

## ABSORPSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE KULLANILAN EŞANJÖRLERİN SİSTEMİN PERFORMANSINA ETKİSİ

Ömer KAYNAKLI\*  
Recep YAMANKARADENİZ

**Özet:** Bu çalışmada, absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde ısı geri kazanımı için kullanılan eşanjörlerin, sistemin performans katsayısına (COP) etkileri incelenmiştir. Sistemde kullanılan çift olarak, absorpsiyonlu soğutma sistemleri arasında yaygın kullanım alanı olan  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$  eriyiği alınmıştır. Çevrimin termodinamik analizi yapılarak, amonyak ve amonyak-su eriyiğine ait termodinamik özellikler verilmiştir. Sistemde kullanılan 3 adet eşanjörün etkenlik katsayılarının değişiminin, sistemin COP değeri üzerindeki etkileri gözlenmiştir. Ayrıca, kaynatıcı, buharlaştırıcı, yoğurturucu ve absorber sıcaklıklarının sistemin performansına etkileri araştırılmıştır. Sonuç olarak, sistemin performansına en fazla etkisi olan eşanjörün eriyik eşanjörü olduğu ve sistemin performansı, kaynatıcı ve buharlaştırıcı sıcaklıklarının artmasıyla artarken, yoğurturucu ve absorber sıcaklıklarının artmasıyla azaldığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Absorpsiyonlu soğutma, Amonyak su eriyiği, Performans katsayısı, Isı eşanjörleri.

### Effect On Performance Of The Systems Of Heat Exchangers Used In Absorption Refrigeration Systems

**Abstract:** In this study, the effect of heat exchangers, which are used to recovery heat energy in the absorption refrigeration systems, is investigated on the coefficient of performance (COP). Ammonia-water solution, widely used in the absorption refrigeration systems, is taken as an absorbent-refrigeration pair. Thermodynamic analysis of system is performed and thermodynamic properties of ammonia and ammonia-water solution are presented. The effect of effectiveness variations for three heat exchangers, which are used in the system, are observed on COP. Also, the effect of generator, evaporator, condenser and absorber temperatures are investigated on COP. As a result, the most effective heat exchanger on the system performance is solution heat exchanger. The system performance increases with increasing generator and evaporator temperatures, but decreases with increasing condenser and absorber temperatures.

**Key Words:** Absorption refrigeration system, Ammonia-water solutions, Coefficient of performance, Heat exchangers.

## 1. GİRİŞ

Absorpsiyonlu soğutma sistemleri, temini ucuz ve sıcaklığı yaklaşık  $50\text{-}200^\circ\text{C}$  aralığında olan ısı kaynakları ile kullanımı oldukça ekonomik olmaktadır. Ucuz enerji kaynakları arasında, bir prosesinde açığa çıkan atık ısı, güneş enerjisi, jeotermal enerji sayılabilir.

Absorpsiyonlu soğutma çevrimlerinde iki akışkan dolaşmaktadır. Biri soğutucu akışkan diğeri ise absorbe edici (absorbent) olarak adlandırılır. Kullanımı en yaygın absorpsiyonlu soğutma sistemleri, amonyak-su ( $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ ) ve su-lityum bromür ( $\text{H}_2\text{O-LiBr}$ ) eriyiği kullanan sistemlerdir.  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$  eriyiği kullanan sistemlerde soğutucu akışkan amonyak, absorbent ise amonyak-su eriyiğidir.  $\text{H}_2\text{O-LiBr}$  eriyiği kullanan sistemlerde soğutucu akışkan olarak sistemde su, absorbent olarak ise su-lityum bromür eriyiği dolaşmaktadır. Bu sistemlerde soğutucu akışkan olarak su kullanılması nedeniyle düşük sıcaklık uygulamalarında kullanılmamaktadırlar. Soğutucu akışkanın amonyak olduğu sistemlerde  $-10^\circ\text{C}$  sıcaklığa kadar inilebilmektedir.

Konu ile ilgili yapılan çalışmalarda, Sun (1998)  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$  çiftinin alternatifi olabilecek bazı eriyikler sunmuştur. Çalışmasında çevrimin termodinamik analizini yaparak amonyağın farklı

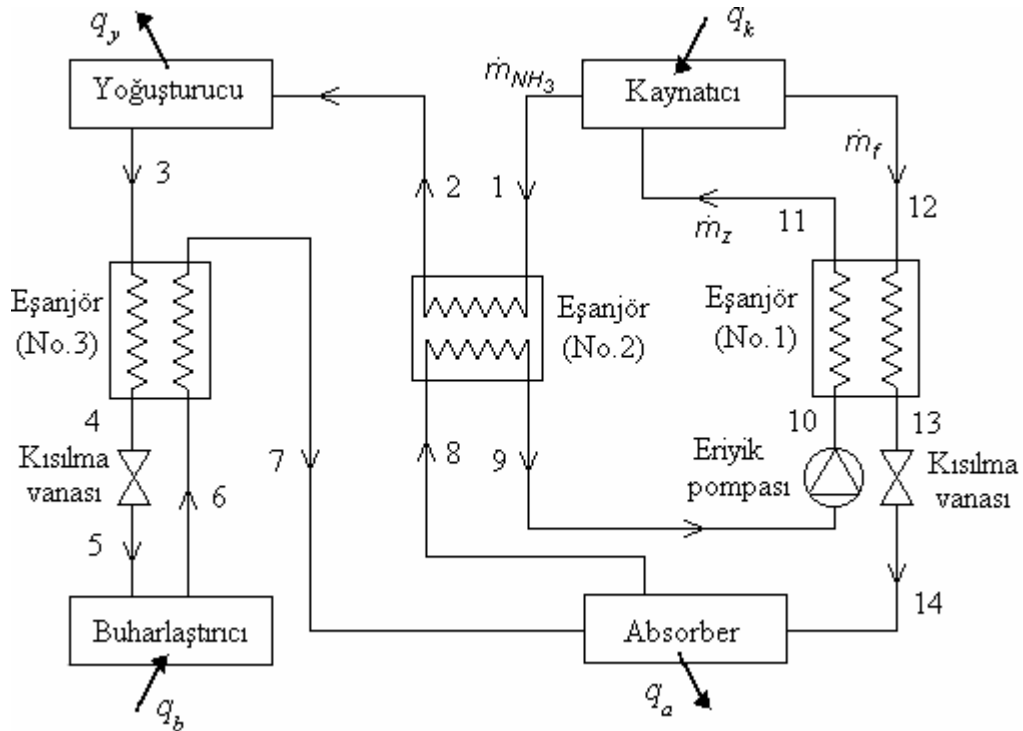
\* Uludağ Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. Makine Mühendisliği Bölümü 16059, Görükle/Bursa

absorbentlerle karışımları neticesinde oluşturduğu eriyiklerin performansını incelemiştir. Mostafavi ve Agnew (1996) LiBr-H<sub>2</sub>O eriyiği kullanan absorpsiyonlu soğutma makinesinin performansının çevre sıcaklığı ile değişimini incelemiştir. Seara ve Vazquez (2001), optimum kaynatıcı sıcaklığı (OGT) tanımlaması yaparak, NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O çevrimi için sistemdeki elemanların sıcaklıklarının sistemin performansına ve OGT'ye etkisini incelemiştir. Horuz (1998), NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>O-LiBr eriyiği kullanan absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin ve aynı sıcaklıklar arasında çalışan carnot makinesinin COP değerini farklı kaynatıcı, buharlaştırıcı ve yoğusturucu sıcaklıklarında incelemiştir. Ayrıca sistemleri çalıştığı basınç aralıkları ve soğutma yükleri açısından karşılaştırmıştır.

Bu çalışmada, NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O eriyiği kullanan absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde ısı geri kazanımı için kullanılan eşanjörlerin, sistemin performans katsayısına (COP) etkileri incelenmiştir. Amonyak ve amonyak-su eriyiğinin termodinamik özellikleri verilerek sistemin termodinamik analizi yapılmıştır. Sistemde kullanılan 3 adet eşanjörün farklı etkenlik katsayılarında sistemin COP değerinin değişimi gözlenmiştir. Ayrıca, kaynatıcı, buharlaştırıcı, yoğusturucu ve absorber sıcaklıklarının sistemin performansına etkileri araştırılmıştır.

## 2. ÇEVİRİMİN ANALİZİ

Tek kademeli absorpsiyonlu soğutma sisteminin şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiştir. Kaynatıcıdan çıkan eriyik, absorberden çıkan eriyiğe göre daha sıcaktır ve Şekil 1'de görülen eriyik eşanjörü (1 nolu eşanjör) aracılığıyla, kaynatıcıdan çıkan sıcak eriyiğin ısı enerjisinden yararlanarak göreceli olarak soğuk olan eriyiğin sıcaklığı artırılır. Bu şekilde kaynatıcıda eriyiğe verilmesi gerekli ısı enerji azaltılarak sistemin soğutma etkenliği (COP) artırılması amaçlanmaktadır. 2 nolu eşanjörde ise kaynatıcıdan çıkan kızgın buharın sıcaklığından yararlanarak absorberden çıkan eriyiğin sıcaklığı bir miktar artırılır. Böylece kaynatıcıya gönderilmeden önce eriyiğin sıcaklığı arttığından sistemin COP değeri artmakta, diğer taraftan soğutucu akışkanın sıcaklığı azaldığından yoğusturucu kapasitesi de azalmaktadır. Soğutma devresinde bulunan 3 nolu eşanjör ile, yoğusturucudan çıkan soğutucu akışkanın sıcaklığı azaltılarak buharlaştırıcıya daha düşük entalpi değerinde girmesi sağlanır. Bu şekilde buharlaştırıcı kapasitesinin artırılması suretiyle sistemin COP değerini iyileştirmek amaçlanmaktadır. Aşağıda NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O eriyiği kullanan absorpsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik analizi yer almaktadır.



Şekil 1.

Tek kademeli absorpsiyonlu soğutma sisteminin şematik gösterimi

Kaynatıcıda kütle dengesi yazıldığında;

$$\dot{m}_z = \dot{m}_f + \dot{m}_{NH_3} \quad (\text{toplam kütle dengesi}) \quad (1)$$

$$\dot{m}_z \cdot X_z = \dot{m}_f \cdot X_f + \dot{m}_{NH_3} \quad (\text{amonyak dengesi}) \quad (2)$$

elde edilir. 1 ve 2 nolu denklemlerden;

$$\dot{m}_z = \frac{1 - X_f}{X_z - X_f} \dot{m}_{NH_3} \quad (3)$$

$$\dot{m}_f = \frac{1 - X_z}{X_z - X_f} \dot{m}_{NH_3} \quad (4)$$

3 nolu denklemden sistemin dolaşım oranı, FR;

$$FR = \frac{\dot{m}_z}{\dot{m}_{NH_3}} \quad (5)$$

olarak tanımlanır. Bu durumda amonyağın birim kütlesi için sistemdeki elemanların ısı kapasiteleri;

$$q_k = h_1 + (FR - 1) \cdot h_{12} - FR \cdot h_{11} \quad (6)$$

$$q_b = h_6 - h_5 \quad (7)$$

$$q_y = h_3 - h_2 \quad (8)$$

$$q_a = FR \cdot h_8 - (FR - 1) \cdot h_{14} - h_7 \quad (9)$$

### 1 Nolu Eşanjör

1 nolu eşanjördeki enerji dengesinden aşağıda verilen bağıntılar yazılabilir (Sun, 1998);

$$T_{13} = \varepsilon_{ex,1} \cdot T_{10} + (1 - \varepsilon_{ex,1}) \cdot T_{12} \quad (10)$$

$$h_{11} = h_{10} + \frac{FR - 1}{FR} (h_{12} - h_{13}) \quad (11)$$

### 2 Nolu Eşanjör

2 nolu eşanjörde kaynatıcıdan ayrılan soğutucu akışkanın kızgınlığı alınmaktadır. Yoğuşma işlemi yoğuşturucuda gerçekleşmektedir. Dolayısıyla soğutucu akışkan, eşanjörü en fazla doymuş buhar şartlarında terk edebilecektir. Ancak burada, yoğuşturucunun ve absorberin sıcaklıklarına bağlı olarak iki durum söz konusudur.

#### 1. Durum: ( $T_a > T_y$ )

Bu durumda soğutucu akışkan en fazla absorber sıcaklığına kadar inebilecektir. Eşanjördeki enerji dengesinden;

$$h_2 = h_1 - \varepsilon_{ex,2} \cdot (h_1 - h_{8^*}) \quad (12)$$

$$h_9 = h_8 + \frac{\varepsilon_{ex,2} \cdot (h_1 - h_{8^*})}{FR} \quad (13)$$

yazılır. Burada,  $h_{8^*}$ ,  $T_8$  (absorber) sıcaklığındaki soğutucu akışkanın kızgın buhar entalpisidir.

#### 2. Durum: ( $T_a < T_y$ )

Bu durumda soğutucu akışkan en fazla yoğuşturucu sıcaklığına kadar inebilecektir ve  $h_{8^*}$ , yoğuşturucu sıcaklığındaki soğutucu akışkanın doymuş buhar entalpisi olacaktır. Soğutucu akışkanın ve eriyiğin eşanjörden çıkış şartları 1. durum için verilen denklemler kullanılarak bulunabilir.

### 3 Nolu Eşanjör

Soğutma devresinde bulunan 3 nolu eşanjöre yoğuşturucudan çıkan doymuş sıvı ve buharlaştırıcıdan çıkan doymuş buhar fazındaki soğutucu akışkan girmektedir. Buharlaştırıcıdan çıkan

akışkan bir miktar daha ısınıp kızgın buhar fazında absorbere girerken yoğuşturucudan çıkan akışkan ise daha da soğuyarak buharlaştırıcıya girmektedir. 3 nolu eşanjörde enerji dengesi yazılırsa aşağıda verilen bağıntılar elde edilir;

$$h_7 = h_6 + \varepsilon_{ex,3} \cdot (h_{3^*} - h_6) \quad (14)$$

$$h_4 = h_3 - \varepsilon_{ex,3} \cdot (h_{3^*} - h_6) \quad (15)$$

burada,  $h_{3^*}$ ,  $T_3$  (yoğuşturucu) sıcaklığında ve  $P_b$  basıncındaki soğutucu akışkanın kızgın buhar entalpisi. Eriyik pompası çıkış şartları ve pompalama için gerekli güç;

$$h_6 = h_5 + (P_y - P_b) \cdot v_z \quad (16)$$

$$W_p = (P_y - P_b) \cdot v_z \cdot \dot{m}_z \quad (17)$$

bağıntılarıyla bulunabilir. Absorberden ayrılan amonyak bakımından zengin eriyiğin pompalanması için amonyakın birim kütlesi başına gerekli güç;

$$w_p = (P_y - P_b) \cdot v_z \cdot FR \quad (18)$$

bağıntısıyla bulunabilir. Soğutma sistemlerinin performansını gösteren COP değeri, harcanan birim iş başına yapılan soğutma miktarı olup;

$$COP = \frac{q_b}{q_k + w_p} \quad (19)$$

şeklinde tanımlanır. Buharlaştırıcı, yoğuşturucu, kaynatıcı ve absorber sıcaklıkları bilindiği takdirde, yukarıda verilen denklemler yardımıyla sistemin performans eğrilerinin eşanjör etkenliğiyle değişimi elde edilebilir.

### 3. TERMODİNAMİK ÖZELLİKLER

*Amonyak (NH<sub>3</sub>)*

Amonyakın sıcaklığa bağlı doyma basıncını veren denklem aşağıda verilmiştir (Horuz, 1990).

$$\text{Log}P(T) = a_0 + \frac{a_1}{(T \cdot 1,8 + 491,7)} + \frac{a_2}{(T \cdot 1,8 + 491,7)^2} \quad (20)$$

Amonyakın doymuş sıvı ve doymuş buhar entalpisi sıcaklığa bağlı olarak ve kızgın buhar entalpisi ise sıcaklık ve basınca bağlı olarak aşağıda verilmiştir (Horuz, 1990).

$$h_s(T) = 2,326 \cdot (b_0 + b_1 \cdot (T \cdot 1,8 + 32)) \quad (21)$$

$$h_{bh}(T) = c_0 + c_1 \cdot T + c_2 \cdot T^2 + c_3 \cdot T^3 \quad (22)$$

$$h_{kbh}(P, T) = 2,326 \cdot \{ [d_0 \cdot (T \cdot 1,8 + 32) + d_1] + P \cdot [d_2 \cdot (T \cdot 1,8 + 32) + d_3] \} \quad (23)$$

Denklem 20, 21, 22 ve 23'de kullanılan katsayıların değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1. Denklem 20, 21, 22 ve 23'de kullanılan katsayılar**

	a	b	c	d
0	6,59924	42,318716	1443,5	5,0669.10 <sup>-1</sup>
1	-1721,24882	1,11063342	1,0577	620,97863
2	-112599,5598	-	7,66.10 <sup>-3</sup>	1,5.10 <sup>-4</sup>
3	-	-	1,10.10 <sup>-5</sup>	4,061.10 <sup>-2</sup>

*Amonyak-Su (NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O) Eriyiği*

Amonyak-su karışımının doyma basıncı ve sıcaklığı arasındaki ilişki, karışımın konsantrasyonuna bağlı olarak (Sun, 1998);

$$\text{Log}P(T, X) = A - \frac{B}{(T + 273,16)} \quad (24)$$

burada,

$$A = 7,44 - 1,767.X + 0,9823.X^2 + 0,3627.X^3 \quad (24a)$$

$$B = 2013,8 - 2155.X + 1540,9.X^2 - 194,7.X^3 \quad (24b)$$

Amonyak-su eriyiğinin entalpisi, sıcaklık ve konsantrasyona bağlı olarak aşağıda verilmiştir (Sun, 1998);

$$h(T, \bar{X}) = 100. \sum_{i=1}^{16} a_i \left( \frac{T + 273,16}{273,16} - 1 \right)^{m_i} \cdot \bar{X}^{n_i} \quad (25)$$

burada,  $\bar{X}$  amonyağın mol oranı olup (25a) nolu denklem ile bulunabilir (Sun, 1998);

$$\bar{X} = \frac{18,015.X}{18,015.X + 17,03.(1 - X)} \quad (25a)$$

**Tablo 2. Denklem 25’de kullanılan katsayılar**

i	m <sub>i</sub>	n <sub>i</sub>	a <sub>i</sub>	i	m <sub>i</sub>	n <sub>i</sub>	a <sub>i</sub>
1	0	1	7,61080.10 <sup>0</sup>	9	2	1	2,84179.10 <sup>0</sup>
2	0	4	2,56905.10 <sup>1</sup>	10	3	3	7,41609.10 <sup>0</sup>
3	0	8	-2,47092.10 <sup>2</sup>	11	5	3	8,91844.10 <sup>2</sup>
4	0	9	3,25952.10 <sup>2</sup>	12	5	4	-1,61309.10 <sup>3</sup>
5	0	12	-1,58854.10 <sup>0</sup>	13	5	5	6,22106.10 <sup>2</sup>
6	0	14	6,19084.10 <sup>1</sup>	14	6	2	-2,07588.10 <sup>2</sup>
7	1	0	1,14314.10 <sup>1</sup>	15	6	4	-6,87393.10 <sup>0</sup>
8	1	1	1,18157.10 <sup>1</sup>	16	8	0	3,50716.10 <sup>0</sup>

Amonyak-su eriyiğinin özgül hacmi, sıcaklık ve konsantrasyona bağlı olarak aşağıda verilmiştir (Sun, 1998);

$$v(T, X) = \sum_{j=0}^3 \sum_{i=0}^3 a_{ij} . T^i . X^j \quad (26)$$

**Tablo 3. Denklem 26’da kullanılan katsayılar**

i	j	a <sub>ij</sub>	i	j	a <sub>ij</sub>	i	j	a <sub>ij</sub>	i	j	a <sub>ij</sub>
0	0	9,9842.10 <sup>-4</sup>	0	1	3,5489.10 <sup>-4</sup>	0	2	-1,2006.10 <sup>-4</sup>	0	3	3,2426.10 <sup>-4</sup>
1	0	-7,8161.10 <sup>-8</sup>	1	1	5,2610.10 <sup>-6</sup>	1	2	-1,0567.10 <sup>-5</sup>	1	3	9,8890.10 <sup>-6</sup>
2	0	8,7601.10 <sup>-9</sup>	2	1	-8,4137.10 <sup>-8</sup>	2	2	2,4056.10 <sup>-7</sup>	2	3	-1,8715.10 <sup>-7</sup>
3	0	-3,9076.10 <sup>-11</sup>	3	1	6,4816.10 <sup>-10</sup>	3	2	-1,9851.10 <sup>-9</sup>	3	3	1,7727.10 <sup>-9</sup>

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Amonyak-su eriyiği kullanan absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin performansının belirlenebilmesi için *Termodinamik Özellikler* kısmında verilen ifadelerden yararlanarak, temel enerji ve kütle dengesi denklemleri bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Çevrimin simülasyonu oluşturularak, 3 adet eşanjörün farklı etkenlik değerlerinde ve farklı kaynatıcı, buharlaştırıcı, yoğuşurucu ve absorber sıcaklıklarında sistemin performansı incelenmiştir. Tablo 4’de T<sub>k</sub>=90°C, T<sub>y</sub>=40°C, T<sub>a</sub>=35°C ve T<sub>b</sub>=10°C için çevrimin çeşitli noktalarında akışkanların termodinamik özellikleri verilmiştir. Burada eşanjörlerin etkenliği 0,2 alınmıştır. Çevrimde kullanılan eşanjörlerin amonyak ve amonyak-su eriyiğinin sıcaklığını ne ölçüde etkilediği tabloda detaylı olarak görülmektedir. 1 noktasında kaynatıcıdan çıkan amonyağın sıcaklığı eşanjörde 10,24°C azalırken bu esnada 8 noktasında absorberden ayrılan eriyiğin sıcaklığı ise ancak 1,7°C

artmaktadır. Oysa 1 nolu eşanjörde ise aynı etkenlik değeri için eriyiğin sıcaklığı yaklaşık 8,5°C artmaktadır. Çünkü, kaynaticıdan ayrılan saf amonyağın debisi, zengin ve fakir eriyik debilerine göre çok daha küçüktür. Bu nedenle, amonyağın sıcaklığındaki değişim zengin eriyiğe göre daha fazla olmaktadır. Tablo 5’de eşanjör etkenliklerinin 0 ve 0,6 olması durumları için ısı kapasiteler verilmiş olup sistemin çalışma sıcaklıkları Tablo 4’deki ile aynı alınmıştır. Sistemde eşanjör kullanılmaması durumunda sistemin COP değeri 0,445 olmaktadır. Eşanjörlerin etkenliklerinin 0,6 olması durumunda ise buharlaştırıcı hariç sistemde kullanılan elemanların kapasiteleri düşmekte ve COP, 0,593 değerine ulaşmaktadır. Kapasitelerdeki en belirgin azalma kaynaticıda gerçekleşmektedir. Buharlaştırıcı kapasitesindeki artış ise 3 nolu eşanjörden kaynaklanmaktadır. 1 nolu eşanjörde ısı geçişi, amonyağa göre debisi yüksek olan eriyikler arasında gerçekleştiğinden daha fazla olmaktadır.

**Tablo 4. Çevrimin çeşitli noktalarında NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O eriyiğinin termodinamik özellikleri**

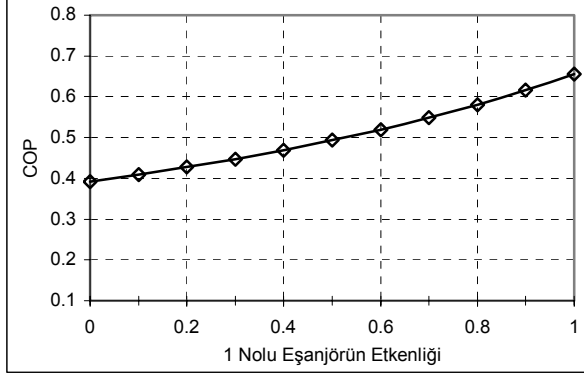
Konum	T (°C)	P (kPa)	X (%)	h (kJ/kg)
Kaynaticıdan amonyak buharının çıkışı (1)	90,00	1553,816	100,00	1631,438
Yoğuşturucuya amonyak buharının girişi (2)	79,76	1553,816	100,00	1599,720
Yoğuşturucudan sıvı amonyağın çıkışı (3)	40,00	1553,816	100,00	367,100
Buharlaştırıcıya amonyağın girişi (5)	36,87	614,947	100,00	351,521
Buharlaştırıcıdan amonyağın çıkışı (6)	10,00	614,947	100,00	1453,300
Absorbere amonyak buharının girişi (7)	15,15	614,947	100,00	1468,88
Absorberden zengin eriyiğin çıkışı (8)	35,00	614,947	58,67	-81,126
2 nolu eşanjörden zengin eriyiğin çıkışı (9)	36,70	614,947	58,67	-73,243
1 nolu eşanjöre zengin eriyiğin girişi (10)	36,91	1553,816	58,67	-72,233
Kaynaticıya zengin eriyiğin girişi (11)	45,33	1553,816	58,67	-32,729
Kaynaticıdan fakir eriyiğin çıkışı (12)	90,00	1553,816	44,99	160,607
Absorbere fakir eriyiğin girişi (14)	79,38	614,947	44,99	108,039

**Tablo 5. Çevrimdeki her elemanın birim soğutucu akışkan kütlesi için ısı kapasiteleri**

Isıl kapasite (kJ/kg)	Eşanjörlerin etkenliği, 0	Eşanjörlerin etkenliği, 0,6
Kaynaticı (q <sub>k</sub> )	2439,424	1906,754
Yoğuşturucu (q <sub>y</sub> )	1264,338	1169,184
Buharlaştırıcı (q <sub>b</sub> )	1086,211	1132,936
Absorber (q <sub>a</sub> )	2265,350	1874,570
Pompa (w <sub>p</sub> )	4,064	4,064
1 Nolu Eşanjör (q <sub>ex,1</sub> )	0,000	437,516
2 Nolu Eşanjör (q <sub>ex,2</sub> )	0,000	95,154
3 Nolu Eşanjör (q <sub>ex,3</sub> )	0,000	46,736
COP	0,445	0,593

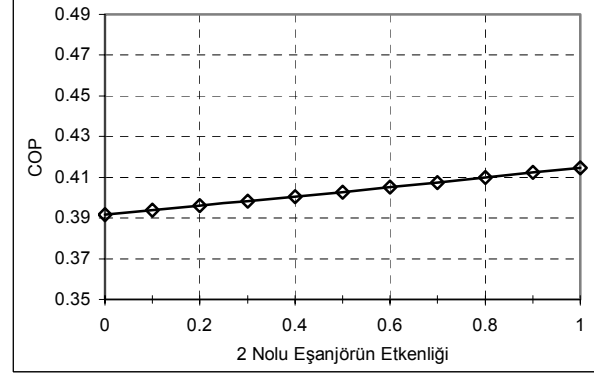
Şekil 2’de, kaynaticıya giren eriyiğin sıcaklığının artırılması amacıyla kullanılan 1 nolu eşanjörün etkenliğinin sistemin COP değeri üzerindeki etkisi görülmektedir. Şekilde verilen şartlarda T<sub>k</sub>=90°C, T<sub>y</sub>=40°C, T<sub>a</sub>=40°C, T<sub>b</sub>=10°C’dir ve 2 ve 3 nolu eşanjörlerin etkenliği sıfır alınmıştır. Verilen şartlarda sistemde eşanjörlerin olmadığı durumda COP yaklaşık 0,39’dur. Eşanjörün etkenliğinin artışıyla zengin eriyiğin sıcaklığı arttığından kaynaticıda eriyiğe aktarılması gerekli ısı enerji ihtiyacı azalmakta ve Şekil 2’den de görüldüğü gibi COP artmaktadır. Eşanjörün etkenliğinin 1 olması durumunda fakir eriyik, zengin eriyiğin girişi sıcaklığına yani 40,2°C’ye (pompa çıkışı şartlarına) kadar inerken zengin eriyik ise 80,7°C’ye kadar ısınmaktadır. Bu esnada kaynaticı kapasitesi ise 2774,08 kJ/kg’dan 1655,56 kJ/kg’a düşmektedir. Kaynaticı kapasitesindeki bu düşüşten dolayı sistemin performansı yaklaşık %70 oranında artarak COP, 0,66 değerine ulaşmaktadır. Şekil 3’de, absorberden çıkan zengin eriyik ile kaynaticıdan çıkan kızgın amonyak buharı arasındaki ısı geçişi için kullanılan 2 nolu eşanjörün etkenliğinin sistemin COP değeri üzerindeki etkisi görülmektedir. Sistemin çalışma sıcaklıkları Şekil 2’deki sıcaklıklar ile aynı olup, 1 ve 3 nolu eşanjörlerin etkenliği sıfır alınmıştır. Eşanjörün etkenliği arttıkça kaynaticıdan ayrılan kızgın amonyak buharının kızgınlığı alınmakta ve doymuş şartlara yaklaşmaktadır. Bu esnada absorberden ayrılan

eriyik bir miktar daha ısınarak kaynatıcıya gönderilmektedir. 2 nolu eşanjörün etkinliğinin 1 olması durumunda kaynatıcı kapasitesi 2774,08 kJ/kg'dan 2619,22 kJ/kg'a inmekte ve COP yaklaşık %6 oranında artarak 0,415 değerine ulaşmaktadır. Amonyak buharı, eşanjörü doymuş şartlarda terk ettiğinde zengin eriyiğin sıcaklığı 45,83°C'ye çıkmaktadır. Görüldüğü gibi, 2 nolu eşanjörün sistemin performansına etkisi, 1 nolu eşanjöre göre oldukça düşük kalmaktadır. Ancak 2 nolu eşanjör, amonyağın kızgınlığının alınmasından dolayı yoğuşturucu kapasitesini bir miktar (yaklaşık %12) düşürmektedir.



Şekil 2.

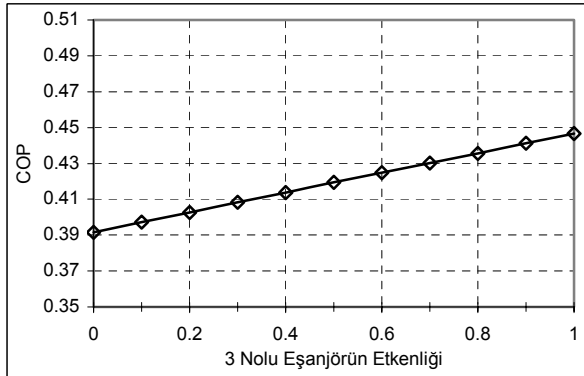
COP değerinin 1 nolu eşanjörün etkinliği ile değişimi



Şekil 3.

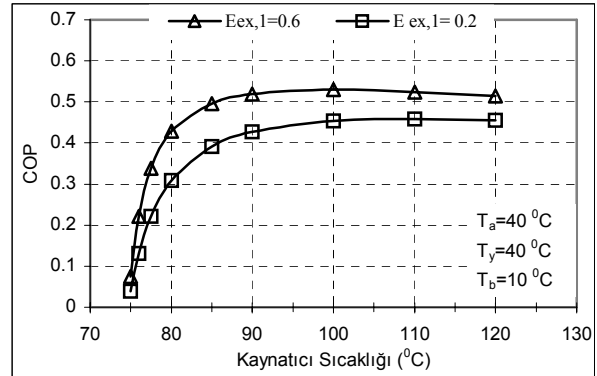
COP değerinin 2 nolu eşanjörün etkinliği ile değişimi

Şekil 4'de, sistemin soğutma kısmında bulunan 3 nolu eşanjörün etkinliğinin sistemin COP değeri üzerindeki etkisi görülmektedir. Sistemin çalışma sıcaklıkları Şekil 2 ve 3'deki şartlarla aynıdır. Doğal olarak COP yaklaşık 0,39 değerinden başlamakta ve eşanjörün etkinliği arttıkça artmaktadır. Buharlaştırıcıya giren amonyağın sıcaklığının dolayısıyla entalpisinin azalması, buharlaştırıcının girişi ile çıkışı arasındaki entalpi farkını artırdığından, soğutucu akışkanın birim kütlesi için sistemin soğutma kapasitesi artmaktadır. Etkenliğin 1 olması durumunda sistemin soğutma kapasitesi yaklaşık %14 artmakta ve bu değer aynı oranda sistemin performansına yansımaktadır. 3 nolu eşanjörün sistemin performansına etkisi, 1 nolu eşanjöre göre daha az olmasına rağmen 2 nolu eşanjöre göre daha fazladır.



Şekil 4.

COP değerinin 3 nolu eşanjörün etkinliği ile değişimi

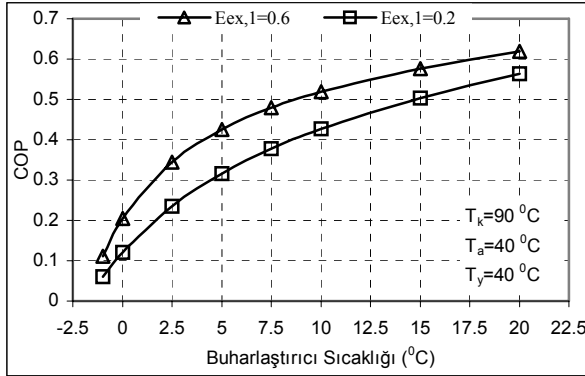


Şekil 5.

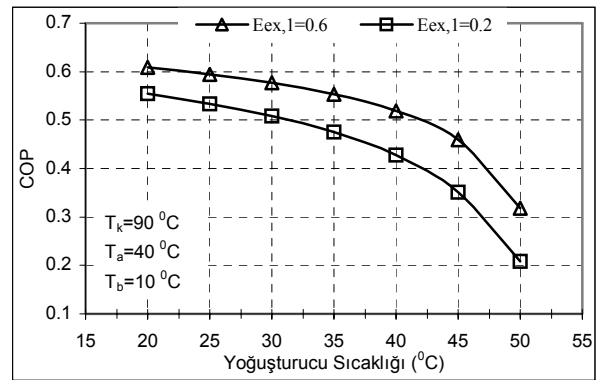
COP değerinin kaynatıcı sıcaklığı ile değişimi

Şekil 5, 6, 7 ve 8'de, eşanjörler arasında sistemin performansını en fazla etkileyen 1 nolu eşanjörün etkinliği ile farklı kaynatıcı, buharlaştırıcı, yoğuşturucu ve absorber sıcaklıklarında sistemin performans eğrileri görülmektedir. Sistemin çalışma şartları şekiller üzerinde verilmiştir. Şekil 5 ve 6'da, 1 nolu eşanjör etkinliğinin 0,2 ve 0,6 olması durumunda farklı kaynatıcı ve buharlaştırıcı sıcaklıklarında sistemin COP değerinin değişimi görülmektedir. Kaynatıcı ve buharlaştırıcı sıcaklıklarındaki artış, zengin ve fakir eriyik konsantrasyonları arasındaki farkı artırmakta ve dolayısıyla dolaşım oranını (FR) azaltmaktadır. FR değerinin azalmasıyla kaynatıcı kapasitesi azalmakta bu nedenle COP artmaktadır. Şekil 7 ve 8'de,

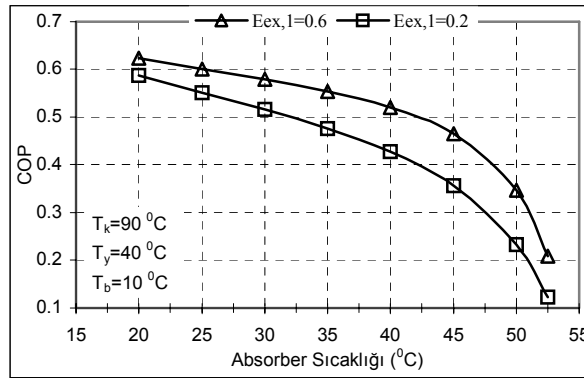
yoğuşturucu ve absorber sıcaklıklarının sistemin COP değeri üzerindeki etkisi görülmektedir. Yoğuşturucu ve absorber sıcaklıklarının artmasıyla, kaynatıcı ve buharlaştırıcı sıcaklıklarının artışında görülen etkinin tersi gerçekleşerek zengin ve fakir eriyik konsantrasyonları arasındaki fark azalmakta, dolayısıyla FR artmaktadır. FR değerinin artması kaynatıcı kapasitesini artırarak sistemin COP değerini düşürmektedir.



Şekil 6.  
COP değerinin buharlaştırıcı sıcaklığı ile değişimi



Şekil 7.  
COP değerinin yoğuşturucu sıcaklığı ile değişimi



Şekil 8.  
COP değerinin absorber sıcaklığı ile değişimi

## 5. SONUÇ

Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde kullanılan eşanjörlerin ve sistemin çalışma sıcaklıklarının sistemin performansı üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi için yapılan bu çalışmada elde edilen bulgular özetle şunlardır;

- Kaynatıcıdan çıkan fakir eriyik yardımıyla zengin eriyiğin sıcaklığının artırılması için kullanılan 1 nolu eşanjör sistemin performansını en fazla etkileyen eşanjör olmaktadır.
- 1 nolu eşanjörde gerçekleşebilecek maksimum ısı geçişinde ( $E_{ex,1}=1$  durumunda), COP yaklaşık %70 oranında artarak 0,66 değerine ulaşmaktadır. Bu esnada eşanjörde, zengin ve fakir eriyik arasında gerçekleşen ısı geçişi miktarı 1113,91 kJ/kg'dır.
- 2 nolu eşanjör, göz önüne alınan şartlarda COP değerini en fazla %6 oranında artırmakta ve diğer eşanjörlere göre COP değerini en az oranda etkileyen eşanjör olmaktadır. 2 nolu eşanjörde maksimum gerçekleşebilecek ısı geçişi miktarı, amonyak buharının eşanjörü doymuş şartlarda terk etmesi durumunda gerçekleşip 154,86 kJ/kg'dır.
- 3 nolu eşanjör, COP değerini en fazla %14 oranında artırarak sistemin performansı üzerindeki etkisi 1 ve 2 nolu eşanjörler arasında kalmaktadır. Etkenliğin 1 olması durumunda buharlaştırıcıdan çıkan amonyak buharı yoğuşturucu sıcaklığına kadar ısınmaktadır. Bu esnada sıvı haldeki amonyak daha da soğuyarak buharlaştırıcıya girmekte ve sistemin soğutma



kapasitesi dolayısıyla COP değeri artmaktadır. Eşanjörde gerçekleşebilecek maksimum ısı geçişi 77,89 kJ/kg'dır.

- Kaynatıcı sıcaklığının artışıyla fakir eriyik konsantrasyonu azalmakta, buharlaştırıcı sıcaklığının artışıyla zengin eriyik konsantrasyonu artmaktadır. Bu iki etki de FR oranını azalttığından COP artmaktadır.
- Yoğuşturucu sıcaklığının artışıyla fakir eriyik konsantrasyonu artmakta, absorber sıcaklığının artışıyla zengin eriyik konsantrasyonu azalmaktadır. Bu iki etki de FR oranını artırdığından COP azalmaktadır.

## 6. SEMBOLLER

ASS	: Absorpsiyonlu soğutma sistemi
COP	: Performans katsayısı, boyutsuz
$c_p$	: Özgül ısı, kJ/kg°C
FR	: Dolaşım oranı, boyutsuz
h	: Entalpi, kJ/kg
$\dot{m}$	: Kütleli debi, kg/s
P	: Basınç, kPa
q	: Soğutucu akışkanın birim kütlesi başına ısı yükü, kJ/kg
Q	: Isıl güç, kW
T	: Sıcaklık, °C
v	: Eriyiğin özgül hacmi, m <sup>3</sup> /kg
w	: Soğutucu akışkanın birim kütlesi başına pompanın çektiği enerji, kJ/kg
W	: Pompanın çektiği güç, kW
X	: Konsantrasyon
$\epsilon$	: Eşanjör etkenliği, boyutsuz

### Alt indisler

a	: Absorber
b	: Buharlaştırıcı
bd	: Su buharının doyma sıcaklığı
bh	: Buhar
ex	: Eşanjör
f	: Fakir
H <sub>2</sub> O	: Su
k	: Kaynatıcı
kbh	: Kızgın buhar
max	: Maksimum
min	: Minimum
NH <sub>3</sub>	: Amonyak
ort	: Ortalama
p	: Pompa
s	: Sıvı
y	: Yoğuşturucu
z	: Zengin

## 7. KAYNAKLAR

1. ASHRAE, (1993). ASHRAE handbook – Fundamentals, chapter 1. Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers. 34p.

2. Horuz, İ. (1990) *Absorpsiyonlu Soğutma Sistemlerinden Amonyak-Su Çifti İle Lityum Bromür-Su Çiftinin Mukayesesi*, Yüksek Lisans Tezi. Bursa. 147s.
3. Horuz, İ (1998) A comparison between ammonia-water and water-lithium bromide solutions in vapor absorption refrigeration systems. *Int. Comm. Heat and Mass Transfer*, Vol. 25, No. 5, 711-721p.
4. Lazzarin, R.M., Gasparella, A., Longo, G.A. (1996) Ammonia-water absorption machines for refrigeration: theoretical and real performances. *International Journal of Refrigeration*, Vol. 19, No. 4, 239-246p.
5. Mostafavi, M, Agnew, B. (1996) The impact of ambient temperature on lithium bromide-water absorption machine performance. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 16, No. 6, 515-522p.
6. Seara, J. F., Vazquez, M. (2001) Study and control optimal the generation temperature in  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$  absorption refrigeration systems. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 21, 343-357p.
7. Stoecker, W.F., Jones, J.W. (1982) *Refrigeration And Air Conditioning*, McGraw-Hill International Editions, Singapore. 328-350p.
8. Sun, D.W. (1998) Comparison of the performance of  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3\text{-LiNO}_3$  and  $\text{NH}_3\text{-NaSCN}$  absorption refrigeration systems. *Energy Conversion*, Vol. 39, No. 5/6, 357-368p.