

İsmail SOLMUŞ
Cihan YILDIRIM
Kadir BİLEN

Abstract:

In this study, the performance of an adsorption cooling system using silica gel-water pair has been theoretically investigated for various evaporator, condenser, adsorption and desorption temperatures. Equilibrium adsorption capacity of the working pair used in the system was evaluated by the modified Dubinin-Astakhov (D-A) equation. Generally, coefficient of performance (COP) of the system increases with the increasing evaporator-desorption and decreasing condenser-adsorption temperatures.

Key Words:

Adsorption, Cooling, COP

Silika Jel-Su Çalışma Çiftini Kullanan Adsorpsiyonlu Soğutma Sisteminin Performans Analizi

ÖZET

Bu çalışmada, silika jel-su çalışma çiftini kullanan adsorpsiyonlu soğutma sisteminin performansı çeşitli evaporatör, kondanser, adsorpsiyon ve desorpsiyon sıcaklıklarında teorik olarak analiz edilmiştir. Sistemde kullanılan çalışma çiftinin denge adsorpsiyon kapasitesi modifiye edilmiş Dubinin-Astakhov (D-A) Denklemi vasıtasıyla hesaplanmıştır. Genel olarak sistemin performans katsayısı (COP) artan evaporatör-desorpsiyon ve azalan kondanser-adsorpsiyon sıcaklığı ile birlikte artış göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Adsorpsiyon, Soğutma, COP

1. GİRİŞ

Türkiye’de artan nüfusa ve büyüyen turizm sektörüne bağlı olarak soğutma ve iklimlendirme sistemlerinin kullanımı, özellikle ülkenin Ege ve Akdeniz kıyılarında giderek yaygınlaşmaktadır. Diğer taraftan, Türkiye’deki soğutma taleplerinin büyük bir kısmı yoğun elektrik enerjisi tüketen geleneksel buhar sıkıştırımlı sistemlerle karşılanmaktadır. Bu nedenle, yaz aylarında, soğutma yüküne bağlı olarak konutlarda ve turizm sektöründe tüketilen elektrik enerjisi miktarında hızlı bir artış gözlemlenmektedir. Soğutma ve iklimlendirme kaynaklı enerji tüketimi, güneş enerjisi, atık ısı veya jeotermal enerji destekli adsorpsiyonlu soğutma (ADS) sistemlerinin geliştirilmesi ve kullanımı ile azaltılabilir.

Adsorpsiyonlu soğutma sistemlerini, günümüzde yaygın bir şekilde kullanılmakta olan geleneksel buhar sıkıştırımlı soğutma sistemleri ile karşılaştırdığımızda bu sistemlerinin sahip olduğu bazı avantajları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- Enerji tasarufu sağlamaları
- Kullandıkları aracı akışkanın çoğunlukla çevreci olması

- Sesiz çalışmaları
- Bakım giderlerinin düşük olması

Fakat ADS sistemleri, ilk yatırım maliyetlerinin yüksek ve performans katsayılarının (COP) düşük olması nedeni ile şimdilik buhar sıkıştırırmalı sistemler ile rekabet edebilecek düzeyde değildirlir. Dolayısıyla bu sistemlerin ilk yatırım maliyetlerinin düşürülmesi ve COP değerlerinin yükseltilmesi ile birlikte ticari bir ürün olmalarının önündeki engeller büyük ölçüde kaldırılmış olacaktır. Bu sistemlerin başarılı bir şekilde çalışması büyük ölçüde adsorban-adsorplanan (adsorbent-adsorbate) çiftinin doğru seçimine bağlıdır. Zeolit-su, zeolit-organik soğutucular, silika jel-su ve aktif karbon-metanol adsorpsiyonlu soğutma sistemlerinde kullanılacak uygun adsorban-adsorplanan çiftlerinden bazılarıdır [1].

Şimdiye kadar birçok araştırmacı tarafından çeşitli adsorban-adsorplanan çalışma çiftlerinin denge adsorpsiyon kapasiteleri farklı denge koşulları için (adsorban yatak sıcaklığı ve adsorplanan buhar basıncı) deneysel olarak elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen bu deney datalarına çeşitli adsorpsiyon denge denklemleri uyarlanmıştır. Farklı adsorban yatak sıcaklığı ve soğutucu (adsorplanan) akışkan buhar basıncında, denge adsorpsiyon kapasitesi deneysel olarak elde edilen adsorban-adsorplanan çalışma çiftlerinden bazıları; sentetik zeolite-su [2], silika jel-su [3, 4], aktif karbon-metanol [2, 5], ACF(A-

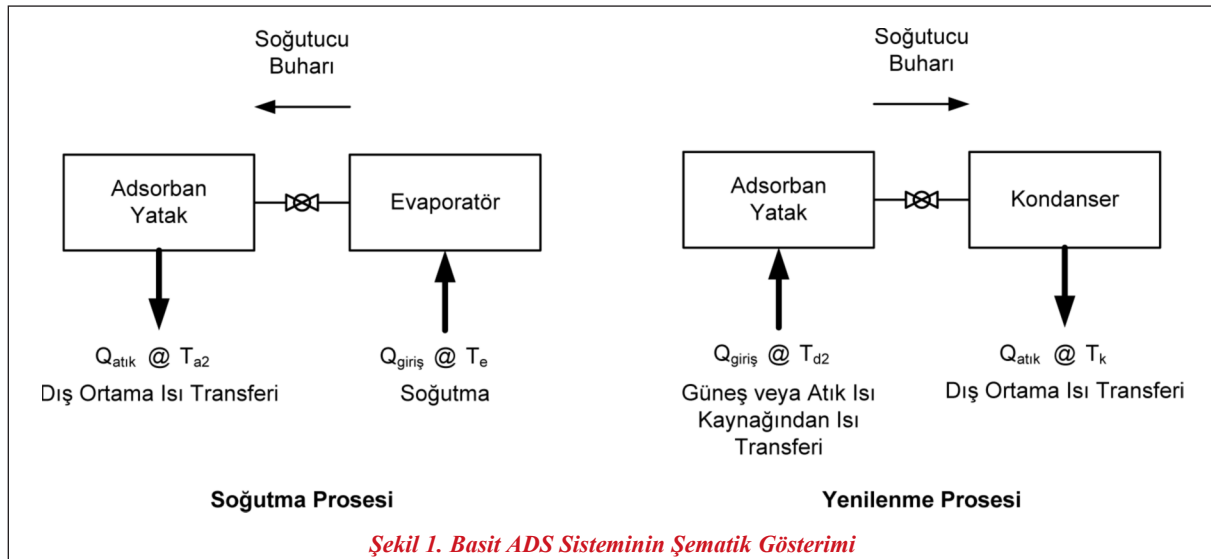
15)-etanol and ACF(A-20)-etanol [6], aktif karbon-amonyum [5], kompozit adsorban-amonyum [5], NA-su ve NB-etanol [7], Maxsorb III-n-butane [8], Maxsorb III- R134a [9] ve doğal zeolit-sudur [10].

Bu çalışmada, silika jel-su çalışma çiftini kullanan adsorpsiyonlu bir soğutma sisteminin performansı (COP) çeşitli evaporatör, kondanser, adsorpsiyon ve desorpsiyon sıcaklıklarında teorik olarak analiz edilecektir.

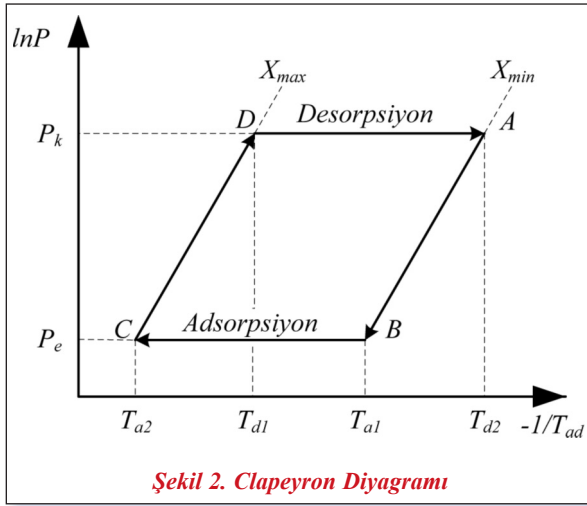
2. BASİT ADSORPSİYONLU SOĞUTMA ÇEVİRİMİ

Basit ADS sistemini oluşturan başlıca elemanlar; evaporatör, kondanser ve termal enerji destekli adsorban yataktır. Sistemin basit şematik gösterimi soğutma (adsorpsiyon) ve yenilenme (desorpsiyon) süreçleri için Şekil 1’de verilmiştir.

Basit sistemde soğutucu buharını alternatifli olarak yoğunlaştırıcıya yollayan ve buharlaştırıcıdan soğutucu buharını alan tek bir adsorban yatak kullanılır. Adsorban yatağın adsorpsiyon kapasitesi (X), adsorban yatak sıcaklığı (adsorpsiyon sıcaklığı) ve soğutucu akışkan buhar basıncının bir fonksiyonudur ve genellikle sistemde kullanılan çalışma çiftine ait adsorpsiyon denge denklemi ile ifade edilir. İdeal ADS sisteminin bir tam çevrimi en iyi Şekil 2’de verilen Clapeyron diyagramının eşliğinde açıklanabilir.



Makale



Söz konusu basit sisteme ait çevrim Clapeyron diyagramı üzerinde A noktası ile gösterilen durumda başlar. Bu noktada sistemde kullanılan adsorban malzemenin adsorpsiyon kapasitesi en düşük seviyededir. A noktasında yatak sıcaklığı T_{d2} ve yatak içerisindeki basınç P_k (kondanser) değerine eşittir. Adsorban yatak, sistem elemanları arasında aracı akışkan alışverişi olmadan çevreye ısı transfer ile T_{a1} ara sıcaklığına soğutulur ve neticesinde, yatak içerisindeki soğutucu akışkan basıncı kondanser basıncından (P_k) evaporatör (P_e) basıncına iner (B noktası). Yatakdaki mevcut denge durumu A noktasından B noktasına değişir iken adsorban yataкта bir miktar soğutucu akışkan adsorplanır ancak bu miktar çok düşük olduğu için ihmal edilebilir. Dolayısı ile A ile B arasında adsorban yatağın adsorpsiyon kapasitesinin sabit kaldığı kabul edilir. Adsorban yatağın B noktasından çevreye ısı transfer ile C noktasına (T_{a2} en düşük sıcaklık) soğutulması durumunda (adsorpsiyon prosesi), adsorban malzemenin adsorpsiyon kapasitesi sabit evaporatör basıncında artarak maksimum bir değere ulaşır. C noktasından sonra yatak sistem elemanları arasında aracı akışkan alışverişi olmadan güneş veya atık ısı kaynağı desteği ile T_{d1} ara sıcaklığına ısıtılır (D noktası). Yatak sıcaklığı sabit adsorpsiyon kapasitesi doğrusu boyunca bir miktar artar iken yatak içerisindeki basınç da evaporatör (P_e) basıncından kondanser basıncına (P_k) yükselir. Adsorban yatağın sabit kondanser basıncında D noktasından en yüksek sıcaklık olan T_{d2} yenilenme sıcaklığına ısıtılması durumunda (desorpsiyon prosesi), adsorban malzemenin adsorpsiyon kapasitesi

azalarak minimum bir seviyeye iner ve böylece çevrim tamamlanmış olur.

A noktasındaki yatağın yenilenme sıcaklığı olan T_{d2} (desorpsiyon sıcaklığı) ve C noktasında yatağın soğutulduğu en düşük sıcaklık olan T_{a2} (adsorpsiyon sıcaklığı) sırasıyla sistemde kullanılan termal ısı kaynağının ve soğutma sıvısının sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. İdeal çevrimde adsorpsiyon ve desorpsiyon prosesleri sırasında evaporatör ve kondenser basınçları sabit olmakla birlikte yatak içerisindeki sıcaklık gradyanları ihmal edilebilir durumdur.

3. PERFORMANS ANALİZLERİ

Yukarıda bahsedilen ADS sisteminin performans analizleri çeşitli evaporatör (T_e), kondenser (T_k), desorpsiyon (T_{d2}) ve adsorpsiyon (T_{a2}) sıcaklıklarında yapılmıştır. Performans hesaplamaları aşağıda belirtilen kabuller çerçevesinde icra edilmiştir.

- Sistemde kullanılan adsorban malzeme ve soğutucu akışkanın ısı kapasite değerlerinin sabit olduğu varsayılmıştır.
- Desorpsiyon ısı adsorpsiyon ısısına eşit ve sabit olduğu kabul edilmiştir.
- Metal kütle soğutmak (evaporatör) için gerekli enerji miktarı, performans analizlerinde ihmal edilmiştir.

Çevrimin COP değeri aşağıdaki denklem vasıtasıyla hesaplanmıştır.

$$COP_{cyc} = \frac{Q_c}{Q_{in}} \quad (1)$$

Sistemin soğutma kapasitesi (Q_c), soğutucu akışkanın gizli buharlaşma ısısından soğutucu akışkanın kondenser sıcaklığından evaporatör sıcaklığına soğutulması için gerekli duyulur ısı miktarının çıkarılması ile bulunmuştur [11].

$$Q_c = m_{ad} (X_{max} - X_{min}) \left[L(T_e) - \int_{T_e}^{T_k} C_{p-s} dT \right] \quad (2)$$

(2) denkleminde m_{ad} (kg) adsorban malzemenin küt-

lesini, C_{p_s} (kJ/kg.K) soğutucu akışkanın özgül ısısını, X (kg_w/kg_{ad}) adsorban malzemenin adsorpsiyon kapasitesini, L (kJ/kg) soğutucu akışkanın gizli buharlaşma ısısını ifade etmektedir.

Desorpsiyon prosesi sırasında yatağı yenilemek için gerekli toplam enerji miktarı (Q_{in}), adsorban yatağı oluşturan metal kütle (Q_{me}), adsorban malzemeyi (Q_{ad}) ve soğutucu akışkanı (Q_s) ısıtmak ve diferansiyel miktarda soğutucu akışkanı desorplamak (Q_{de}) için gerekli enerji miktarlarının toplamına eşittir [11].

$$Q_{in} = Q_{me} + Q_{ad} + Q_s + Q_{de} \quad (3)$$

$$Q_{me} = \int_{T_{a2}}^{T_{d2}} m_{me} C_{p_{me}} dT \quad (4)$$

$$Q_{ad} = \int_{T_{a2}}^{T_{d2}} m_{ad} C_{p_{ad}} dT \quad (5)$$

$$Q_s = \int_{T_{a2}}^{T_{d2}} m_{ad} X(T, P) C_{p_s} dT = \quad (6)$$

$$\int_{T_{a2}}^{T_{d1}} m_{ad} X_{max} C_{p_s} dT + \int_{T_{d1}}^{T_{d2}} m_{ad} X(T, P_k) C_{p_s} dT$$

$$Q_{de} = \int_{T_{d1}}^{T_{d2}} m_{ad} H_{de} dX = \int_{T_{d1}}^{T_{d2}} m_{ad} H_{de} \frac{dX}{dT} dT \quad (7)$$

Sistemde kullanılan soğutucu akışkan (C_{p_s}), metal malzeme ($C_{p_{me}}$) ve adsorban malzemenin ($C_{p_{ad}}$) ısı kapasite değerleri sırasıyla 4,18, 0,46 ve 0,92 kJ/kg.K'dir [12]. Silika jel-su çalışma çiftinin desorpsiyon ısısı (H_{de}) 2800 kJ/kg'dır [13]. Parametrik değerlendirmelerde adsorban yatağı oluşturan metal kütle (m_{me}) ve adsorban malzeme (m_{ad}) kütlesi sırasıyla 2 ve 8 kg olarak alınmıştır.

Adsorban malzemenin adsorpsiyon kapasitesi, adsorban yatak sıcaklığı ve soğutucu akışkan buhar basıncının bir fonksiyonudur. Silika jel-su çalışma çiftinin denge adsorpsiyon kapasitesi aşağıda verilmiş olan modifiye Dubinin-Astakhov (D-A) denkle-

mi vasıtasıyla hesaplanmıştır [12]. Bu denklemin sabitleri deneysel olarak elde edilmiştir.

$$X = 0.346 \exp \left[-5.6 \left(\frac{T}{T_{doy}} - 1 \right)^{1.6} \right] \quad (8)$$

Soğutucu akışkan olarak kullanılan suyun gizli buharlaşma ısısı evaporatör sıcaklığının bir fonksiyonu olarak aşağıdaki denklem vasıtasıyla hesaplanmıştır.

$$L_{H_2O} = 3171.2 - 2.4425 * T (K) \quad (9)$$

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

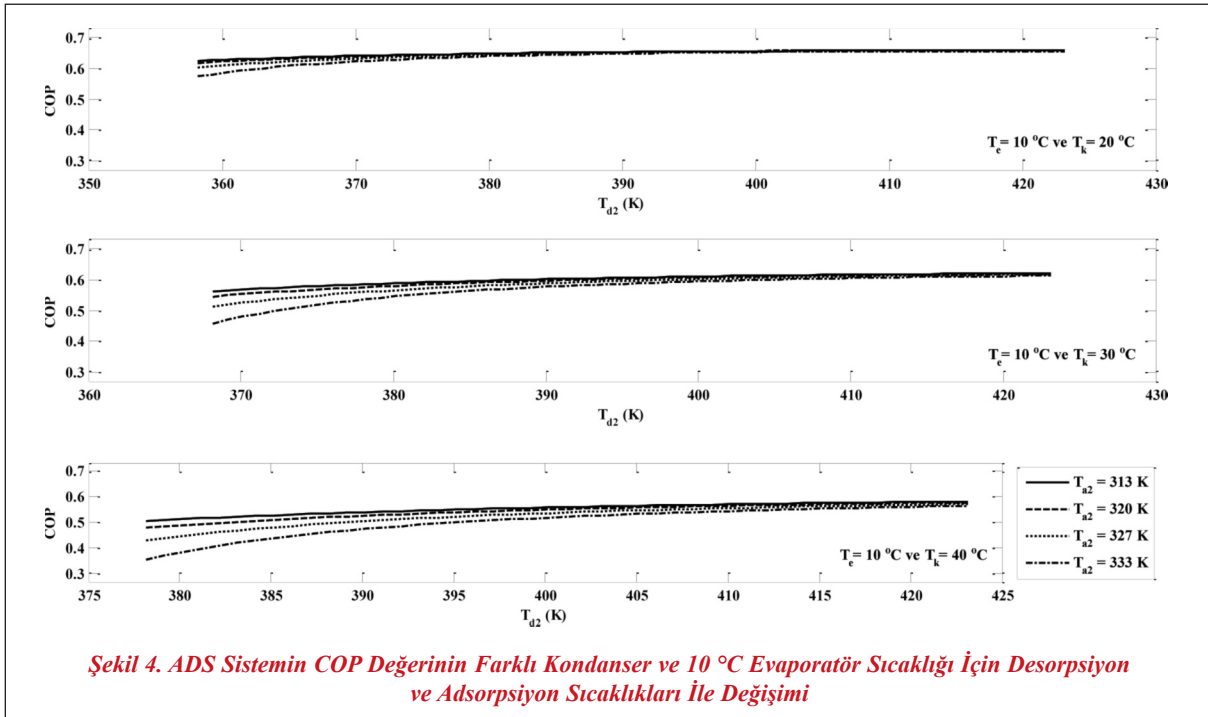
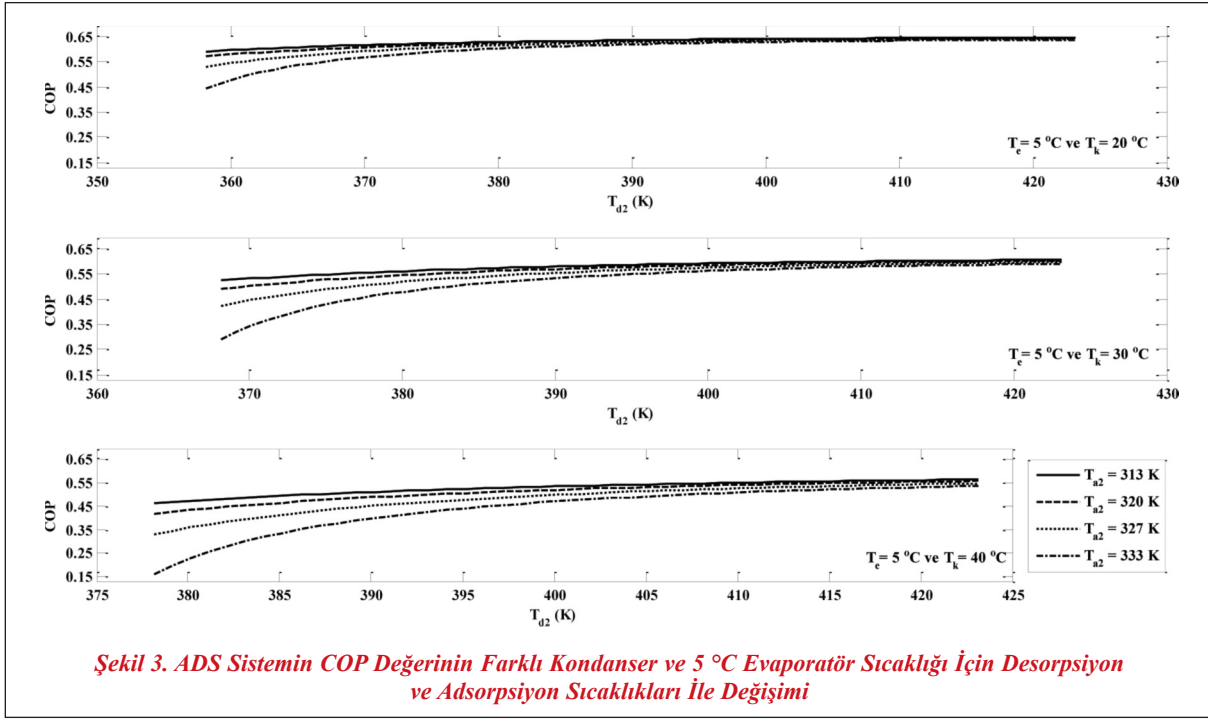
Bu çalışmada silika jel-su çalışma çiftini kullanan ve ideal çevrime göre çalışan basit adsorpsiyonlu bir soğutma sisteminin performansı farklı adsorpsiyon (40-60 °C), desorpsiyon (85-150 °C), evaporatör (5-15 °C) ve kondanser (20-40 °C) sıcaklıklarında analiz edilmiştir. Genel olarak sistemin performans katsayısı (COP), artan evaporatör-desorpsiyon ve azalan kondanser-adsorpsiyon sıcaklıkları için artış göstermektedir. Sistem tarafından bu tarz bir davranışın sergilenmesi X_{max} ile X_{min} arasındaki farkın yukarıda bahsedilen koşullar altında artış eğilimi içerisine girmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, evaporatör ve kondanser sıcaklıkları arasındaki fark azaldıkça adsorpsiyon ve desorpsiyon sıcaklıklarının sistem performansı üzerine olan etkisi azalmaktadır. Bu davranış X_{max} ve X_{min} değerlerinin sırasıyla artan evaporatör ve azalan kondanser sıcaklıkları ile birlikte yine sırasıyla adsorpsiyon ve desorpsiyon sıcaklıklarında meydana gelen değişimlerden etkilenmemeleri ile açıklanabilir. Ancak, farkın yüksek olduğu durumlarda sistemin COP değerinin olumsuz yönde etkilenmemesi için adsorpsiyon sıcaklığını düşük desorpsiyon sıcaklığını ise yüksek tutmak gerekmektedir.

Performans analizlerinin yapıldığı sıcaklık sınırları arasında sistemin COP değeri yaklaşık olarak 0,15–0,7 aralığında değişmektedir. Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'den görüldüğü üzere sistemin performans katsayısı evaporatör ve kondanser sıcaklıkları arasın-

Makale

daki fark azaldıkça artış ve tam tersi durum gerçekleştiğinde ise düşüş göstermektedir. Ancak, Şekil 5'e bakıldığında (evaporatör ve kondanser sıcaklıkları arasındaki farkın 5 °C olduğu durumda) sistemin performans katsayısının belirli bir noktadan sonra artan desorpsiyon sıcaklığı ile bütün adsorpsiyon

sıcaklıkları için küçük miktarda bir düşüş gösterdiği açıkça görülmektedir. Bu davranış genel olarak düşük kondanser sıcaklıklarında X_{min} değerinin artan desorpsiyon sıcaklığı ile kayda değer bir değişim göstermemesinden kaynaklanmaktadır. Ancak bu davranış düşük evaporatör ve yüksek adsorpsiyon



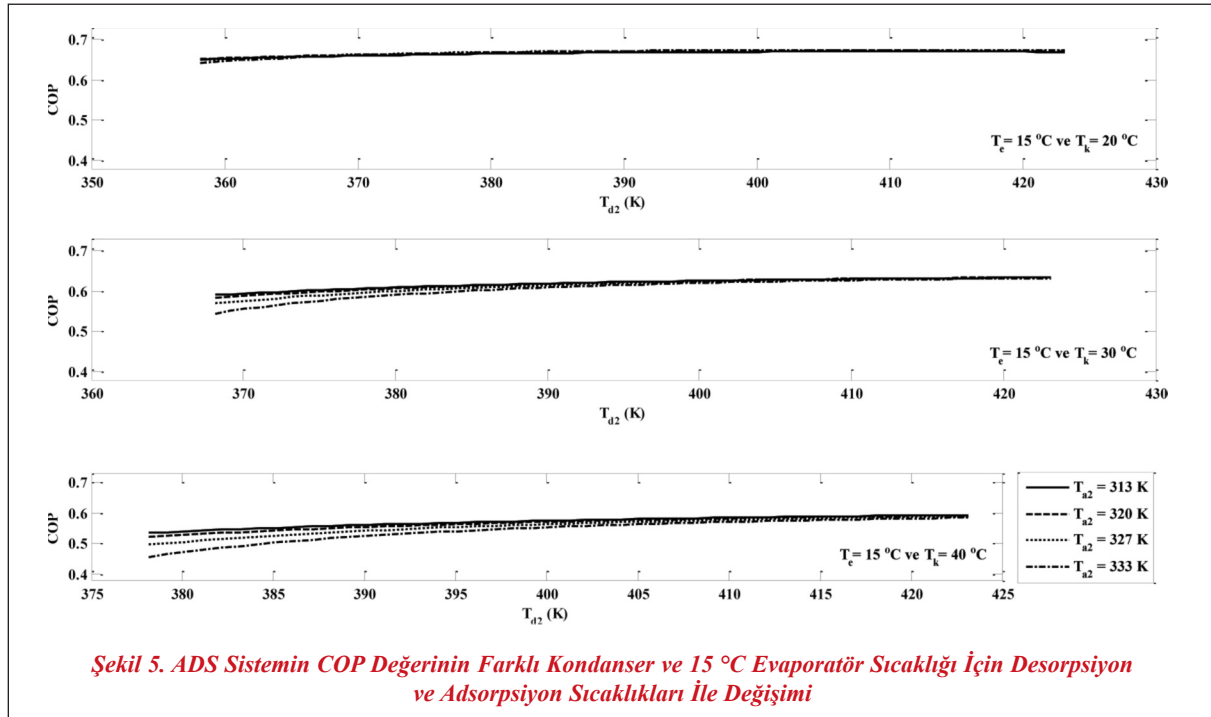
sıcaklıklarında (Şekil 3) X_{max} değerinin de düşük olması nedeniyle pek belirgin değildir.

Genel olarak desorpsiyon sıcaklığının maksimum değeri düşük kondanser sıcaklıkları için 390 K ile sınırlandırılmalıdır. Ancak kondanser sıcaklığı arttıkça daha yüksek sıcaklıklara çıkılması sistem performansı üzerinde kayda değer olmasa bile olumlu bir etki yaratacaktır. Bu durum Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'de açıkça gösterilmiştir. Sonuç olarak bu sıcaklık sınırı bize söz konusu soğutma sisteminin güneş enerjisi destekli olarak çalıştırılabileceğini göstermektedir. Ayrıca, kondanser sıcaklığı arttıkça desorpsiyon sıcaklığının alt limiti yükselmektedir (Clapeyron diyagramı üzerinde T_{d1} ile gösterilen nokta). Bunun temel nedeni, artan kondanser sıcaklığı ile birlikte soğutucu akışkanın doyma basıncının artmasıdır. Dolayısıyla bu basınç değerine ulaşmak için yatağın daha yüksek bir sıcaklık değerine ısıtılması gerekmektedir.

Sistemin performans katsayısı özellikle düşük evaporatör sıcaklıklarında artan adsorpsiyon sıcaklığı ile birlikte düşüş göstermektedir. Diğer bir ifade ile bu koşullar altında X_{max} değeri azalmaktadır. Bu nedenle düşük evaporatör sıcaklıklarında adsorpsiyon

sıcaklığı mümkün olduğunca düşürülmelidir ki sistem performansı olumsuz yönde etkilenmesin. Ancak, minimum adsorpsiyon sıcaklığı adsorpsiyon prosesi sırasında yatağı soğutmak için kullanılan soğutucu akışkanın sıcaklığı ile sınırlıdır.

Silika jel-su çalışma çiftinin desorpsiyon ısı literatürde sıklıkla kullanılan diğer çalışma çiftleriyle karşılaştırıldığında (Aktif karbon-metanol, Monolithic karbon-amonyum, Aktif karbon-amonyum) oldukça yüksektir ve bu durum sistem performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Diğer taraftan, silika jel sistemde adsorban malzeme olarak kullanılması durumunda desorpsiyon sıcaklığının düşük olması nedeniyle sistemin güneş enerjisi destekli olmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca, silika jel ucuz ve kolay ulaşılabilir bir malzemedir. Soğutucu akışkan olarak kullanılan suyun gizli buharlaşma ısısının yüksek olması sistemin soğutma kapasitesini artırmaktadır. Ancak, suyun çalışma basıncının atmosfer basıncının altında olması sistemde vakum problemlerine ve sistem elemanlarının paslanmaz çelik olmaması durumunda elemanlar üzerinde korozyona sebebiyet vermektedir. Ayrıca, aracı akışkan olarak suyun kullanılması durumunda 0 °C derecenin altında soğutma yapmak mümkün değildir ve yatak içerisindeki



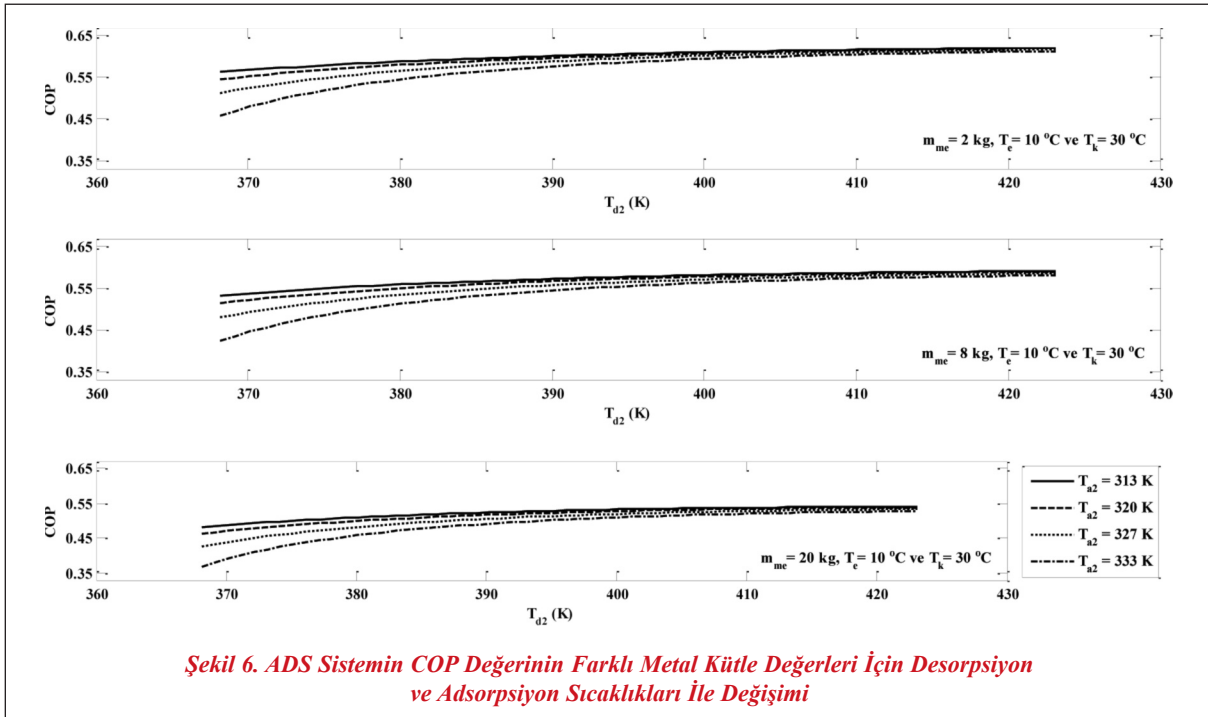
Makale

düşük basınç nedeniyle soğutucu akışkan transferi oldukça kötüdür ve bu durum çevrim zamanını uzatır. Diğer taraftan suyun kolay ulaşılabilir, ucuz ve çevre dostu bir akışkan olması tercih edilmesi için yeterli kriterleri oluşturmaktadır.

Şekil 6'da soğutma sisteminin performans katsayısı farklı adsorban yatak metal kütle değerleri için incelenmiştir. Sistemin performans katsayısı artan metal kütle değeri ile birlikte düşüş göstermektedir. Bunun temel nedeni artan metal kütle ile birlikte desorpsiyon prosesi sırasında yatağı yenilemek için sisteme girilmesi gereken enerji miktarının artmasıdır. Dolayısıyla sistem performansının olumsuz yönde etkilenmemesi için yatakta mümkün olduğunca az metal malzeme kullanılmalıdır. Ancak sistem vakum altında çalıştığı ve kaynak yöntemiyle imal edildiği için yatak cidar kalınlığı belirli bir değerin üstünde olmalıdır. Aksi takdirde sistemde vakum problemlerinin ortaya çıkması kaçınılmazdır. Sonuç olarak optimum cidar kalınlığının seçilmesi önemli bir tasarım problemi.

SONUÇ

Silika jel-su çalışma çiftini kullanan adsorpsiyonlu bir soğutma sisteminin performansı farklı adsorpsiyon, desorpsiyon, evaporatör ve kondanser sıcaklıklarında değerlendirilmiştir. Sistemin COP değeri performans analizlerinin yapıldığı koşullar altında yaklaşık olarak 0,15–0,7 aralığında değişim göstermektedir. Artan evaporatör-desorpsiyon ve azalan kondanser-adsorpsiyon sıcaklıkları sistem performansı üzerinde olumlu bir etki yaratmaktadır. Adsorpsiyon ve desorpsiyon sıcaklıklarında meydana gelen değişimin sistem performansı üzerinde yarattığı etki evaporatör ve kondanser sıcaklıkları arasındaki fark azaldıkça ihmal edilebilir bir düzeye inmektedir. Desorpsiyon sıcaklığının üst limiti düşük kondanser sıcaklıkları için 390 K olmalıdır. Bu sıcaklık sınırı silika jel-su çalışma çiftini kullanan bir ADS sisteminin güneş enerjisi destekli çalıştırılabileceğini göstermektedir. Ayrıca, desorpsiyon sıcaklığının bu değeri aşması durumunda sistem performansı üzerinde pozitif yönde kayda değer bir değişim gözlemlenmemektedir. Adsorban yatağı oluşturan metal kütle miktarı artıkça sistem performansı düşmektedir. Bu nedenle adsorban yatak tasarımı sırasında bu hususa dikkat edilmesi büyük önem arz etmektedir.



Şekil 6. ADS Sistemin COP Değerinin Farklı Metal Kütle Değerleri İçin Desorpsiyon ve Adsorpsiyon Sıcaklıkları İle Değişimi

KAYNAKLAR

- [1] SUMATHY, K., YEUNG, K.H., YONG, L., “Technology development in the solar adsorption refrigeration systems, Progress in Energy and Combustion Science”, 29, 301–327, 2003.
- [2] WANG, R.Z., WANG, B.Q., “Adsorption mechanism and improvements of the adsorption equation for adsorption refrigeration pairs”, International Journal of Energy Research, 23, 887–898, 1999.
- [3] NG, K.C., CHUA, H.T., CHUNG, C.Y., LOKE, C.H., KASHIWAGI, T., AKISAWA, A., SAHA, B.B., “Experimental investigation of the silica–gel water adsorption isotherm characteristics”, Applied Thermal Engineering, 21, 1631–1642, 2001.
- [4] AFONSO, M.R.A., SILVEIRA, J.V., “Characterization of equilibrium conditions of adsorbed silica–gel/water bed according to Dubinin–Astakhov and Freundlich”, Thermal Engineering, 4, 3-7, 2005.
- [5] WANG, L.W., WANG, R.Z., LU, Z.S., CHEN, C.J., WANG, K., WU, J.Y., “The performance of two adsorption ice making test units using activated carbon and a carbon composite as adsorbents”, Carbon, 44, 2671-2680, 2006.
- [6] EL-SHARKAWY, I.I., KUWAHARA, K., SAHA, B.B., KOYAMA, S., NG, K.C., “Experimental investigation of activated carbon fibers/ethanol pairs for adsorption cooling system application”, Applied Thermal Engineering, 26, 859-865, 2006.
- [7] CUI, Q., TAO, G., CHEN, H., GUO, X., YAO, H., “Environmentally benign working pairs for adsorption refrigeration”, Energy, 30, 261-271, 2005.
- [8] SAHAM, B.B., CHAKRABORTY, A., KOYAMA, S., YOON, S.H., MOCHIDA, I., KUMJA, M., YAP, C., NG, K.C., “Isotherms and thermodynamics for the adsorption of n-butane on pitch based activated carbon”, International Journal Heat and Mass Transfer, 51, 1582-1589, 2008.
- [9] SAHA, B.B., HABIB, K., EL-SHARKAWY, I.I., KOYAMA, S., “Adsorption characteristics and heat of adsorption measurements of R-134a on activated carbon”, International Journal of Refrigeration, 32, 1563-1569, 2009.
- [10] SOLMUŞ, İ., YAMALI, C., KAFTANOĞLU, B., BAKER, D., ÇAĞLAR, A., “Adsorption properties of a natural zeolite–water pair for use in adsorption cooling cycles”, Applied Energy, 87, 2062-2067, 2010.
- [11] FADAR, A.E., MIMET, A., PEREZ-GARCIA, M., “Modelling and performance study of a continuous adsorption refrigeration system driven by parabolic trough solar collector”, Solar Energy, 83, 850–861, 2009.
- [12] DI, J., WU, J.Y., XIA, Z.Z., WANG, R.Z., “Theoretical and experimental study on characteristics of a novel silica gel-water chiller under the conditions of variable heat source temperature”, International Journal of Refrigeration, 30, 515-526, 2007.
- [13] CHO, S.H., KIM, J.N., “Modeling of a silica gel/water adsorption cooling system”, Energy, 17, 829-839, 1992.