

## AMONYAK/ SU AKIŞKAN ÇİFTİ İLE ÇALIŞAN KAPALI DEVRE SOĞURMALI ISI TRANSFORMATÖRÜNÜN TERMODİNAMİK ANALİZİ

Musa Galip ÖZKAYA

G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, 06500, Ankara, Türkiye

### ÖZET

Bu çalışmada amonyak/su akışkan çifti ile çalışan kapalı tip Soğurmalı Isı Transformatörünün (SIT) Termodinamiğin 1. ve 2. Yasasına göre analizi yapılmış, değişik çalışma şartlarında sistemin performans parametreleri hesaplanmıştır. Analizde SIT'in ısı değiştiricilerindeki tersinmezlikler ile sistemde oluşabilecek basınç kayıpları dikkate alınmıştır. Sistemin ekserji analizi yapılarak boyutsuz tersinmezliklerinin sistem parametreleri ile değişimi incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Soğurmalı sistem, ısı transformatörü, amonyak/su

## THERMODYNAMIC ANALYSES OF A CLOSED CYCLE AQUA/AMMONIA ABSORPTION HEAT TRANSFORMER

### ABSTRACT

In this study, thermodynamic analyses of a closed cycle Absorbtion Heat Transformer (AHT) working with aqua/ammonia was performed according to the first and the second law of thermodynamic. In various operation conditions, performance parameters of system were calculated. In this analyses, irreversibilities in the heat exchangers and pressure losses that could be in the system were assumed as exergy analyses of the system was determined, changing of irreversibilities with system parameters were investigated.

Key Words : Absorption system, heat transformer, aqua/ammonia

### 1. GİRİŞ

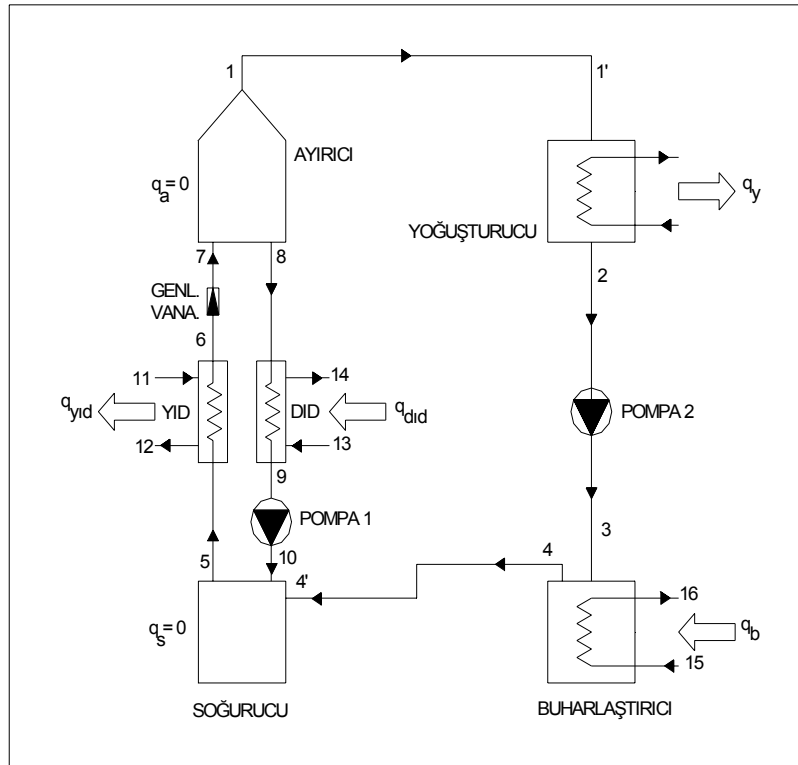
Ataer ve arkadaşları [1], su soğutuculu lityum bromür soğuruculu kapalı devre Soğurmalı Sıcaklık Yükseltici'nin (SSY) termodinamik analizini yaptılar. Cheng ve Shih[2], lityum bromür soğuruculu, su soğutuculu yarı açık, SSY'nin enerji ve ekserji analizini gerçekleştirmişlerdir. Kouremenos ve Rogdakis[3], LiBr/H<sub>2</sub>O çalışma akışkanları için kapalı devre SSY'nin enerji ve işlerlik analizini yapmışlardır. George ve Murthy[4], R21-DMETEG çalışma akışkanları için kapalı devre SSY'nin termodinamik analizini yapmışlardır. Termodinamik analizi yapılan kapalı devre SSY' de soğurucuda yüksek sıcaklıkta ısı çekilmektedir. Kouremenos ve arkadaşları[5], SSY'yi parabolik ve vakumlu, düzlem plakalı güneş kolektörlerine adapte etmişlerdir. Ziegler ve Alefeld[6], basit çevrim analiz yöntemlerini kullanarak farklı soğurmalı soğutma sistemleri ve sıcaklık yükselteçlerini, sistemin COP'sini ve enerji tasarrufunu dikkate alarak karşılaştırmışlardır. Ataer ve Göğüş [7] kapalı devre lityum bromür/su soğutucu/soğurucu akışkan çifti ile çalışan kapalı devre SSY'nin, bağlama diyagramlarından (bond graphs) yararlanarak simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada SSY'nin serbestlik derecesi beş olarak belirlenmiş ve sistemin beş çalışma parametresi istenilen çalışma şartlarını sağlayacak şekilde serbestçe seçilmiştir. Chen [8] SSY'nin optimal performansını belirlemek için sürekli akış için çevrimin modelini gerçekleştirerek incelemiştir. Tufano[9] düşük sıcaklık uygulamaları için iki kademeli ısı pompalı sistemleri teorik analizini yapmış ve

elde edilen sonuçları klasik ısı pompalı sistemler için elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sorin ve arkadaşları[10] ısı pompası ve sıcaklık yükselticileri için sistemlerin soğurma etkinliği ve işlerlik verimi arasında bir bağıntı elde etmişlerdir. Şekil 2.1 de şematik görünümü verilen SIT'ın Termodinamik analizinde kullanılan bağıntılar; bu çalışmalardan alınmıştır. Sıvı ve gaz fazındaki saf amonyağın sabit basınçtaki özgül ısısını veren bağıntılar kullanılarak her iki fazdaki özgül Gibbs serbest enerji fonksiyonu hesaplanmış ve Maxwell bağıntıları ile sıvı ve gaz fazındaki saf amonyağın özgül entalpileri ile özgül hacimleri hesaplanmıştır. Sıvı ve gaz fazındaki amonyak/su karışımının doyma basıncı ve özgül entalpileri ile ilgili bağıntılar, saf su ve amonyağın sıvı ve gaz fazındaki entalpileri kullanılarak elde edilmiştir. Saf su ve amonyağın sıvı ve gaz fazlarındaki Gibbs bağıntılarından faydalanılarak boyutsuz entropileri hesaplanmıştır. Sıvı ve gaz fazındaki amonyak/su karışımının boyutsuz entropisi ile ilgili bağıntı, saf su ve amonyağın sıvı ve gaz fazındaki boyutsuz entropisi için hesaplanan bağıntılar kullanılarak elde edilmiştir.

## 2. SIT'IN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Soğurmalı Sıcaklık Yükselticinin amacı, düşük sıcaklıktaki ısı kaynağının sıcaklığını daha yüksek sıcaklığa çıkarmaktır. Bu çalışmada, amonyak/su soğutucu/soğurucu akışkan çifti ile çalışan kapalı devre SIT'ın Termodinamiğin 1. ve 2. Yasasına göre analizi yapılmıştır.

Şekil 2.1.'de görüldüğü gibi SIT; yoğuşturucu, buharlaştırıcı, soğurucu, ayırıcı, genişleme vanası, pompalar ve ısı değiştiricilerinden oluşmaktadır. SIT'ın soğurucu ve ayırıcısında şartlar adyabatik olup akışkan ısı değiştiricisi yoktur. SIT'ın sürekli rejim şartlarındaki çalışmasında, ayırıcıda amonyak, düşük basınçtaki amonyak/su karışımından buharlaşarak "1" noktasında ayırıcıdan ayrılır. Ayırıcıdan "8" noktasında ayrılan soğurucu akışkan su karışım Düşük sıcaklık Isı Değiştiricisi (DID)'de ısı kaynağı ile ısıtılarak "9" şartlarından sistemin yüksek basıncına pompalanır. Yüksek basınçtaki karışım "10" noktasında soğurucuya girer. Ayırıcıdan ayrılan amonyak buharı yoğuşturucuda yoğuşarak "2" şartlarında yoğuşturucudan çıkar ve  $P_2$  pompası ile yüksek basınca pompalanır. Yüksek basınçtaki amonyak ısı kaynağı ile ısıtılarak buhar fazında buharlaştırıcıdan ayrılır. "4" şartlarında soğurucuya giren amonyak buharı "10" noktasından gelen amonyakça fakir karışım tarafından soğurularak sıcaklığı artar ve yüksek basınç şartlarında "5" noktasında soğurucudan ayrılır. Amonyakça zengin ve sıcaklığı yüksek olan karışım Yüksek Sıcaklık Isı Değiştiricisi (YID)'de ısısını kaynak suyuna verir ve kaynak suyu sıcaklığı yükselir. "6" noktasına gelen karışımın genişleme vanasındaki makaslama sürecinde basıncı düşer ve "7" şartlarında ayırıcıya girerek çevrim tamamlanır.



Şekil 2.1. SIT'ın şematik görünümü

### 3. SIT'IN TERMODİNAMİK ANALİZİ

Ekserji, bir sistemden onu çevre şartlarına indirgeyerek elde edilebilecek azami yararlı iş miktarı olarak tanımlanabilir. Bir sistem için enerji yerine ekserjiler hesaplanırsa enerjilerin kalitelerindeki farklar dikkate alınmış olunur. Sürtünme gibi tersinmezlikler nedeniyle enerjinin ekserjisi azalır ve bir ısı sistemde ekserji kayıplarını azaltmak sistemin verimini artırır.

Genelde “m” bileşenden oluşan bir karışımın ekserjisi;

$$e = \sum_{n=1}^m x_n s_n - \sum_{n=1}^m x_n \mu_{no} \quad (3.1)$$

şeklinde yazılabilir. Bu bağıntıdaki “ $x_n$ ” ve “ $\mu_{no}$ ” sırasıyla n’inci bileşenin “ $T_o$ ” referans sıcaklığında ve “ $P_o$ ” basıncındaki kütle derişimi ve kimyasal potansiyelidir. Denklem (3.1) ile ifade edilen karışımın ekserjisi, karışımın özgül Gibbs serbest enerjisinin, özgül entalpi ve özgül entropinin fonksiyonu olacak şekilde;

$$e = h - T_o s - g_o \quad (3.2)$$

bağıntısı ile ifade edilir. Bu bağıntıdaki “ $T_o$ ” referans sıcaklığıdır ve analizde 20 °C olarak alınmıştır. SIT’ı oluşturan birimlerde kimyasal bir reaksiyon söz konusu değildir. Dolayısıyla Denklem (3.1)’in sağındaki son terim ( $\mu_{no}$ ) SIT’ı oluşturan birimlerin girişinde ve çıkışında aynı büyüklüğe sahip olacaktır bu nedenle sadeleştirilebilir.

Termodinamikte özgül Gibbs serbest enerjisi bir karışım için bilinirse, karışımın özgül entalpi ve entropisi sırasıyla;

$$\hat{h} = -\hat{T}^2 \left[ \frac{\partial}{\partial T} \left( \frac{g(T, p, x)}{T} \right) \right]_{p, x} \quad (3.3)$$

ve

$$\hat{s} = - \left[ \frac{\partial g}{\partial T} (T, p, x) \right]_{p, x} \quad (3.4)$$

bağıntıları kullanılarak hesaplanabilir. SIT’ı oluşturan birimlerden her birisi için ekserji kaybı;

$$\Delta \dot{E} = \sum_{i=1}^n \dot{m}_i e_i - \sum_{j=1}^m \dot{m}_j e_j + \dot{q} \left( 1 - \frac{T_o}{T} \right) + \dot{W}_{pe} \quad (3.5)$$

bağıntısı kullanılarak belirlenir. Bu bağıntıdaki ilk iki terim sırasıyla SIT’in herhangi bir birimine giren ve çıkan akışın toplam birim zamandaki ekserji farkıdır. Bağıntıdaki son terim sistem üzerinde yapılan iştir. Eşitliğin sağındaki üçüncü terim SIT’in çevreyle olan birim zamandaki ısı alışverişinin neden olduğu ekserji artışı veya kaybıdır. Eğer ısı geçişi sisteme ise bu terimin işareti pozitif, aksi takdirde negatiftir. Eğer sisteme aktarılan veya sistemden alınan ısı enerjisi kullanılmıyorsa bu terim ihmal edilebilir. SIT’ı oluşturan tüm birimlerin ekserji kayıpları bu çalışmada hesaplanmıştır. SIT’in birim zamandaki toplam ekserji kaybı,  $\Delta \dot{E}_t$ ;

$$\Delta \dot{E}_t = \Delta \dot{E}_y + \Delta \dot{E}_b + \Delta \dot{E}_{p_1} + \Delta \dot{E}_{p_2} + \Delta \dot{E}_a + \Delta \dot{E}_s + \Delta \dot{E}_{YID} + \Delta \dot{E}_{DID} + \Delta \dot{E}_{GV} \quad (3.6)$$

şeklinde ifade edilebilir. Diğer taraftan her birimin birim zamandaki ekserji kaybı, toplam birim zamandaki ekserji kaybına bölünerek birimlerin boyutsuz ekserji kayıpları;

$$\hat{E} = \frac{\Delta \dot{E}_i}{\Delta \dot{E}_t} \quad (3.7)$$

şekilde elde edilebilir.

### 3.2. SIT'in Termodinamik Analizinde Yapılan Varsayımlar

SIT'in termodinamik analizinde yapılan varsayımlar aşağıda belirtildiği gibi sıralanabilir:

- 1) SIT sürekli rejim şartlarında çalışmaktadır.
- 2) Ayırıcı çıkışında akışkan, gaz fazında ve kızgın NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O karışımıdır ve karışımın kütle derişimi 0,999 dur.
- 3) Yoğuşturucu çıkışında akışkan doymuş sıvı karışımıdır ve karışımın kütle derişimi 0,999 dur.
- 4) Zengin sıvı karışım, soğurucudan doymuş soğurucu sıcaklığında ayrılır.
- 5) Ayırıcıdan çıkan karışım, doymuş gaz karışımıdır ve ayırıcı sıcaklığındadır.
- 6) Buharlaştırıcı çıkışında akışkan, doymuş gaz karışımıdır ve buharlaştırıcı sıcaklığındadır.
- 7) Isı değıştiricilerinin ısıl etkinliklerinin belirlenmesinde yüksek sıcaklık ısı değıştiricisinde soğuk akışkanın ısı kapasitesi minimum, düşük sıcaklık ısı değıştiricisinde ise sıcak akışkanın ısı kapasitesi minimumdur.
- 8) Analizde ayırıcı ile yoğuşturucu ve buharlaştırıcı ile soğurucu arasındaki borularda oluşabilecek basınç kayıpları dikkate alınmış, sistemde oluşabilecek diğere basınç kayıpları ihmal edilmiştir.
- 9) Sistemden çevreye olabilecek ısı kayıpları ihmal edilmiştir.
- 10) Sistemi oluşturan birimlerden soğurucu ve ayırıcıdaki buhar/sıvı karışımlarında denge faktörü dikkate alınmıştır.
- 11) Bu çalışmada SIT'in ayırıcı ve soğurucusundaki şartların adyabatik olduğu varsayılmıştır.

Son varsayım ile soğurucu ve ayırıcıda sisteme veya sistemden ısı aktarımının olmadığı varsayılmıştır. Bu şekli ile çevrim yeni bir çevrimdir ve bu çevrimin analizi gerçekleştirilmiştir. Sistemin analizinde kullanılan veriler Çizelge 3.1'de verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi termodinamik analizde YID ve DID'in ısıl etkinlikleri, buharlaştırıcı, yoğuşturucu, ayırıcı, soğurucu ve atık ısı sıcaklıkları değışken parametreler olarak alınmıştır. Buharlaştırıcı sıcaklığı ile atık ısı kaynağı sıcaklığı arasında 5 °C ve 10 °C sıcaklık farkı olduğu kabul edilmiş ve analiz bu sıcaklık farkları için yapılmıştır.

Çizelge 3.1. Termodinamik analizde kullanılan veriler

Ayırıcı sıcaklığı,	$T_a$	: 35 °C - 47 °C
Soğurucu sıcaklığı,	$T_s$	: 57 °C - 90 °C
Yoğuşturucu sıcaklığı,	$T_y$	: 20 °C - 26 °C
Buharlaştırıcı sıcaklığı,	$T_b$	: 42 °C - 75 °C
Atık ısı kaynağı sıcaklığı,	$T_{at}$	: 47 °C - 80 °C
Çevre sıcaklığı,	$T_o$	: 20 °C
Zengin karışımında NH <sub>3</sub> 'ün kütle derişimi, $X_8$		: 0,42
Fakir karışımında NH <sub>3</sub> 'ün kütle derişimi, $X_5$		: 0,41
Soğutucu kütle debisi, $\dot{m}_1$		: 0,1 kg/s
Isı değıştiricilerinin etkinliği, $\epsilon_{DID}, \epsilon_{YID}$		: 0,75, 0,85, 0,95
Pompa verimi, $\eta_{pe}$		: 0,6

### 3.3. SIT'ın Performans Parametreleri

Bu çalışmada SIT'in teorik etkinliği, YID'dan çekilen ısının sisteme verilen toplam enerjisi ile sistem üzerinde yapılan işin toplamına oranı şeklinde tanımlanmıştır.

$$COP = \frac{\dot{q}_{YID}}{\dot{q}_b + \dot{q}_{DID} + \dot{W}_{P_1} + \dot{W}_{P_2}} \quad (3.8)$$

Diğer taraftan SIT'in dolaşım oranı;

$$f = \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_5} \quad (3.9)$$

bağıntısı ile ifade edilmiştir. Bu bağıntıdaki " $\dot{m}_1$ " ayırıcıdan çıkan  $NH_3/H_2O$  karışımının kütle debisi,  $\dot{m}_5$  soğurucudan çıkan zengin karışımın kütle debisidir. Bu çalışmada SIT'in ekserji etkinliği teorik ve pratik yaklaşımlar için farklı şekilde tanımlanmıştır. SIT'in teorik ekserji etkinliği;

$$(ECOP)_{teo} = \frac{\Delta \dot{E}_{12/11}}{\dot{W}_{P_{1e}} + \dot{W}_{P_{2e}} + \Delta \dot{E}_{15/16} + \Delta \dot{E}_{13/14}} \quad (3.10)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Bu bağıntıdaki  $\Delta \dot{E}_{12/11}$ ,  $\Delta \dot{E}_{15/16}$ ,  $\Delta \dot{E}_{13/14}$ , sırasıyla YID, buharlaştırıcı ve DID'daki atık enerji kaynağı akışkanının bu birimlere giriş ve çıkış şartları arasındaki ekserji farkıdır. Diğer taraftan SIT'in pratik ekserji etkinliği;

$$(ECOP)_{pra} = \frac{\dot{E}_{12}}{\dot{W}_{P_{1e}} + \dot{W}_{P_{2e}} + \dot{E}_{11} + \dot{E}_{13} + \dot{E}_{15}} \quad (3.11)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Analizde, DID ve buharlaştırıcıda atılan atık ısı kaynağının kullanılmayacağı düşünülerek pratik (ECOP) hesaplanmıştır. Bu parametrelerin hesaplanabilmesi için gerekli olan SIT'in ilgili elemanları için birim zamanda ekserji kayıplarının hesaplanmasında kullanılan referans noktalarındaki ekserji bağıntıları aşağıda verilmiştir;

$$\dot{E}_{11} = \dot{m}_{11} [(h_{11} - h_o) - T_o (s_{11} - s_o)] \quad (3.12)$$

$$\dot{E}_{12} = \dot{m}_{12} [(h_{12} - h_o) - T_o (s_{12} - s_o)] \quad (3.13)$$

$$\dot{E}_{13} = \dot{m}_{13} [(h_{13} - h_o) - T_o (s_{13} - s_o)] \quad (3.14)$$

$$\dot{E}_{15} = \dot{m}_{15} [(h_{15} - h_o) - T_o (s_{15} - s_o)] \quad (3.15)$$

Bu bağıntılarda kullanılan " $h_o$ " ve " $s_o$ " sırasıyla referans sıcaklığındaki özgül entalpi ve özgül entropidir.

Pompalar için gerekli olan kayıpsız iş;

$$\dot{W}_{P_{1e}} = \dot{m}_8 v_9 (P_{10} - P_9) / \eta_{1pe} \quad (3.16)$$

ve

$$\dot{W}_{P_{2e}} = \dot{m}_3 v_2 (P_3 - P_2) / \eta_{2pe} \quad (3.17)$$

bağıntılarından hesaplanmıştır. Bu ifadelerdeki " $\eta_{1pe}$ ", " $\eta_{2pe}$ " sırasıyla " $P_1$ " ve " $P_2$ " pompalarının toplam verimidir ve termodinamik analizde her iki pompa için Çizelge 3.1'de görüldüğü gibi eşit ve 0,60 alınmıştır. Diğer taraftan kaynak ayırımı boyutsuz parametresi; YID'a verilen atık ısı kaynağı kütle debisinin toplam atık ısı kaynağı kütle debisine oranı;

$$n = \frac{\dot{m}_{12}}{\dot{m}_{12} + \dot{m}_{13} + \dot{m}_{15}} \quad (3.18)$$

şeklinde tanımlanmıştır.

### 3.4. Ekserji ve Ekserji Kayıplarının Hesaplanması

Şekil 2.1'de görülen SIT'in referans noktalarındaki ekserjilerinin hesaplanmasında kullanılan ekserji bağıntıları aşağıda verilmiştir.

$$1 \text{ Noktası} \quad e_1 = h_1 - T_0 s_1 \quad (3.19)$$

$$2 \text{ Noktası} \quad e_2 = h_2 - T_0 s_2 \quad (3.20)$$

$$3 \text{ Noktası} \quad e_3 = h_3 - T_0 s_3 \quad (3.21)$$

$$4 \text{ Noktası} \quad e_4 = h_4 - T_0 s_4 \quad (3.22)$$

$$5 \text{ Noktası} \quad e_5 = h_5 - T_0 s_5 \quad (3.23)$$

$$6 \text{ Noktası} \quad e_6 = h_6 - T_0 s_6 \quad (3.14)$$

$$7 \text{ Noktası} \quad e_7 = h_7 - T_0 s_7 \quad (3.25)$$

$$8 \text{ Noktası} \quad e_8 = h_8 - T_0 s_8 \quad (3.26)$$

$$9 \text{ Noktası} \quad e_9 = h_9 - T_0 s_9 \quad (3.27)$$

$$10 \text{ Noktası} \quad e_{10} = h_{10} - T_0 s_{10} \quad (3.28)$$

$$11 \text{ Noktası} \quad e_{11} = h_{11} - T_0 s_{11} \quad (3.29)$$

$$12 \text{ Noktası} \quad e_{12} = h_{12} - T_0 s_{12} \quad (3.30)$$

$$13 \text{ Noktası} \quad e_{13} = h_{13} - T_0 s_{13} \quad (3.31)$$

$$14 \text{ Noktası} \quad e_{14} = h_{14} - T_0 s_{14} \quad (3.32)$$

Yoğuşturucuda ısı geçişi ve sürtünmenin neden olduğu kayıplar dikkate alınarak toplam ekserji kaybı;

$$\Delta \dot{E}_y = \dot{m}_1 (e_1 - e_2) \quad (3.33)$$

Buharlaştırıcıda ekserji kaybı;

$$\Delta \dot{E}_b = \dot{m}_3 (e_3 - e_4) + \dot{Q}_B (1 - T_0 / T_b) \quad (3.34)$$

Soğurucuda ekserji kaybı;

$$\Delta \dot{E}_{soğ} = (\dot{m}_4 e_4 + \dot{m}_{10} e_{10}) - \dot{m}_5 e_5 \quad (3.35)$$

Düşük Sıcaklık Isı Değiştiricisinde ekserji kaybı;

$$\Delta \dot{E}_{DID} = \dot{m}_8 e_8 + \dot{m}_{13} e_{13} - \dot{m}_9 e_9 - \dot{m}_{14} e_{14} \quad (3.36)$$

Yüksek Sıcaklık Isı Değiştiricisinde ekserji kaybı;

$$\Delta \dot{E}_{YID} = \dot{m}_5 e_5 + \dot{m}_{11} e_{11} - \dot{m}_6 e_6 - \dot{m}_{12} e_{12} \quad (3.37)$$

Genleşme Vanasındaki ekserji kaybı;

$$\Delta \dot{E}_{GV} = \dot{m}_6 (e_6 - e_7) \quad (3.38)$$

Ayırıcıda ekserji kaybı;

$$\Delta \dot{E}_a = \dot{m}_7 e_7 - (\dot{m}_1 e_1 - \dot{m}_8 e_8) \quad (3.39)$$

“P<sub>1</sub>” pompasında, “10” noktasının ekserjisi ile “9” noktasının ekserjilerinin farkına “W<sub>P1e</sub>” işi ilave edilerek “P<sub>1</sub>” pompasındaki ekserji kaybı hesaplanır.

$$\Delta \dot{E}_{P,1} = \dot{m}_9 (e_9 - e_{10}) + \dot{W}_{P,1e} \quad (3.40)$$

“P<sub>2</sub>” pompasında, “2” noktasının ekserjisi ile “3” noktasının ekserjilerinin farkına “W<sub>P2e</sub>” işi ilave edilerek “P<sub>2</sub>” pompasındaki ekserji kaybı hesaplanır.

$$\Delta \dot{E}_{P,2} = \dot{m}_2 (e_2 - e_3) + \dot{W}_{P,2e} \quad (3.41)$$

“P<sub>1</sub>” pompasında, akışkan üzerinde yapılan kayıpsız iş: W<sub>P1e</sub>

$$\dot{W}_{P,1e} = \dot{m}_8 v_8 (P_{10} - P_9) / \eta_{P,1e} = \dot{m}_8 (h_{10} - h_9) / \eta_{pe} \quad (3.42)$$

2 Nolu Pompada akışkan üzerinde yapılan kayıpsız iş: W<sub>P2e</sub>

$$\dot{W}_{P,2e} = \dot{m}_2 v_2 (P_3 - P_2) / \eta_{P,2e} = \dot{m}_2 (h_3 - h_2) / \eta_{pe} \quad (3.43)$$

şeklinde ifade edilir.

## 4. SONUÇLAR VE İRDELENMESİ

### 4.1. Giriş

Analizde sistemin COP, ECOP ve YID çıkış sıcaklığının, kaynak suyu sıcaklığı ve Denklem (3.18) ile tanımlanan kaynak ayırım boyutsuz parametresi ile değişimi incelenmiştir. Bunun için BASIC dilinde bir bilgisayar programı hazırlanmış ve sonuçlar hazırlanan bu program kullanılarak elde edilmiştir. SIT’in güneş enerjisi, jeotermal enerji ve atık ısı ile kullanılabileceği dikkate alınarak, analizde kaynak sıcaklığı 47 °C ile 80 °C arasında değiştirilmiştir. Buharlaştırıcı sıcaklığı kaynak sıcaklığının 5 °C ve 10 °C altında, yoğunlaştırıcı sıcaklığı 20 °C, 23 °C ve 26 °C alınmıştır Ayırıcı sıcaklığı 35 °C ile 47 °C arasında değişirken soğurucu sıcaklığı 57 °C ile 90 °C arasında alınarak farklı atık ısı sıcaklıklarında SIT’in Bölüm 3.3’de tanımlanan performans parametreleri hesaplanmıştır.

### 4.2. Sonuçlar

Başlangıçta ısı değiştiricilerinin ve buharlaştırıcının ısıl etkinliğinin 0,85 olduğu kabul edilmiş, 20 °C, 23 °C ve 26 °C yoğunlaştırıcı sıcaklıkları için sistemin COP’sinin kaynak sıcaklığı ile değişimi hesaplanmıştır. Analiz ısı değiştiricilerinin ve buharlaştırıcının ısıl etkinliğinin 0,75 ve 0,95 değerleri için de yapılmış fakat sistemin teorik COP’sinde Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi önemli bir değişim gözlenmemiştir. Sonuçlar, buharlaştırıcı sıcaklığının atık ısı sıcaklığının 5 °C altında olduğu durumlar için elde edilmiştir. Buharlaştırıcı sıcaklığının atık ısı kaynağı sıcaklığının 10 °C altında olduğu durumlar için de sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 2.1’de görülen referans noktalarındaki sıcaklık, basınç, amonyağın kütle derişimi, kütle debisi özgül entalpi ve özgül entropi değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Bu çalışma şartlarında sistemin performans parametreleri, kaynak ayırım boyutsuz parametresi, ısı değiştiricilerinin ve buharlaştırıcının ısıl etkinliği ile benzeri diğer parametrelerin değerleri Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Farklı yoğuşturucu, atık ısı kaynağı sıcaklıkları ile farklı ısı değiştirici ve buharlaştırıcı sıcaklıklarında ve farklı ısıl etkinliklerinde SIT'in teorik COP değerleri

T <sub>y</sub> °C	T <sub>t</sub> °C	T <sub>s</sub> °C	T <sub>a</sub> °C	COP		
				$\varepsilon = 0,75$	$\varepsilon = 0,85$	$\varepsilon = 0,95$
20	60	72	41	0,321816	0,321806	0,321794
23	60	69	41	0,300766	0,300758	0,300747
26	60	69	44	0,331728	0,331721	0,331713
20	70	87	45	0,515538	0,515519	0,515497
23	70	84	45	0,526519	0,5265	0,526478
26	70	81	46	0,355357	0,355534	0,355325

### 4.3. Sonuçların İrdelenmesi

Çalışmada, ısı değiştiricilerinin ve buharlaştırıcının ısıl etkinliğinin, yoğuşturucu sıcaklığının, atık ısı kaynağı sıcaklığının, kaynak ayırım boyutsuz parametresinin ve buharlaştırıcı sıcaklığı ile atık ısı kaynağı sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkının, SIT'in COP, ECOP ve YID'in çıkış sıcaklığına etkisi incelenmiştir. Analizde sonuçlar her 1 °C atık ısı kaynağı sıcaklık aralığı için elde edilmiştir. Isı değiştiricilerinin ve buharlaştırıcının ısıl etkinliğinin artması veya azalması, Denklem (3.8) ile tanımlanan COP ifadesinin payında ve paydasında aynı miktarda artma veya azalmaya neden olacağından SIT'in COP'sinde önemli bir değişim gözlenmemiştir. Bu durum Çizelge 4.1'de görülmektedir.

Çizelge 4.2. 20 °C yoğuşturucu, 56 °C atık ısı kaynağı sıcaklığı ve 51 °C buharlaştırıcı sıcaklığındaki çalışma şartlarında Şekil 2'de görülen referans noktalarındaki bazı termodinamik parametrelerin değerleri

Referans Noktaları	T °C	P bar	X %	m kg/h	h kJ/kg	s kJ/kgK
1	45	8,529672	0,9990,1	1353,67	4,498	
2	20	8,123497	0,999	0,1	93,03	0,346
3	20,3	20,06838	0,999	0,1	94,99	0,345
4	51	20,06838	0,999	0,1	1312,20	4,096
5	72	18,56325	0,6228	1,554	110,30	4,096
6	62,2	18,56325	0,6228	1,554	63,57	2,050
7	62,2	8,52961	0,6228	1,554	63,57	2,055
8	45	8,52961	0,5969	1,454	-25,13	1,889
9	55,96	8,52961	0,5969	1,454	26,16	2,046
10	56,59	18,56325	0,5969	1,454	27,66	2,050
11	56	1,016	0,	1,142	234,93	3,497
12	71,2	1,016	0,	1,142	298,63	3,630
13	56	1,016	0,	1,707	234,93	3,497
14	45,55	1,016	0,	1,707	191,16	3,407
15	56	1,016	0,	0,858	234,93	3,497
16	22,08	1,016	0,	0,858	92,76	3,202

Çizelge 4.3. Çizelge 4.2'de verilen çalışma şartlarında SIT'in performans ve diğer çalışma parametreleri

Sistemin ekserji etkinliği, ECOP	: 0,348811
Sistemin teorik etkinliği, COP	: 0,365582
Dolaşım oranı, f	: 0,06433
Toplam atık ısı kaynağı kütle debisi, m <sub>at</sub>	: 3,707731
Kaynak ayırım boyutsuz parametresi, n	: 0,308147
Isı değiştirici ve buharlaştırıcı ısıl etkinliği, $\varepsilon$	: 0,95
Buharlaştırıcıya verilen ısı, q <sub>b</sub>	: 121,7211
YID'dan çekilen ısı, q <sub>YID</sub>	: 72,64
DID'a verilen ısı, q <sub>DID</sub>	: 74,60



SIT yüksek yoğuşturucu sıcaklıklarında, daha yüksek atık ısı kaynağı sıcaklıklarında çalışmaktadır ve düşük atık ısı kaynağı sıcaklıklarında COP'deki artış daha fazla olmaktadır. Yoğuşturucu sıcaklığının YID çıkış sıcaklığına etkisi ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Ancak yoğuşturucu sıcaklığı SIT'in çalışma aralığını önemli ölçüde etkilemektedir. Örneğin  $\varepsilon = 0,85$  ısı değiştirici ve buharlaştırıcı ısıl etkinliği için  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  yoğuşturucu sıcaklığında SIT'in çalıştığı atık ısı kaynağı sıcaklık aralığı  $47\text{ }^{\circ}\text{C} - 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$  yoğuşturucu sıcaklığında SIT'in çalıştığı atık ısı kaynağı sıcaklık aralığı  $51\text{ }^{\circ}\text{C} - 80\text{ }^{\circ}\text{C}$  ve  $26\text{ }^{\circ}\text{C}$  yoğuşturucu sıcaklığında SIT'in çalıştığı atık ısı kaynağı sıcaklık aralığı  $54\text{ }^{\circ}\text{C} - 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Farklı ısı değiştirici ve buharlaştırıcı ısıl etkinlikleri için YID'dan suyun çıkış sıcaklığının atık ısı kaynağı sıcaklığı ile değişimi doğrusaldır. Ancak farklı ısı değiştirici ve buharlaştırıcı ısıl etkinliği için YID'dan suyun çıkış sıcaklığının kaynak ayırım boyutsuz parametresi ile değişimi doğrusal değildir. YID'dan suyun çıkış sıcaklığının kaynak ayırım boyutsuz parametresi ile artışı yüksek, fakat yüksek kaynak ayırım boyutsuz parametresi değerlerinde ise YID'dan suyun çıkış sıcaklığında ki artış azalmaktadır. SIT'in ECOP'unun atık ısı kaynağı sıcaklığı ile değişimi doğrusal değildir. Isı değiştiricisi ve buharlaştırıcının ısıl etkinliği arttıkça SSY'nin ECOP'u artmaktadır. Bu artış yüksek atık ısı kaynağı sıcaklıklarında daha fazladır. Örneğin  $\varepsilon = 0,85$  ısı değiştirici ve buharlaştırıcı ısıl etkinliği ve  $63\text{ }^{\circ}\text{C}$  atık ısı kaynağı sıcaklığında  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  yoğuşturucu sıcaklığı için SIT'in ECOP'u yaklaşık  $0,480$ ,  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$  yoğuşturucu sıcaklığı için SIT'in ECOP'u yaklaşık  $0,560$  ve  $26\text{ }^{\circ}\text{C}$  yoğuşturucu sıcaklığı için bu değer yaklaşık  $0,610$  kadardır. Başlangıçta SIT'in ECOP'unun atık ısı kaynağı sıcaklığı ile artışı fazla, fakat yüksek atık ısı kaynağı sıcaklıklarında bu artış daha azdır. Yoğuşturucu sıcaklığı arttıkça SIT'in ECOP'u artmaktadır ve SIT düşük yoğuşturucu sıcaklıklarındaki ECOP değerine daha yüksek atık ısı kaynağı sıcaklıklarında ulaşabilmektedir. Kaynak ayırım boyutsuz parametresi arttıkça SIT'in ECOP'u artmaktadır. Diğer taraftan yoğuşturucu sıcaklığı arttıkça aynı ECOP değerine kaynak ayırım boyutsuz parametresinin daha yüksek değerlerinde ulaşılmaktadır. Buharlaştırıcı sıcaklığındaki  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'lik azalmada YID çıkış sıcaklığında büyük bir değişiklik olmadığı görülür. Aynı atık ısı kaynağı ve yoğuşturucu sıcaklığı için buharlaştırıcı sıcaklığındaki  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'lik azalmada SIT'in ECOP'u yaklaşık %33 artmaktadır. Diğer taraftan buharlaştırıcı sıcaklığındaki  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'lik azalma SIT'in daha yüksek atık ısı kaynağı sıcaklıklarında çalışmasına olanak sağlamaktadır. Fakat düşük atık ısı kaynağı sıcaklıklarında SIT çalışmamaktadır. Amonyak/su akışkan çifti ile çalışan sistemin dezavantajı  $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$  karışımının buhar basıncının yüksek olmasıdır. SIT'in çalıştığı sıcaklık aralığı sınırlıdır ve çalışma akışkanlarına bağlıdır. Bu nedenle yüksek sıcaklık ısı değiştiricisinde maksimum sıcaklık artışının sağlandığı ayırıcı ve soğurucu sıcaklıklarının belirlenmesi gerekir. Yoğuşturucu sıcaklığı arttıkça SIT'in düşük çalışma basıncı artmaktadır. Yoğuşturucu sıcaklığı azaldıkça SIT daha düşük atık ısı kaynağı sıcaklıklarında çalışabilmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Ataer, Ö.E., Geredelioğlu, O.C. ve Göğüş, Y.A., "H<sub>2</sub>O/LiBr ile Çalışan Kapalı Devre Soğurmalı Isı Yükseltici" 7. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, İzmir, (1989)
2. Cheng, C. and Shih, Y., "Exergy and Energy Analyses of Absorption Heat Pumps", International Journal of Energy Research, 12, 189-203, (1988)
3. Kouremenos, D.A. and Rogdakis, E.D., "Thermodynamic Cycles For Refrigeration and Heat Transformer Units H<sub>2</sub>O/LiBr", Forschung im Ingenieurwesen, 54, 39-47, (1988)
4. George, J.M. and Murthy, S.S., "Influence of Heat Exchanger Effectiveness on Performance of Vapour Absorption Heat Transformers", International Journal of Energy Research, Vol. 13, 455-475, (1987)
5. Kouremenos, D.A., Rogdakis, E. and Antonopoulos, K.A., "Optimal Adaptation of Solar Driven Absorption NH<sub>3</sub>/HO<sub>2</sub> Heat Transformers to the Solar Collectors", Proceedings of VIIth International Congress of Refrigeration, 1074-1081, Wien (1987)
6. Ziegler, E. and Alefeld, G., "Coefficient of Performance of Multistage Absorption Cycles", International Journal of Refrigeration, Vol. 10, 285-295, (1987)
7. Ataer, Ö.E., Göğüş, Y.A., "Simulation of Closed Absorption Heat Transformer Utilising Bond Graphs", ECOS'95, July 11-15, İstanbul (1995), 328-333
8. Chen, J., "Optimal choice of the Performance Parameters of an Absorption Heat Transformer", Heat Recovery Systems, Vol 15, n. 3, 249-256 (1995)
9. Tufano, V. "On the Performance of Absorption Heat Pump Transformers", Heat Recovery Systems, 15, n. 4, 327-332 (1995)
10. Sorin, M., Le Goff, P., Paris, J., Galotovane, V., "Thermodynamic efficiency of sorption heat pumps", Renewable Energy, Vol.5, n.1-4, 412-414 (1994)