çift yataklı) uygulandığında sürekli çalışabilmesi
- 4) Herhangi hareketli parça içermemesi
- 5) Sessiz ve sarsıntısız çalışması
- 6) Çevreye zararı olmayan su ve benzeri çalışma akışkanları ile çalışması
- 7) Uzun süre bakım gerektirmeden çalışabilmesi (30 yıldan fazla)
- 8) Enerji depolama imkanı sağlayabilmesi
- 9) Elektrik fiyatının düşük olduğu saatlerde, enerjiyi depolayarak daha sonra kullanımına imkan sağlaması

Adsorpsiyonlu ısı pompalarının en önemli dezavantajları ise,

- 1) Performans katsayılarının düşük olması
- 2) Tek yataklı adsorpsiyonlu ısı pompaların kesikli bir çalışma prensibine sahip olması
- 3) Düşük basınçta çalışmasından ötürü kaçak sorunlarının yaşanması ve yüksek vakum teknolojisinin gereksinimi
- 4) Geliştirme safhasında oluşu nedeniyle yaygın olarak bilinmemesi
- 5) Buhar sıkıştırılmalı pompalara göre daha hacimli ve ağır olması

Isı pompalarının performans katsayılarının karşılaştırılması ise Tablo 2'de verilmiştir. Görüldüğü gibi buhar sıkıştırılmalı ısı pompasının performans katsayısı termal enerji ile çalışan ısı pompalarıyla mukayese edilemeyecek ölçüde büyüktür. Ancak birincil enerji kaynağı ile doğrudan çalışmadığından ötürü, birincil enerji kaynak verimliliği termal enerji ile çalışan ısı pompalarından daha düşük olabilir.

Tablo 2: Isı pompalarının performans katsayıları

| Isı Pompası | | Performans Katsayısı (COP) |
|----------------------|------------------|----------------------------|
| Adsorpsiyon | Karbon-Metanol | 0.43 |
| | Zeolit-Su | 0.8 |
| | Silikajel-Su | 0.3-0.6 |
| Absorpsiyon | Metanol-Su | 0.7-1.1 |
| | Lityum Bromid-Su | |
| Buhar Sıkıştırılmalı | | 3-4 |

4. ADSORPSİYONLU ISI POMPALARININ UYGULAMA ALANLARI

Günümüzde adsorpsiyonlu sistemle çalışan ısı pompaları üzerinde bilimsel anlamda araştırma ve geliştirme çalışmaları devam ettiği gibi endüstriyel üretim de yapılmaktadır. Avrupa, Japonya ve A.B.D'de çeşitli firmalar tarafından özellikle atık ısıların değerlendirilmesine yönelik ticari adsorpsiyonlu ısı pompaları üretilmektedir. Ticari uygulamalarda adsorpsiyonlu chiller olarak soğutma amaçlı kullanılan sistemler bir çeşit adsorpsiyonlu ısı pompalarıdır. Şekil 8'de çift yataklı, adsorpsiyon chiller gösterilmektedir. Sistemin performans katsayısı 0.4 - 0.7 arasında değişmektedir. Cihazın çalışma sıcaklık aralığı genel olarak atık ısılarına göre değişmektedir. Sistemde, silika jel-su buharı çifti kullanılmış ve bu sistem pek çok endüstriyel alanda uygulanmıştır.

Güneş enerjisi ile çalışan adsorpsiyon ısı pompaları son zamanlarda çalışılan yeni bir uygulama alanıdır. Uygun adsorbent-adsorbat çiftinin kullanılması ve tasarımının yapılması durumunda bu tip sistemler ile güneş enerjisinden faydalanarak düşük sıcaklıklara ulaşmak mümkündür. Şekil 9'da güneş enerjisini kullanarak çalışan adsorpsiyonlu bir buz makinesi gösterilmektedir. Bu konuda çalışmalar birçok üniversite ve firmalarda devam etmektedir. Adsorpsiyon ısı pompalarının araştırılan bir başka uygulama alanı ise klima olarak arabalarda kullanılabilirliği.



Şekil 8: Adsorpsiyonlu chiller



Şekil 9: Güneş enerjisi ile çalışan buz makinesi

4. SONUÇ

Adsorpsiyonlu ısı pompaları diğer tip ısı pompaları ile mukayese edildiğinde oldukça önemli avantajlara sahiptir. Herhangi bir mekanik güç gerektirmeden atık ısı kaynakları veya diğer termal ısı kaynaklarının kullanılması ve özellikle soğutma etkisi yaratması, bu tip ısı pompalarını gündeme getirmiştir. Oldukça düşük sıcaklıkta ısı kaynaklarının (60°C) değerlendirilmesi, bu tip ısı pompalarına geniş uygulama alanı sağlamaktadır. Adsorpsiyonlu ısı pompası kullanımdan ve servisten kaynaklanan kolaylıkları ve avantajları sebebiyle adsorpsiyonlu ısı pompasına göre daha caziptir. Örneğin adsorpsiyonlu ısı pompalarında kullanılan tuzun korozif etkisi yüzünden cihazın ömrünü kısaltmaktadır. Ayrıca adsorpsiyonda kullanılan adsorbent belli periyotlar ile yenilenmelidir. Adsorpsiyonlu sistemlerde korozyona yol açacak kimyasallar kullanılmadığından ömrü daha uzundur. Ayrıca sistemde kaçak olmadığı sürece servise veya adsorbent/adsorbat çiftlerinin yenilenmesine ihtiyaç duyulmaz. Bu özellikleri adsorpsiyonlu ısı pompalarını performans katsayıları düşük olmasına rağmen cazip kılmaktadır.

Adsorpsiyonlu ısı pompalarının en önemli dezavantajı, tasarımı ve üretiminde yaşanan problemlerdir. Bazı ticari firmalar tarafından bu problemler giderilmiş olup, ticari olarak bu tip ısı pompaları piyasaya sunulmakta, ancak sistem ve özellikle adsorbent yatağının tasarımı ile ilgili geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Adsorpsiyonlu ısı pompalarındaki performansın düşük olması bir dezavantaj olarak görülebilir. Fakat herhangi bir mekanik güç gerektirmeden, maliyet yaratmayan ısı kaynakları ile doğrudan çalışmasının sağladığı avantaj, bu tip ısı pompalarını kullanılabilir hale getirmektedir. Özellikle endüstriyel proseslerde atık ısıların değerlendirilmesinde bu tip ısı pompaları önemli rol oynayabilir ve ülke ekonomisinde büyük tasarruflar sağlayabilir. Endüstriyel bir proseste atık ısıları değerlendirerek, binaların soğutulması veya başka bir prosesin soğutma suyunun sağlanması ekonomik açıdan büyük bir kazançtır.

KAYNAKLAR

- [1] Summer A.J., Domestik Heat Pumps, Prism Press, Unwin Brothers Ltd., Surrey 1976
- [2] The Large Scale Application of Heat Pumps, Proceed 2nd BHRA International Symp., Ed., Watts G.A., Stanbury, J.E.A., York, 1984
- [3] Ülkü S., Gürses A.Ç., Toksoy M., Eneji Tasarrufu ve Isı Pompaları, Enerji Tasarrufu Semineri, İstanbul, 1987
- [4] NATO ASI Heat Pump Fundamentals, Ed., J. Berghmans, Martinus Nijhof. Pub. London 1983
- [5] Ülkü S., Solar Adsorption Heat Pumps, Solar Energy Utilization Fundamentals and Applications, Martinus Nijhoff Pub., Ed. H.Yüncü, E. Paykoç, Y. Yener, Netherlands 129, pp.424-434,, 1987.
- [6] Alefeld G., Bauer H.C., Maier-Laxhuber P., and Rothmeyer M., A.Zeolite Heat Pump, Heat Transformer and Heat Accumulator, In: Int.Conf. on Energy Storage Brighton, U.K., BHRA, 1981
- [7] Tchernev D.I., Solar Energy Application of Natural Zeolites, Natural Zeolites, Ed. L.B. Sand, F.A. Mumpton, In: Proc. 76 Inter. Conf. on the Occur. Prop., and Natural Zeolites, Arizona, USA, 1976
- [8] S. J. Gregg, L.S.W. Sing, Adsorption, Surface Area and Porosity, Academic Press, (1982)
- [9] Suzuki M., Adsorption Engineering, Kodansha Ltd. And Elsevier Pubs., Tokyo, 1990
- [10] Ülkü S., Adsorption Heat Pumps, J. Heat Recovery Systems, 6:4, 277-284, 1986.
- [11] Ülkü S., Mobedi M., Inan C., Adsorpsiyonlu Isı Pompaları, 6, 989-418, Ankara 1987.
- [12] Ülkü S., Mobedi M., Adsorption in Energy Storage, Energy Storage 167, 487-507 Kluwer Academic Pub., 1989.
- [13] Ülkü S., Mobedi M., Zeolites in Heat Recovery, Studies in Surf-Science and Catalysis, Vol.49, Zeolites: Facts Figures Future, 511-518, Elsevier Science Pub., 1989.

ÖZGEÇMİŞLER

Hasan DEMİR

1999 Ege Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümünden mezun olmuş, Doğal zeolitlerin, alev geciktiriciler üzerine sinerjik etkisi konulu tezi ile İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Kimya Mühendisliği Bölümünde Yüksek Mühendis (2004) ünvanını almış ve de aynı üniversitede “adsorpsiyonlu ısı pompaları” konulu Doktora çalışması devam etmektedir.

Moghtada MOBEDİ

1962 yılında İran’da doğdu. 1985 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi, Makine Mühendisliği bölümünde, 1987 yılında aynı üniversite ve bölümde master eğitimi ve 1994 yılında ODTÜ, Makine Mühendisliği bölümünde doktora eğitimini bitirdi. 1995-98 yılları arasında İran’ın Orumieh Üniversitesinde öğretim üyesi olarak ve 1998-2005 TEBA Şirketler grubunda çalıştı. Halen İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsünde, Makine Mühendisliği bölümünde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır.

Semra ÜLKÜ

1947 Doğumludur. ODTÜ Kimya Mühendisliğinden 1969 yılında mezun olmuş , Isı Transferi alanındaki çalışmaları ile aynı üniversitede Yüksek Mühendis (1971) ve Doktor ünvanları almıştır (1975). AZOT işletmelerinde çalışmasını takiben EGE ve Dokuz Eylül Üniversiteleri Makina Ve Kimya Mühendislikleri Bölümlerinde Doçent ve Profesör olarak çalışmıştır. Enerji Depolama, Isı Pompaları, Isı transferi alanında çeşitli çalışmaları mevcuttur. Halen İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Rektörüdür. AIChE, Adsorption Society, Zeolite Association, Energy Society, ASEE üyesidir.