



## Adsorbsiyonlu Soğutma Sistemlerinde Zeolit- Su Buharı Isıl Performansının İncelenmesi

### Investigation of Zeolite-Water Vapor Thermal Performance in Adsorption Cooling Systems

Türker AKKOYUNLU\*<sup>1</sup>, İbrahim UZUN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 71450 KIRIKKALE

Başvuru/Received: 27/02/2017

Kabul/Accepted: 19/05/2017

Son Versiyon/Final Version: 15/06/2017

#### Öz

Mekanik sıkıştırımlı ısıtma ve soğutma sistemleri performans değerlerinin yüksekliği nedeniyle halen yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak soğutucu akışkanlar ve çevresel etkileri yönünden alternatif ısıtma ve soğutma sistemleri üzerine yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Bunların içerisinde önemli yer tutan adsorbsiyonlu soğutma sistemlerin çevresel değerleri koruma hem de atık enerji veya yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılarak gerçekleştiriliyor olabilmesi bir çok açıdan önemli görülmektedir. Adsorbsiyonlu ısı pompalarında adsorbent yatağındaki adsorbent malzeme özelliğinden dolayı adsorbat(su) evaporatördeki haznede bulunan soğutma suyundan ısı çekerek buharlaşırken bu buhar adsorbent tarafından adsorblanır. Bir kısmı buharlaşan evaporatör haznesi içinde su sıcaklığı düşer bu esnada adsorbent haznesinde ise emilen su buharının etkisiyle adsorbent yatağında adsorpsiyon ısı ortaya çıkmaktadır. Çevrimin tamamlanması için adsorblanan su buharının atık enerji kaynağı ile adsorbent malzeme içerisinde uzaklaştırılarak buharlaştırıcı haznesine geri döndürülmesi gerekmektedir. Bu çalışmada oluşturulan bir deney düzeneği ile düşük basınç altındaki adsorbsiyonlu soğutma sisteminin dış kaynaklı enerjisinin içten yanmalı motor ekzos gazlarından alınması ve çevrimin bu enerji girdisi ile tamamlanması planlanmıştır. Çalışmanın adsorbent yatağı, buharlaştırıcı haznesi ve yoğunlaştırıcı bölümlerinin tasarımı gerçekleştirilmiş ve deneysel ölçümler yapılmıştır. Deneysel çalışmalar küçük ölçekli bir soğutma çevrimi içinde buharlaştırıcı içerisindeki kütle değişimi, adsorbent yatağındaki sıcaklık değişimleri zamana bağlı olarak verilmiştir. Atık enerji ısı değiştirici tasarımları yanında mekanik hesaplamaları yapılmış ancak deneysel ölçümlerin yapıldığı düzenekte henüz kullanılmamıştır.

#### Anahtar Kelimeler

“Adsorbsiyonlu Soğutma, Soğutucu, Isı Değiştirici, Zeolit”

#### Abstract

In Adsorption Refrigeration Systems, adsorbate (water) evaporates by absorbing heat from cooling water which is circulating in evaporator and the temperature of the cooling water is reduced. Evaporated adsorbate begins to flow into the adsorbent bed and adsorbed by adsorbent particles(Zeolite13x) which is in the bed of adsorbent. During the adsorption process occurs adsorption heat in the adsorbent bed. Numerical solutions of the desorption times was carried out utilizing from the waste energy for the heat disposal, taking the normal temperature of the adsorbent bed and removal of the water vapor in. With heat exchanger design made, water vapor which is heated up to 250 centigrade degree within the adsorbent reservoir is returned to the tank for to use again. In this study, performance values of the heating channels in the changer has been obtained under the change of field, position and types of fluids. Evaporation times, the amounts of fluid evaporating, the amount of energy expended in numerical solution which is supported with experimental studies is provided with tables and graphs.

#### Key Words

“Absorption Cooling, Refrigerator, Heat Exchangers, Zeolite”

## Semboller

COP	Performans katsayısı
$c_p$	Sabit Basınçta Özgül ısı (kJ/kgK)
m	Kütle (kg)
Q	Isı Enerjisi (kJ/kg)
Q <sub>1-2</sub>	İzosterik ısıtma işlemi, ısı enerjisi, kJ
Q <sub>2-3</sub>	İzobarik desorpsiyon işlemi, ısı enerjisi, kJ
Q <sub>3-4</sub>	İzosterik soğutma işlemi, ısı enerjisi, kJ
Q <sub>4-1</sub>	İzobarik adsorpsiyon işlemi, ısı enerjisi, kJ
T	Sıcaklık
$\Delta H$	adsorpsiyon ısısı (kJ)
$\Delta h$	Entalpi

## İndisler

ads	Aadsorpsiyon
$\phi$	Çıkış
des	Desorpsiyon
evp	Buharlaştırıcı
fg	Sıvı – Gaz fazı
g	Giriş
k	Adsorbent malzeme
p	Sabit Basınç
s	Adsorbat akışkan
w	Kkonsantrasyon oranı
con	Yoğuşturucu

## 1. GİRİŞ

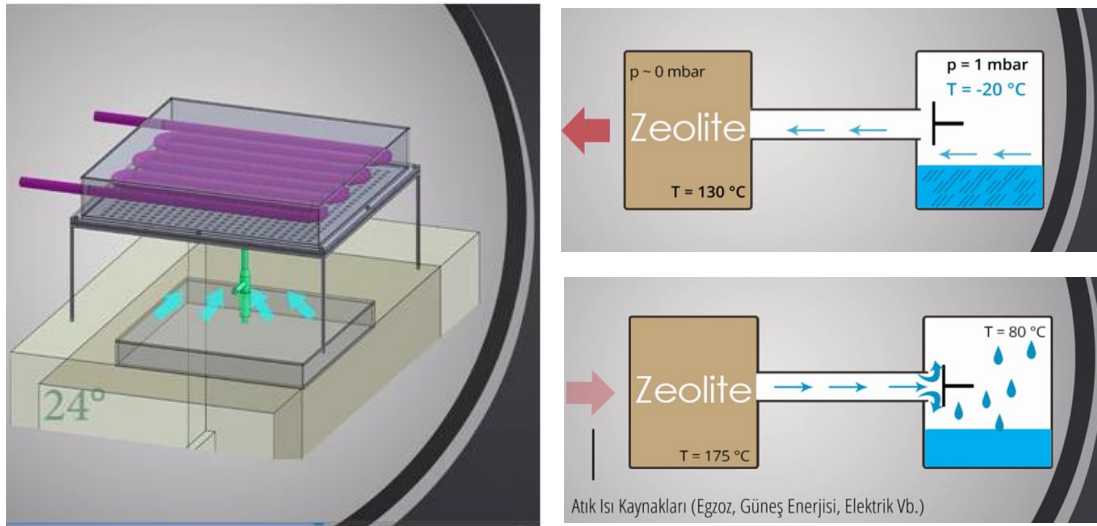
Adsorpsiyonlu ısı pompaları, güneş ve atık enerji kaynakları başta olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklı çalışmalarla son zamanlarda üzerinde yoğun çalışılan konulardan biridir. Bilindiği üzere bu tür soğutma sistemlerinde mekanik sıkıştırımlı soğutma sistemlerindeki kompresör bulunmamaktadır. Soğutma işlemi ardışık olarak adsorpsiyon ve desorpsiyon olmak üzere iki aşamalı bir çevrim sonucu soğutma gerçekleşmektedir. Bu çevrim esnasında soğutma yanında ısıtma amaçlı kullanımda söz konusu olabilmektedir. Wang ve Oliveira, (2006)' ın gösterdiği gibi vakum altında çalışılan sistemde soğutma amaçlı uygulamalarda -18°C sıcaklığa kadar inilebilmektedir. Isıtma amaçlı kullanımlarda ise zeolit haznesi 100°C sıcaklıkların üzerine çıkabilmektedir. Bu sıcaklık değişimleri elbette zeolit ve su haznesi basınç değerleri ile doğrudan ilişkilidir. Wang R.Z ve diğerleri (2006) çalışması ile adsorpsiyonlu ısı pompalarında çalışma çiftleri Slika jel-Su, AC-NH<sub>3</sub>, AC-Metanol, Zeolit Su ağırlıklı olarak kullanıldığı ve yıllara göre adsorpsiyon sistemlerindeki COP değişimleri, uygulama alanları ve ısıl güçleri tablolar halinde verilmiştir. Solmuş (2011)'un bahsettiği üzere doğal zeolit – su çifti ile yapılan bir çalışmada Adsorpsiyon sıcaklığının 45°C , desorpsiyon sıcaklığının 150°C, yoğuşturucu sıcaklığının 30°C olduğu farklı buharlaştırıcı sıcaklıkları için prototip soğutma sisteminin ortalama COP değeri 0.25 civarında bulunmuştur. Bu çalışmada farklı çaplara sahip zeolit parçacıkları üzerinde yapılan deneyler sonucunda doğal zeolit maksimum su buharı adsorplama kapasitesi, 40-150°C zeolit sıcaklığı ve 0.87-7.38 kPa su buharı basıncı aralığında yaklaşık 0.12 kgsu/kgad olarak bulunmuştur.

Demir (2008) ve Ashrae Journal (2011)' ın bahsettiği üzere çeşitli adsorbat-adsorban çiftlerinin performans değerlendirmeleri üzerine de çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalardan birinde Zeolit dışındaki adsorbanlar kullanılmış ve adsorpsiyonlu soğutma sistemleri hakkında kapsamlı bilgiler sunmuştur. Adsorpsiyon-Desorpsiyon döngüsünde hangi parametrelerde ne sonuçlar alındığını gösteren çalışmada doğal zeolit kullanılması ve haznelerdeki vakumlarda istenilen seviyelere inilememesi sebebi evaporatör sıcaklıkları 1°C'lerde kalmıştır. Çok sayıda düzenek üzerinde verimlilik hesapları yapılan çalışmada, adsorban yatağı ısı transfer alanı %550 artırıldığında sistemin soğutma gücü %200 geliştirilmiş, yatak içinde ısı iletimi alüminyum metal parçalarıyla artırıldığında ise çevrim süresi oldukça kısaltılmıştır. Evaporatör haznesinin soğutma yüzeyi alanı 0.226m<sup>2</sup> iken 0.038m<sup>2</sup>' ye göre 300 dakika kısa sürede desorpsiyon gerçekleştirilmiştir. Zeolit- su ikilisi kullanan adsorpsiyonlu ısı pompalarında farklı tiplerde zeolitlerin hangi sonuçları verdiği karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan sentetik zeolitlerin(Zeolit 13x), bu özellik üzerine boşluklu yapılarının özelleştirilmiş olması dolayısıyla adsorplama kapasiteleri bu rakamların iki katından fazla olarak 0.25 kg/kgad'dan yüksek olması beklenmektedir. Söz konusu adsorban yatağın performansını iyileştirmek için, dış ortama karşı ısı transferi dirençlerinin artırılması, akışkan yollarının akışı kolaylaştırarak şekilde tasarlanması yönünde kısaltılması gerçekleştirilmiştir. Buhar difüzyonunun hızlı olması ve zeolit haznesinin bütün noktalarına su buharının hızlı bir şekilde ulaşması yönünde tasarımın yapılması gerçekleştirilmiştir. Bu bilgi ışığında evaporatör haznesinin kondenser görevi de göreceği unutulmadan soğutma yüzey alanı mümkün olduğunca artırılacağı bir tasarım Şekil 1.'de gösterildiği şekilde geliştirmiştir.

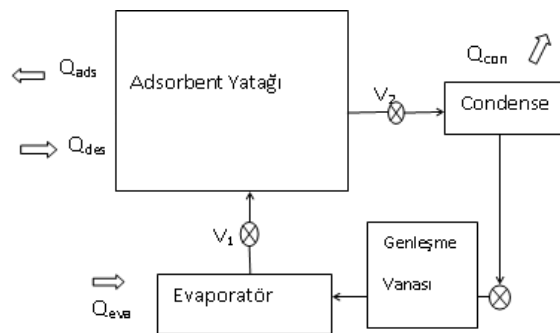
## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Hesaplamalar yapılırken adsorbsiyonlu sistemde genelde ısıtma ve soğutma amaçlı olarak iki aşamalı enerji geçişleri söz konusudur. Bilindiği üzere adsorbsiyon ve desorbsiyon süreçleri olarak adlandırılan işlemlerde sırasıyla düşük sıcaklıktaki evaporatörden adsorbent yatağına enerji geçişi ve su buharı ile doymuş hale gelmiş adsorbent yatağından dış enerji kaynağı veya atık enerji kullanılarak kondensere olan enerji akışı şeklindedir.



Şekil 1. Deneysel düzeneği ve bileşenlerinin çalışma sistemi.

Ashrae Journal (2011) ve Yıldırım vd., (2011)' in belirttiklerine göre deneysel işlem aşamaları iki izosterik ve iki izobarik olmak üzere bir çevrimi tamamlayarak ısıtma ve soğutma süreçlerini tamamlamaktadır. İzosterik işlemlerde ısıtma ve soğutma süreçleri izobarik işlemlerde ise adsorbsiyon ve desorbsiyon süreçleri gerçekleşmektedirler. Deneysel çalışmalarda kullanılan deney düzeneği üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar adsorbent yatağı (zeolit deposu), evaporatör(buharlaştırıcı) ve kondenser(yoğuşturucu) şeklindedir. Mevcut deneylerin gerçekleştirildiği düzeneğe denemeler sürdüğünden yoğuşturucu ve buharlaştırıcı farklı aşamalarda hem buharlaştırıcı hem de yoğuşturucu olarak kullanılmaktadır. Deneyler esnasında buharlaştırıcı ile bütünleşik bir load cell hücresi tasarlanmış ve su haznesi (buharlaştırıcı) bu sensörün üzerine montajlanmıştır. Bu durum evaporatör devresinde soğutucu akışkandan ısı çekerken(Q<sub>eva</sub>) aynı zamanda buharlaşan akışkan miktarı ile bir kütleli değişime uğramaktadır. Bu değişim Şekil 4.'de verildiği gibi çok sınırlı bir kütle geçişine neden olmaktadır. Bu kütleli değişimin adsorbent tarafından adsorbe edilen su buharı olduğu bilinmektedir. Deneysel düzeneğinde enerji geçişleri için adsorbent yatağında gerçekleşen enerji döngüsü Şekil 2.'de gösterilmektedir. Bu enerji döngüsünde adsorbent malzemenin enerji alışverişlerinde dört adım bulunmaktadır. Bu adımların termodinamik çevrimleri aşağıda açıklanmıştır. Deneysel çalışmanın en önemli aşamalarından birisi olan adsorbent yatağında su buharının bir dış enerji kaynağı kullanılarak uzaklaştırılıp çevrimin ikinci aşaması olan desorpsiyon işlemidir. Bu işlem için gerekli olan enerjinin taşıyıcı araç egzoz atık gazlarını kullanarak elde edilen atık enerjiden elde edilmesidir. Atık egzoz gazlarının tasarlanan ısı değiştiricide enerjisini büyük ölçüde bırakarak atılması ve alınan enerjinin adsorbent yatağına iletilmesidir. Ancak bu çalışmada şimdilik su buharının uzaklaştırılması elektrik enerjisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ülkü S.(1986), Demir H.(2008), Ashrae(2011) ve diğer bir çok çalışmada olduğu gibi adsorbsiyonlu ısı pompası çevrimleri adsorbsiyon ve desorbsiyon evrelerini kapsamak üzere dört farklı süreci kapsamaktadır.



Şekil 2. Adsorbent yatağındaki enerji hareketleri

### İzobarik Adsorbsiyon(Q4-1)

İlk anda adsorbent yatağındaki adsorbat konsantrasyonu miktarı en düşük seviyededir. Bu esnada V1 ve V2 vanaları kapalıdır. Çevrim, evaporatör ile adsorbent yatağı arasında bulunan V1 vanası açılarak çevrim başlatılır. Adsorbat, evaporatördeki soğutma suyundan çektiği ısıyla buharlaşır. Bu esnada soğutma suyunun sıcaklığı düşürülmüş olur. Adsorbat buharlaştıktan sonra V1 vanasından geçerek, adsorbent yatağına doğru akmaya başlar. Adsorbat hem basınç farkından hemde yatakta bulunan adsorbent tanecikleri sayesinde adsorbent yatağına doğru çekilir ve adsorplanır. Adsorplama süreci esnasında fiziksel olaylardan ötürü adsorbent yatağında adsorpsiyon ısı denilen ısı ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan ısının yataktan atılması ve yatak sıcaklığının çevrimin sahip olduğu en küçük sıcaklığa düşürülmesi gerekmektedir. Adsorpsiyon süreci sonunda, adsorbent tanecikleri adsorbata doygun hale gelmiş ve adsorbat konsantrasyonu artmıştır. Soğutma işlemi esnasında adsorbent tarafından su buharı adsorblanırken yaklaşık 150°C sıcaklığa çıkan adsorbent yatağının 40°C sıcaklığa düşürülmesi sırasında atılan enerji miktarıdır. Çevrimin bu süreçleri sabit basınçta gerçekleşmektedir. Bu işlem sonunda adsorblama miktarı maksimuma yakın değere ulaşmış durumdadır. Şekil 3.'de görüleceği üzere kütle değişimi zeolit su ikilisi için çok kısa bir zaman sürecinde değer yaklaşık  $w_1=0.25$  kg/kg civarındadır.

### İzosterik Isıtma(Q1-2)

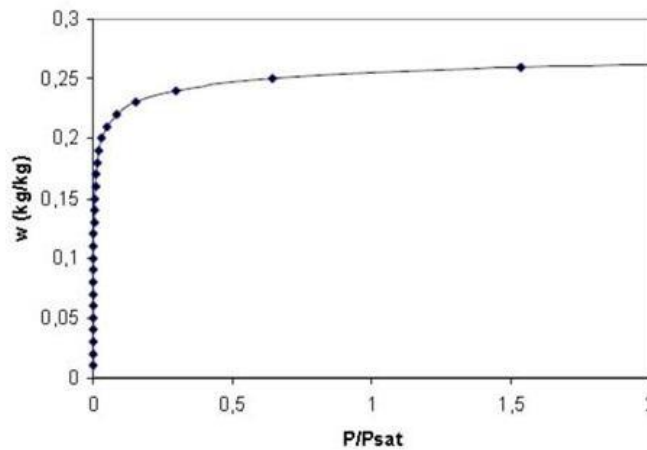
Adsorpsiyon süreci tamamlandıktan sonra V1 vanası kapatılır. Adsorbent yatağına ısı verilerek sıcaklığı ve basıncı artırılmaktadır. Bu aşama izosterik ısıtma olarak tanımlanır. Bu sırada yatakta doygun haldeki adsorbent ısıtılır, basınç ve sıcaklık yükselir ancak yatak içerisindeki adsorbat miktarı değişmemekte ve adsorblama miktarı yaklaşık  $w_2=0,25$  kg/kg civarındadır. Bu sırada adsorbent yatağı sıcaklığı yükselmekte ve 40°C sıcaklıktan yaklaşık 120°C sıcaklığın üzerine çıkması beklenir ve kondenser basıncına kadar ısıtma işlemine devam edilir.

### İzobarik Desorpsiyon(Q2-3)

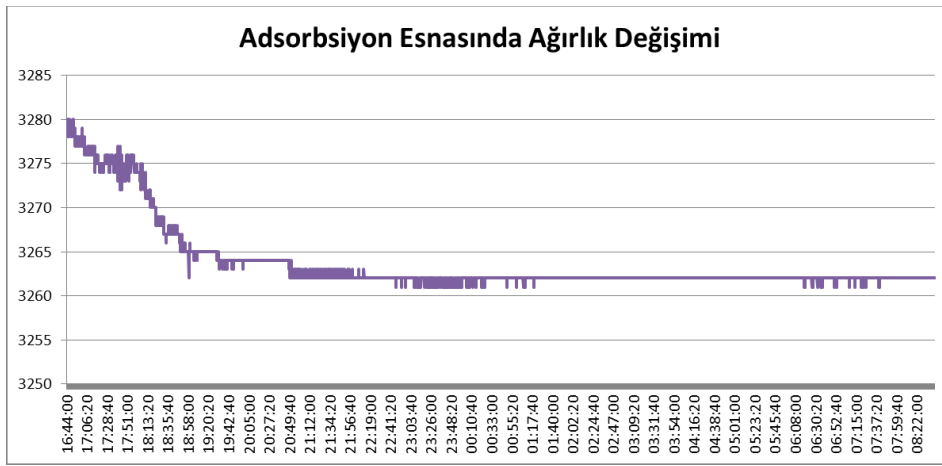
Adsorbent yatağının basıncı, kondenserin basıncına ulaştıktan sonra V2 vanası açılır ve desorpsiyon işlemi başlatılmaktadır. Desorpsiyon süreci boyunca adsorbent yatağına ısı transfer edilmekte ve sıcaklığı artırılmaktadır. Sıcaklık değeri yaklaşık 120°C sıcaklıktan 250°C sıcaklığa kadar yükseltilerek bütün adsorblanan su buharının adsorbentten ayrılması sağlanır. Bu esnada desorplanan adsorbat kondensere aktarılır ve kondenserde çevreye ısı atarak yoğunlaşmaya başlar. Desorpsiyon işlemine adsorbent yatağı tekrar başlangıç konsantrasyonuna gelinceye kadar devam edilir. Adsorbent yatağı içerisindeki adsorblama miktarı yaklaşık  $w_3 \approx 0$ 'a yakın olmalıdır. Çevrimin bu kısmına izobarik desorpsiyon adı verilir. Şekil 5.'de görüleceği gibi adsorbent yatağı ve su haznesinin sıcaklık değişimleri adsorbent yatağı için 160C civarına çıkmış su haznesi ise 25C sıcaklıklardan 20C sıcaklık civarına düşmüştür. Doğal taşınımla soğutmaya bırakıldıklarında zamana bağlı sıcaklık değişimleri yavaş gerçekleşmiş ve her iki hazne sıcaklıkları da 20°C civarında kararlı hale geldikleri görülmektedir.

### İzosterik Soğutma(Q3-4)

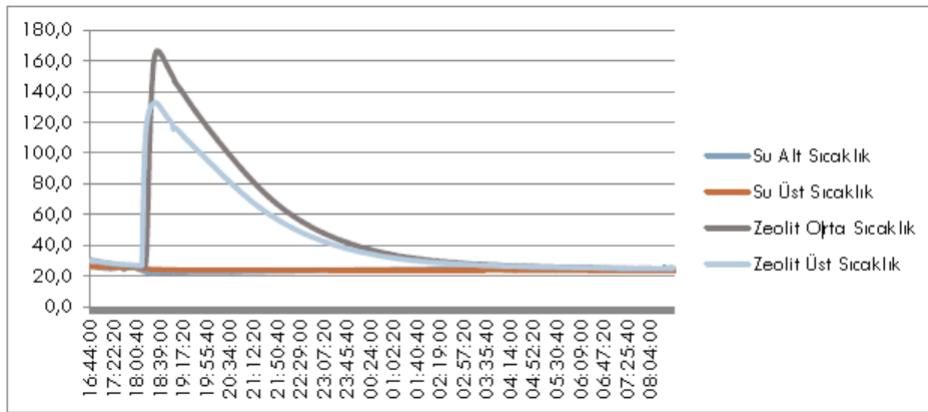
Desorpsiyon süreci tamamlandıktan sonra, yatak ile kondenser arasında bulunan V2 vanası kapatılarak bağlantı kesilir. Adsorbent yatak ilk konsantrasyon durumunda olup, adsorbent yatağı soğutmaya tabi tutulmaktadır. Bu sırada adsorbent yatağının sıcaklığı yaklaşık 250°C sıcaklıktan 150°C sıcaklığa kadar soğutulmaktadır. Yatak basıncı evaporatör basıncına düşünceye kadar soğutma işlemine devam edilmektedir. Kondenserde biriken sıvı fazındaki adsorbat, genleşme vanasından geçerken basıncı evaporatör basıncına düşer ve evaporatöre aktarılır. Çevrimin bitmesi ile tekrar izobarik adsorpsiyon işlemine başlanmaktadır. Tek kademeli bir adsorbsiyonlu ısı pompası çevrimi Şekil 8.'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Zeolit 13x – Su ikilisi adsorblama kapasitesi basınç ilişkisi[5].



Şekil 4. Adsorbsiyon aşamasında zamana bağlı kütleli değişim.



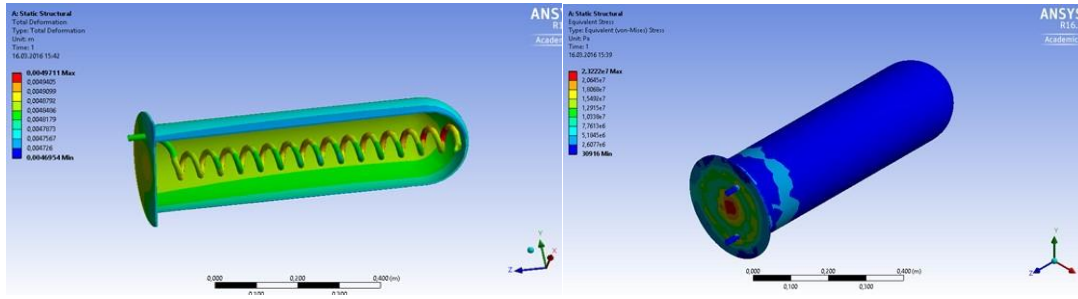
Şekil 5. Adsorbsiyon aşamasında adsorbant ve adsorbent haznelerinin sıcaklık değişimi.

### 3. SAYISAL ÇALIŞMALAR

Deneyisel sonuçlarda buhar geçişi, basınç düşümü ve ısı transferi problemleri göz önüne alındığında istenilen sıcaklık düzeyine inilememiştir. Bu durumu öncelikle düşük basınç değerlerinde mekanik analizlerin yapılması ve vakum altında deformasyonların kabul edilebilir sınırlar içinde kalması önemlidir. Ancak buna karşılık endüstriyel uygulamalarda ısı geçişini kolaylaştırmak için yüzey alanlarının mümkün olduğunca büyük tutulmasını gerektirmektedir. Yayvan prizmatik tasarımların mukavemet açısından sıkıntılı olduğu ve iç destek parçalı tasarımlar yapılması gerektiği görülmektedir. Deneyisel çalışmaların kolaylaştırılması, ölçüm belirsizliklerinin azaltılması için sayısal çözüm yapılarak yeni tasarımla deneysel çalışmaların tekrarlanması amacıyla hem adsorbant yatağı ve atık enerji ısı değiştiricisinin silindirik tasarımlarının sayısal analizleri yapılmıştır. Tasarımlardan adsorbent yatağı deformasyon ve değerleri ve şekilleri Şekil 6a ve 6b’de verilmiştir.

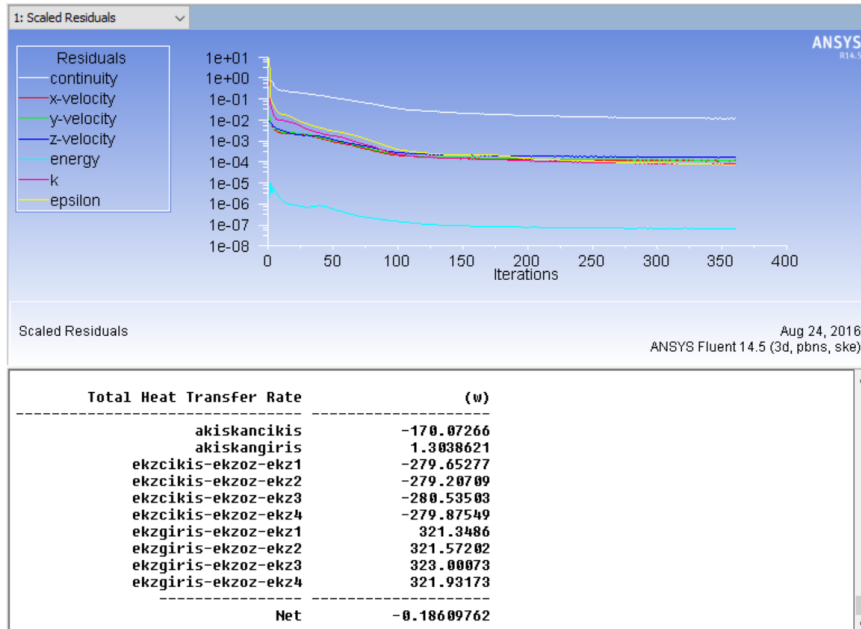
Prizmatik adsorbent yatak geometrilerinde yüksek vakum değerlerindeki deformasyonların fazla çıkması gibi nedenlerden dolayı haznenin silindirik tasarımı esas alınmıştır. Yaklaşık aynı miktarda zeolit bulunduracak şekilde tasarlanan yapıda atık ısı kaynaklı desorpsiyon işlemi için içeriden ısıtma uygulamasının daha yerinde olacağı düşünülmüştür. Prizmatik adsorbent yatak geometrisinde ısıtma işlemi hazne dışından yapıldığından yüzeysel plaka tipi ısıtıcılar kullanılmıştır. Mekanik dayanımlar dikkate alınarak silindirik tip adsorbent yatağına geçildiğinde ısıtıcılar haznenin içerisine alınmıştır.

Yeni tasarlanan Zeolit haznesinin negatif 1 bar basınç altındaki deformasyonları bir önceki tasarıma göre oldukça düşük çıkmasından dolayı deney imkanları elverdiğince daha düşük basınçlara çıkılabilecektir. Bu vakum değerinde maksimum deformasyon değeri 0,2186mm civarında çıkmıştır. Eksi basınç değerinin 100 Pa olması durumunda deformasyon değeri doğrusal olarak 0,2186E-3mm olarak bulunmuştur. Maksimum gerilme değerleri ise 100kPa ve 100 Pa için sırasıyla 36,917 Mpa 36, kPa olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6. Zeolit Haznesi-Adsorbent Yatağı Deformasyon(a) ve Gerilme Değerleri(b)

Sayısal çözümlerde iki temel problem söz konusudur. Bunlardan birincisi atık ısı değiştiricisinde atık ekzoz gazlarının giriş sıcaklığı 400°C sıcaklığa kadar çıkmaktadır. Bu durum bu değiştiricide ikincil akışkanın bu sıcaklık altında fiziksel değişimi dikkate alınarak seçilecek bir akışkan olmak durumundadır. Su, yağ gibi akışkanların atmosfer basıncı altında bu sıcaklıklarda faz değişimlerine uğrayacağı göz ardı edilmemesidir. Bu durumda akışkanın faz değiştirmesi durumunda sıvı fazdan buhar faza geçişte çok ciddi bir hacimsel artış söz konusu olacağından basınç değişimine dikkat edilerek tasarım yapılmalıdır. İkinci önemli problem ise atık enerji ısı değiştiricisinden çıkan sıcaklığı artırılmış ikincil akışkanın adsorban yatağına ulaştırılmasıdır. Bu yolun uzun olması enerjinin büyük bir bölümünün yolda harcanması ve etkinliğinin azalması şeklinde sonuçlanabilecektir. Bu çalışma ile Şekil 7.'da gösterilen ve tasarımı yapılan ısı değiştiricide farklı akış şartlarında havadan havaya ısı değiştiricisi durumunda transfer edilecek ısı miktarları hesaplanmıştır.



Şekil 7. Atık Isı Değiştiricisinde Korunum Denklemlerinin Yakınsaması

#### 4. SONUÇLAR

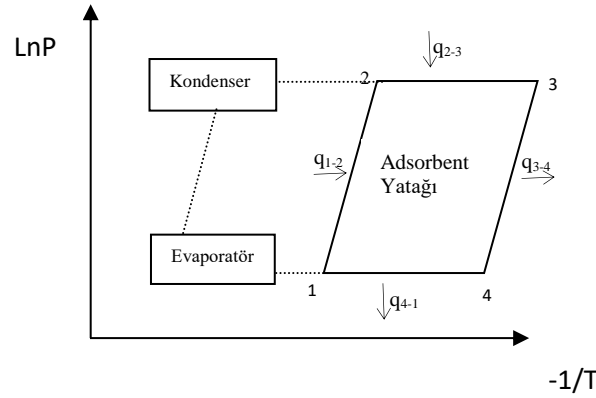
Mobedi (2007)'in çalışmasına göre deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen bilgilere göre zeolitin, kütlesi  $m_k = 16,64$  kg, özgül ısı  $c_{pk} = 0,92$  kJ/kg°C ve konsantrasyon miktarı  $w_{min} = 0,0$  kg/kg,  $w_{max} = 0,30$  Kg/kg aralığında kabul edilmiştir. Adsorbent haznesindeki sıcaklıklar  $T_1 = 40^\circ C$ ,  $T_2 = 120^\circ C$ ,  $T_3 = 250^\circ C$ ,  $T_4 = 150^\circ C$ ' dir. Bu bilgilere göre çevrimin analitik analizi gerçekleştirilmiştir.

$$Q_{41} = m_k c_{pk} (T_4 - T_1) + m_k \frac{w_4 + w_1}{2} c_{ps} (T_4 - T_1) + m_k (w_{max} + w_{min}) \Delta H_{ads} \quad (4.1)$$

$$Q_{12} = m_k c_{pk} (T_2 - T_1) + m_k w_{max} c_{ps} (T_2 - T_1) \quad (4.2)$$

$$Q_{23} = m_k c_{pk}(T_3 - T_2) + m_k \frac{w_2 + w_3}{2} c_{ps}(T_3 - T_2) + m_k (w_{max} + w_{min}) \Delta H_{ads} \quad (4.3)$$

$$Q_{34} = m_k c_{pk}(T_3 - T_4) + m_k w_{min} c_{ps}(T_3 - T_4) \quad (4.4)$$



**Şekil 8.** Adsorpsiyonlu soğutma sistemi (1-2) İzosterik Isıtma, (2-3) İzobarik Desorbsiyon, (3-4) İzosterik Isıtma ve (4-1) İzobarik Adsorbsiyon.

Adsorbent yatağındaki enerji transferlerinde çevrimin tamamlanması için devrede bir yoğunlaştırıcı ve bir de buharlaştırıcı bulunmak durumundadır. Bunlar bu çalışmada bütünleşik olarak çalışmaktadır. Bunlar üzerinde transfer edilen ısı enerjisi miktarları ise aşağıdaki şekilde hesaplanabilirler.

$$Q_{evp} = m_k (w_{max} - w_{min}) \Delta h_{fg,eva} \quad (4.5)$$

$$Q_{cond} = m_k (w_{max} - w_{min}) \Delta h_{fg,con} \quad (4.6)$$

$$COP_{evp} = \frac{Q_5}{Q_2 + Q_3} \quad (4.7)$$

$$COP_{con} = \frac{Q_6}{Q_3 + Q_4} \quad (4.8)$$

**Tablo 4.1.** Yaklaşık sıcaklıklar üzerinden hesaplanan teorik ısı geçişleri ve performans değerleri.

Q, transfer Edilen Enerji, kJ						Performans	
Q <sub>1-2</sub>	Q <sub>2-3</sub>	Q <sub>3-4</sub>	Q <sub>4-1</sub>	Q <sub>evp</sub>	Q <sub>cond</sub>	COP <sub>evp</sub>	COP <sub>con</sub>
1624,06	24659,06	1530,88	23877,5	11266,94	11266,94	0,4286	0,4302

Adsorbent yatağındaki enerji giriş ve çıkışlarında adsorbent(zeolit), adsorb edilen adsorbat(su buharı), adsorbent yatağı(gövde ve içindekiler) ve gizli buharlaşma ve yoğunlaşma ısılarından oluşmaktadır. Bu enerji geçişlerinde temel alınan veya bir başka deyişle teorik hesaplamalar için varsayılan tahmini sıcaklıklar esas alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Deneysel ön çalışmalar esnasında adsorbent haznesi sıcaklıkları 160°C sıcaklıklara kadar çıkmış ancak su haznesi sıcaklıkları ancak 15°C sıcaklıklara kadar

indirilebilmiştir. Bu çalışmada adsorbent yatağı ve yoğunlaştırıcı tasarımının önemi görülmüştür. Adsorbent yatağının tasarımı adsorbent malzemenin adsorpsiyon ve desorpsiyon sürelerini kısaltıcı şekilde düzeltilmesinin sistemin verimine önemli ölçüde katkı sağlayacağı sonucuna varılmıştır. Bir sonraki çalışmada zeolitin adsorpsiyon sürecinde buhar emme süresini ve kapasitesini artırmak için yatak içi dizaynı kararlaştırılmış ve bunun desorpsiyon sürecini de kısaltıcı bir etkisi olacağı kanısına varılmıştır. Demir H., Mobedi M. Ce Ülkü S.(2008) çalışmalarında konvansiyonel ısı pompaları ile adsorpsiyonlu ısı pompalarının COP değerlerinin karşılaştırmalı olarak vermişlerdir. Bu çalışmada konvansiyonel ısı pompaların COP değerleri 3-4 civarında iken Su ve Zeolit ikilisinin değerleri 0,28- 1,4 aralığında olabileceği gösterilmektedir. Bu çalışmada yapılan hesaplamalarda bu değer 0,42- 0,43 olması literatürdeki çalışmalarla uyum içerisinde olduğunu göstermektedir.

## **5. KAYNAKLAR**

Ashrae Journal.(2011).Technical Future, Adsorbtion Refrigeration. Retrieved from <http://www.ashrae.org.tr>.

Demir H. (2008). An experimental and theoretical study on the improvement of adsorption heat pump performance,Doctoral thesis, Middle East Technical University, Ankara, Türkiye.

Demir H., Mobedi M. And Ülkü S.(2008), A review on adsorption heat pump: Problems and solutions, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12(2008), p. 2381–2403

Mobedi, M. (2007). A review on adsorption heat pump: Problems and solutions. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12 (2008), 2381–2403-2381–2403.

Solmuş, İ. (2011). An experimental study on the performance of an adsorption Cooling system and the numerical analysis of its adsorbent bed,Doctoral thesis, Middle East Technical University, Ankara, Türkiye.

Ülkü S.(1986),Solar Adsorbtion Heat Pumps, Volume 129 of the series NATO ASI Series pp 424-435

Wang, R.Z.(2001). “Performance improvement of adsorption cooling by heat and mass recovery operation.” International Journal of Refrigeration 24(7):602 – 611.

Wang, R.Z., R.G. Oliveira, (2006). “Adsorption refrigeration, An efficient way to make good use of waste heat and solar energy”, Progress in Energy and Combustion Science, 32(4), p.424 – 458.

Wang, D.C., et al.(2010). “A review on adsorption refrigeration technology and adsorption deterioration in physical adsorption systems.” Renewable and Sustainable Energy Reviews 14(1):344 – 353.

Yıldırım Z. E., İliş G.G., Mobedi M., Ülkü S.(2011), Adsorpsiyonlu Chillerlerde Kullanılabilecek Adsorbent – Adsorbat Çiftlerinin Özellikleri ve Çevrim Performanslarının incelenmesi, X. Ulusal tesisat mühendisliği kongresi, İzmir, 13/16 Nisan.