SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Derg., c.7, s.1, ss. 135-145, 2019
Selcuk Univ. J. Eng. Sci. Tech., v.7, n.1, pp. 135-145, 2019
ISSN: 2147-9364 (Electronic)
DOI: 10.15317/Scitech.2019.187

LiBr-H2O AKIŞKAN ÇİFTİNİ KULLANAN BİR ABSORBSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMİ İÇİN TERMODİNAMİK VE EKSERJİ ANALİZİ

[1]Dilek Nur ÖZEN, [2]Kemal Çağrı YAĞCIOĞLU

[1,2]Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, KONYA
[1]dnozen@konya.edu.tr, [2]kemalcagri@hotmail.com

(Geliş/Received: 30.07.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 29.08.2018)

ÖZ: Absorpsiyonlu soğutma sistemleri soğutma ve ısıtma amaçlı kullanılarak, çevre korumasının yanında enerji tasarrufu da sağlamaktadır. Sistem diğer soğutma sistemlerine göre daha karmaşık ve soğutma etki katsayısı daha küçük olmasına rağmen atık enerjilerin ve yenilenebilir enerjilerin değerlendirilmesinde en uygun sistemlerdir. Sıkıştırma işlemi diğer sistemlerde kompresörle yapılmasına rağmen, absorpsiyonlu sistemlerde bu işlem absorber ve kaynatıcıdan oluşan bir sistemle gerçekleştirilir. Bu çalışmada, bir absorbsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik ve ekserji analizi, LiBr-H2O akışkan çifti için yapılmıştır. Analiz Matlab bilgisayar programında oluşturulan bir matematik model ile gerçekleştirilmiştir. Farklı kaynatıcı, buharlaştırıcı ve absorber çıkış sıcaklıklarında sistemin Performans Katsayısı (STK) ve Ekserji kaybı incelenmiştir. Çalışmanın sonuçları artan kaynatıcı (T_k) ve buharlaştıcı sıcaklıklarının (T_b) ekserji kaybını arttırdığını ve absorber çıkış sıcaklığının (T_{abs}) artması ile ekserji kayıplarının azaldığını göstermiştir. Ayrıca kaynatıcının çalışma koşullarının çoğunda ekserji kaybının en yüksek oranı sergilediği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Absorbsiyonlu Soğutma, Ekserji, Enerji, Entropi, LiBr/H2O,

Thermodynamic and Exergy Analysis of an Absorption Cooling System for Libr-H2O Fluid Couple

ABSTRACT: Absorption cooling systems are used for cooling and heating, saving energy as well as environmental protection. Although the system is more complex than the other cooling systems and the cooling efficiency coefficient is smaller, it is the most suitable system for evaluating waste and renewable energies. Although compression is done by compressor in other systems, in absorptive systems this process is done with a system consisting of absorber and generator. In this study, an energy and exergy analysis of an absorbent refrigeration system was made for the LiBr-H2O fluid couple. The analysis was carried out using a mathematical model developed in the Matlab program. The Performance Coefficient (STK) and Exergy loss of the system were investigated at different generator, evaporator and absorber temperatures. The results of the study showed that loss of exergy was reduced by decreasing Tg, Te and increasing Tabs temperatures, and the loss of exergy in most of the operating conditions of the generator exhibited the highest rate.

Key Words: Absorption refrigeration , Energy; Entropy; Exergy; LiBr/H2O;

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gelişen teknoloji ve dünyadaki hızlı nüfus artışı ile birlikte enerji ihtiyacı gittikçe artmaktadır. Buna karşılık ülkemizde ve dünyada enerji sıkıntısı yaşanmaktadır. Klasik enerji türlerinin sürekli artan bu

enerji ihtiyacını karşılayamayacağı öngörülmektedir. Petrol ve mevcut enerjilerin fiyatları, enerji kaynaklarının sınırlı olması ve bu kaynakların gün geçtikçe azalmasından dolayı artmaktadır. Alternatif enerji kaynakları arayışı yenilenebilir enerji kaynaklarını ön plana çıkarmaktadır. Absorbsiyonlu soğutma sistemleri yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Absorbsiyonlu soğutma sistemleri için gereken büyük miktarda ısı enerjisine rağmen, döngüyü çalıştırmak için gereken mekanik enerji çok düşük olmaktadır. Bu nedenle, bu tür soğutma sistemlerinde ihtiyaç duyulan ısı enerjisini, jeotermal veya güneş enerjisi gibi ucuz enerji kaynaklarından sağlama sistemin işletme maliyetlerini azaltmaktadır.

Son yıllarda, Absorbsiyonlu soğutma sistemlerinin iyileştirilmesi çalışmalarına olan ilgi ve yapılan bilimsel çalışmalar yoğun bir şekilde artmıştır.

Kaita, (2001), yüksek sıcaklıklarda buhar basıncını, LiBr çözeltilerinin entalpi ve entropisini hesaplayabilen denklemler geliştirmiştir. Geliştirilen denklemler, ağırlıkça% 40-65 ve ayrıca 40-210^{o}C sıcaklıklarında kullanılmaktadır ve üçlü etkili LiBr-su soğutucuların modellenmesi ve tasarımı için faydalı olmuştur.

Ganesh ve Srinivas (2011), güç uygulama sistemleri için amonyak su karışımının termodinamik özelliklerini 100 bar'a kadar değerlendirmişlerdir. Kalina döngüsünü simüle etmede kullanılacak olan termodinamik özellikleri hesaplamak için yeni MatLab kodu geliştirmişlerdir. MatLab'da geliştirilen progam, termodinamik özelliklerin hızlı bir şekilde hesaplanmasını sağlamıştır.

Patel ve diğ., (2012) tek aşamalı lityum bromür-su absorbsiyonlu soğutma sisteminin enerji analizini gerçekleştirmişlerdir. Kaynatıcı ve kondenser çıkış sıcaklığının artmasıyla kaynatıcı ve absorber üzerindeki ısı yükünün arttığını ve hem buharlaştırıcı hem de kaynatıcı çıkış sıcaklığının aynı anda arttığında azaldığını göstermişlerdir. Aynı zamanda, kondenser ve kaynatıcı çıkış sıcaklığı arttıkça STK'nın kademeli olarak azalmaya başladığını, ancak ekserji veriminin önce kondenser çıkış sıcaklığındaki artışla lineer olarak arttığını ve daha yüksek kondenser çıkış sıcaklığında düşmeye başladığını bulmuşlardır.

Touaibi ve diğ. (2013), 10 kW'lık bir soğutma kapasitesine sahip bir güneş enerjisi termal kollektör alanı tarafından sağlanan ısı ile tahrik edilen tek etkili LiBr-H2O absorbsiyonlu soğutma sisteminin enerji ve ekserji analizini yapmışlardır. Bazı bileşenlerin toplam ekserji kaybına katkısının çok önemli olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca ekserji analizinin çalışma sıcaklıklarına büyük ölçüde bağlı olduğunu göstermişlerdir.

Farshi ve diğ., (2014) amonyak / tuz absorbsiyonlu soğutma sistemlerinin ilk ve ikinci yasa analizini yapmışlardır. Çeşitli işletim parametrelerinin performans üzerindeki etkisini ve bu döngülerde kristalleşme olasılığını incelemişlerdir. Bu çalışma, düşük kaynatıcı sıcaklıkları için, amonyak / LiNO3 döngülerinin daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Yüksek kaynatıcı sıcaklıkları için, amonyak / NaSCN döngüleri daha iyi performansa sahiptir, ancak bu karışım için izin verilen kaynatıcı sıcaklıkları aralığı oldukça sınırlıdır.

Garousi ve diğ. (2014), ısı kaynağı olarak güneş enerjisi kullanan LiBr-H2O absorbsiyonlu soğutma sisteminin enerji ve ekserji analizlerini yapmışlardır. Bu çalışmada absorberin ayrıntılı ekserji analizi, ekserji yıkımının gerçek nedenlerini ortaya koymuştur.

Urueta ve diğ. (2014), ısıtma ve soğutma için adyabatik absorberli LiBr-H2O absorbsiyonlu sistemlerinin enerji ve ekserji analizini gerçekleştirmiştir. En çok göze çarpan etki, absorber ve kaynatıcı için ekserji verimliliği durumunda gözlemlenmiştir. Bu parametre, absorber çıkış sıcaklığının artmasıyla artmıştır. Kaynatıcı sıcaklığı arttığında karşıt etki gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar adyabatik absorbsiyonlu sistemin ekserji etkinliğini etkileyebilecek parametrelerin tanımlanmasını sağlamıştır.

Bouaziz ve Lounissi, (2015) güneş enerjisi için yeni bir çift etkili hibrit absorbsiyonlu soğutma sisteminin enerji ve ekserji araştırmasını sunmuşlardır. Çalışmanın sonuçları, yeni konfigürasyonun performansının, iki aşamalı geleneksel konfigürasyonun performansından daha iyi olduğunu ortaya koymuştur.

Azhar ve Siddiqui, (2016), maksimum STK değerini ve ekserji verimliliğini elde etmek için çift etkili bir LiBr-H2O absorbsiyonlu soğutma sisteminin enerji ve ekserji analizlerini gerçekleştirerek optimum

çalışma sıcaklıklarını bulmuşlardır. Sonuçlar, artan evaporatör sıcaklığı ile ekserji verimi azalırken STK değerinin arttığını göstermiştir.

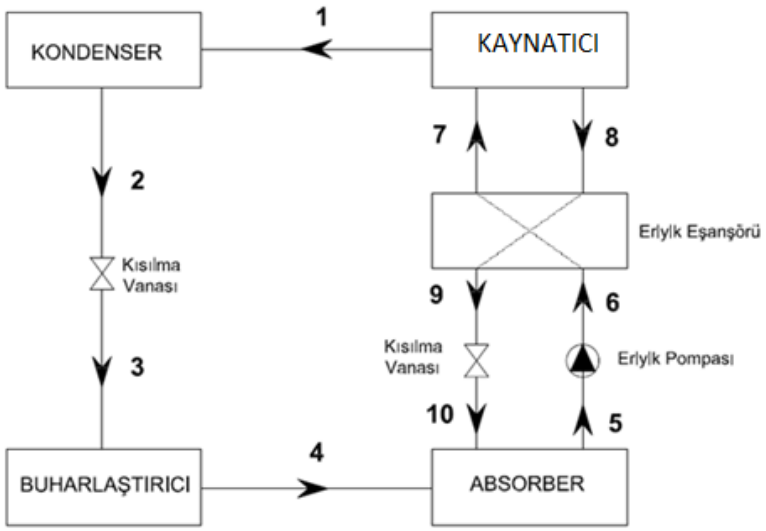
Anusha ve Chaitanya (2017) absorbsiyonlu soğurma soğutma sistemlerinin performans analizini değerlendirmişlerdir. Onlar, NH3 / H2O, NH3 / LiNO3, NH3 / NaSCN absorpsiyon çiftlerinin termodinamik analizini gerçekleştirmişlerdir ve Amonyak / NaSCN ve amonyak / LiNO3'ün, amonyak / H2O çiftinden daha iyi performans verdiğini göstermişlerdir.

Urueta ve diğ. (2017), adyabatik absorberli yeni bir tek etkili LiBr-H2O absorpsiyonlu sistemini tasarlamış ve performans analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışma performansının sistem performansı üzerindeki etkisini; soğutma kapasitesi, STK değeri, çözelti alt soğutması ve ekserji verimliliği açısından araştırılmışlardır. Onlar dolaşım oranının adyabatik absorpsiyon sisteminin performansını etkileyen temel bir parametre olduğunu ve adyabatik absorberlerin kullanımının, absorbsiyonlu sistemlerinin performansını artırabildiğini göstermişlerdir.

Literatür ekserji analizinde çalışma sıcaklıklarının ne kadar önemli olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışmada LiBr-H2O çözelti çiftini kullanan tek aşamalı bir absorbsiyonlu soğutma sisteminin farklı çalışma sıcaklıkları için birinci ve ikinci kanun analizi yapılmıştır.

SİSTEM TANIMI (SYSTEM DESCRIPTION)

Şekil 1'de LiBr-H2O çözelti çifti için termodinamik ve ekserji analizinin gerçekleştirildiği absorbsiyonlu soğutma sisteminin şematik bir görüntüsü verilmiştir.



Şekil 1. Absorbsiyonlu soğutma sisteminin şematik görünümü
Figure 1. *Schematic view of the absorption cooling system*

Sistem analizi için hazırlanan matematik modelde aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

1- Yoğuşturucudaki ve kaynatıcıdaki basınç, soğutucu akışkanın yoğuşturucu sıcaklığında sahip olduğu doyma basıncıdır.

2- Absorberdeki ve buharlaştırıcıdaki basınç, soğutucu akışkanın buharlaştırıcı sıcaklığında sahip olduğu doyma basıncıdır.

3- Soğutucu buharının, kaynatıcıdan ayrılırken sahip olduğu basınç ve sıcaklığı, kaynatıcının basınç ve sıcaklığıdır.

4- Soğutucu akışkanın fazı yoğuşturucudan ayrılırken, doymuş sıvıdır (X=0).

5- Soğutucu akışkanın fazı buharlaştırıcıdan ayrılırken, doymuş buhardır (X=1).

6- Çözelti absorberden ayrılırken absorber çıkış sıcaklık ve basıncında denge halindedir.

7- Çözeltinin absorberden çıkış sıcaklığı, soğutucu akışkanın yoğuşturucudan çıkış sıcaklığına eşittir.(T_5=T_2)

8- Pompa gücü çok küçük olduğu için dikkate alınmamıştır.

SİSTEMİN TERMODİNAMİK ANALİZİ (THERMODYNAMIC ANALYSIS OF THE SYSTEM)

LiBr-H_2O çözeltisini kullanan bir Absorbsiyonlu soğutma sisteminde soğutucu akışkan H_2O'dur. LiBr-H2O çözeltisini kullanan sistemde konsantrasyon, LiBr miktarına göre belirlenmektedir. Bu sebeple LiBr-H_2O çözeltisini kullanan sistemde zengin eriyik kavramı, soğutucu akışkanın buharlaştığı kaynatıcı çıkışında tanımlanmaktadır. Sistem ile ilgili temel denklemler aşağıda verilmiştir.

Eşanjör etkinliği denklem (1) ile verilmiştir ve bu çalışmada % 65 olarak alınmıştır.

$$\varepsilon = \frac{T_8 - T_9}{T_8 - T_6} \tag{1}$$

LiBr-H_2O çözeltisini kullanan sistem için dolaşım oranı aşağıdaki denklem ile bulunmuştur.

$$f = \frac{X_7}{(X_8 - X_7)} \tag{2}$$

Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilmiştir. Sistemin her bir elemanı için enerji denklemi aşağıda verilmiştir.

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m}_ç \, \dot{h}_ç - \dot{m}_g \dot{h}_g \tag{3}$$

Isı etkileşimi sonucu taşınan ekserji $\dot{E}_q$, iş etkileşimi $\dot{E}_w$ sonucu taşınan ekserji ve kütle akışına bağlı olarak giren $\dot{E}_g$ ve çıkan $\dot{E}_ç$ ekserjiler aşağıda tanımlandığı gibidir.

$$\dot{E}_q = \sum (1 - \frac{T_0}{T}) \dot{Q} \tag{4}$$

$$\dot{E}_w = \sum \dot{W} \tag{5}$$

$$\dot{E} = \sum (\dot{m} \Psi) \tag{6}$$

Bu çalışmada akışkan çiftinin kimyasal yapısında herhangi bir değişiklik olmadığı için kimyasal ekserji dikkate alınmamıştır.

Fiziksel ekserji denklem (7) ile verilmiştir.

$$\Psi = \Psi^{ph} = (h - h_0) - T_0 (s - s_0) \tag{7}$$

Denklem (7)'de akışkanın ölü hal basınç ve sıcaklığındaki entalpi ve entropi miktarlarını sırasıyla h_0 ve s_0 değerleri belirtmektedir. Bu çalışmada ölü hal 101.325 kPa ve 25 °C değerleri kabul edilmiştir.

Tersinmezlik değeri sürekli akışlı açık bir sistem için aşağıdaki denklem ile verilmiştir.

$$I = \sum (\dot{m}_g \Psi_g) - \sum (\dot{m}_ç \Psi_ç) + \sum \dot{Q} \left(1 - \frac{T_o}{T_K}\right) - \sum \dot{W} \tag{8}$$

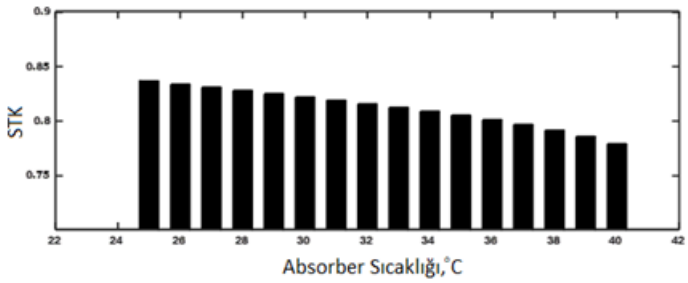
Sistemin STK değeri denklem (9) ile verilmiştir.

$$STK = \frac{Q_b}{Q_k} \tag{9}$$

SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

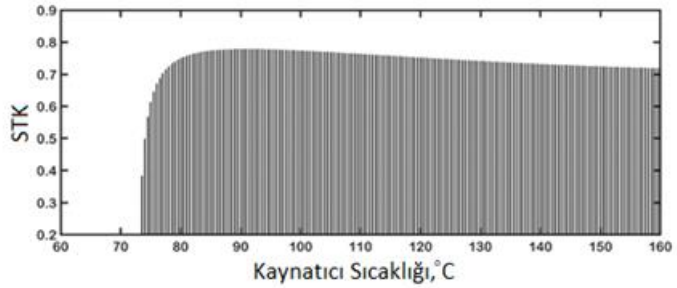
Şekil 1'de şematik gösterimi yapılan absorbsiyonlu soğutma sisteminde, LiBr-H_2O akışkan çifti için termodinamik ve ekserji analizi yapılmıştır. Analiz için Matlab bilgisayar programında bir matematik model oluşturulmuş ve farklı kaynatıcı, buharlaştırıcı ve absorber çıkış sıcaklıklarında sistemin STK değeri ve ekserji kayıpları (%) incelenmiştir.

Şekil 2 - Şekil 10, sistemin STK değerinin ve her bir bileşenin ekserji kaybının kaynatıcı, absorber ve buharlaştırıcı sıcaklıkları ile değişimini göstermektedir. Çözelti tarafındaki genleşme valfinin ekserji kaybı incelenmiş, soğutucu akışkan tarafındaki genleşme valfinin ekserji kaybı çok küçük değerlerde olduğu için dikkate alınmamıştır.



Şekil 2. STK değerinin absorber çıkış sıcaklığına (T_{abs}) göre değişimi (T_b=10°C, T_k=80°C)
Figure 2. *Effect of absorber outlet temperature on COP*

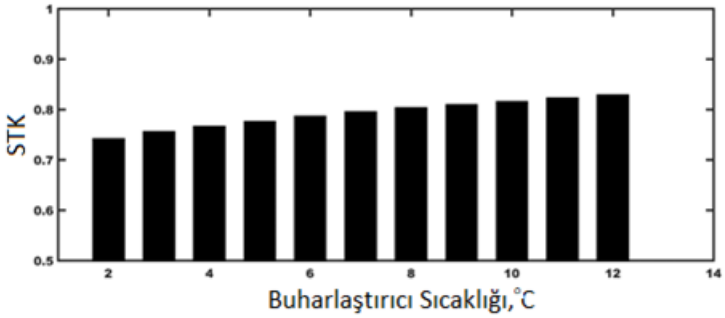
Şekil 2'de absorber çıkış sıcaklığı değişiminin, STK değerine etkisi görülmektedir. Absorber çıkış sıcaklığının artması, fakir ve zengin eriyik konsantrasyonu arasındaki farkı azaltarak akış oranının artmasına sebep olmaktadır. Buharlaştırıcı sıcaklığı ve absorber basıncı sabit tutulduğu için absorber çıkış sıcaklığı arttıkça akış oranı artmaktadır. Akış oranının artması kaynatıcı kapasitesini artırarak sistemin soğutma performans değerini düşürmektedir.



Şekil 3. STK değerinin kaynatıcı sıcaklığına (T_k) göre değişimi (T_b=10°C, T_{abs}=T_y=40°C)
Figure 3. *Effect of generator temperature on COP*

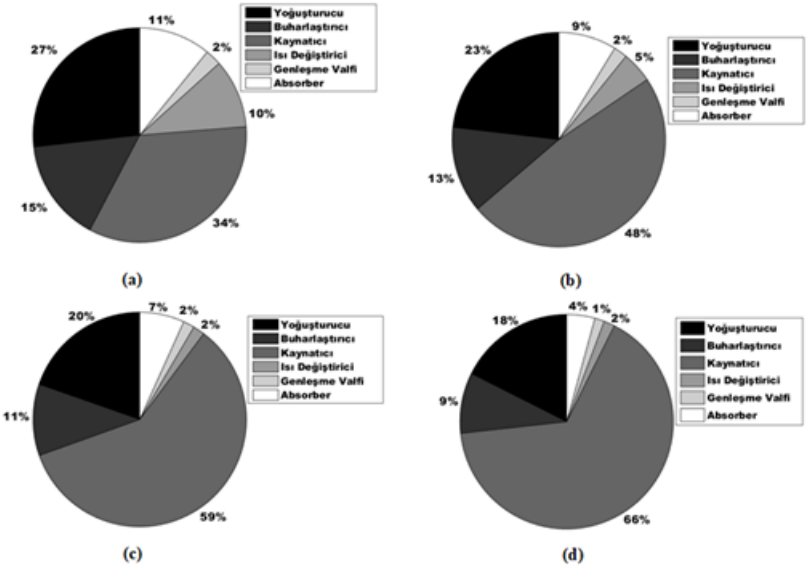
Şekil 3'de kaynatıcı sıcaklığının, absorbsiyonlu soğutma sisteminin STK değerine olan etkisi görülmektedir. Grafik çizimi için T_b = 10°C, T_{abs} = T_y = 40°C olarak alınmıştır. Kaynatıcı sıcaklığının artması ile STK değeri önce artmakta ve belli bir değerden sonra düşüşe geçmektedir.

Jeneratör sıcaklığının artması dolaşım oranını düşürmektedir ve bu durum jeneratör kapasitesinin azalmasına neden olmakta ve böylece STK değeri artmaktadır. Yaklaşık olarak 80-85 °C jeneratör sıcaklığı aralığından daha yüksek sıcaklık değerlerinde akışkan çiftinin STK değeri düşmeye başlamaktadır. Buharlaştırıcı sıcaklığı sabit tutulurken jeneratör sıcaklığının artması, ve daha yüksek sıcaklıklarda dolaşım oranındaki azalma oranının düşmesi STK değerinin düşmesine neden olmaktadır.



Şekil 4. STK değerinin buharlaştırıcı sıcaklığına (T_b) göre değişimi (T_k=80°C, T_{abs}=T_y=40°C)
Figure 4. *Effect of evaporator temperature on COP*

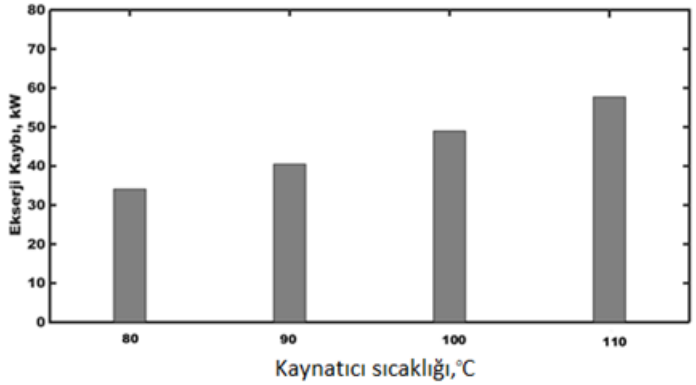
Şekil 4'de STK değerinin buharlaştırıcı sıcaklığı ile değişimi görülmektedir. Buharlaştırıcı sıcaklığının artmasıyla absorbsiyonlu soğutma sisteminin STK değerinin arttığı görülmektedir. Buharlaştırıcı sıcaklıklarındaki artış, zengin ve fakir eriyik konsantrasyonları arasındaki farkı artırmakta ve dolayısıyla dolaşım oranını azaltmaktadır. Dolaşım oranı değerinin azalmasıyla kaynatıcı kapasitesi azalmakta bu nedenle STK artmaktadır. Ayrıca kaynatıcı sıcaklığı ve yoğuşturucu basıncı sabit tutulduğu için buharlaştırıcı sıcaklığı artarken STK değeri de artmaktadır.



Şekil 5. LiBr-H_2O akışkan çifti için (a) T_k= 80°C (b) T_k= 90 °C (c) T_k= 100 °C (d) Tk= 110 °C kaynatıcı sıcaklıklarında sistem elemanlarının ekserji kayıpları (T_b=10°C, T_{abs}=T_y=40°C)

Figure 5. *Variation of exergy loss of each component with generator temperature (a) T_g= 80 °C (b) T_g= 90 °C (c) T_g= 100 °C (d) T_g= 110 °C for LiBr-H2O fluid pair (T_e=10°C, T_{abs}=T_c=40°C)*

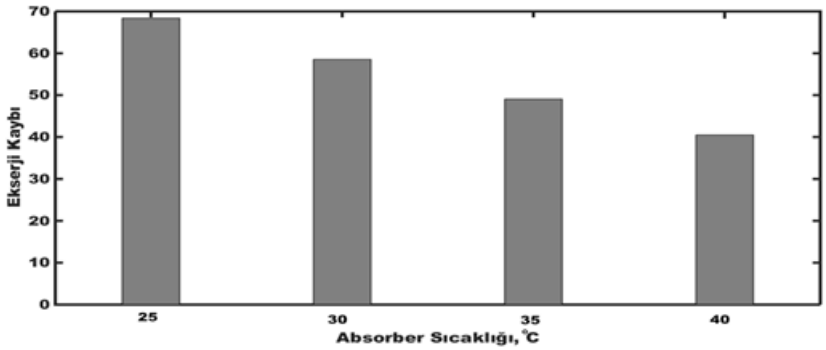
LiBr-H_2O akışkan çifti kullanan tek etkili absorbsiyonlu soğutma sistemi için ekserji kaybının sistemdeki her bir elemanda kaynatıcı sıcaklığına göre değişimini gösteren grafik Şekil 5'de sunulmuştur. Kaynatıcı sıcaklığındaki artış genleşme valfinin ekserji kaybını diğer elemanlara nazaran ihmal edilebilecek bir ölçüde yüzdelik (%) olarak azaltmaktadır. Artan kaynatıcı sıcaklığı ile birlikte çözelti ısı değiştiricisinde ekserji kaybı azalmakta ve T_k=80°C sıcaklıklarında ekserji kaybı en yüksek değerinde olmaktadır. Artan kaynatıcı sıcaklıklarında buharlaştırıcı ve yoğuşturucu üzerindeki ekserji kayıpları ise azalmaktadır.



Şekil 6. LiBr-H_2O akışkan çifti için kaynatıcı sıcaklığının toplam ekserji kaybına etkisi (T_b=10°C, T_{abs}=T_y=40°C)

Figure 6. *Variation of total exergy loss of system with generator temperature for LiBr-H2O fluid pair (Te=10°C, T_{abs}=T_c=40°C)*

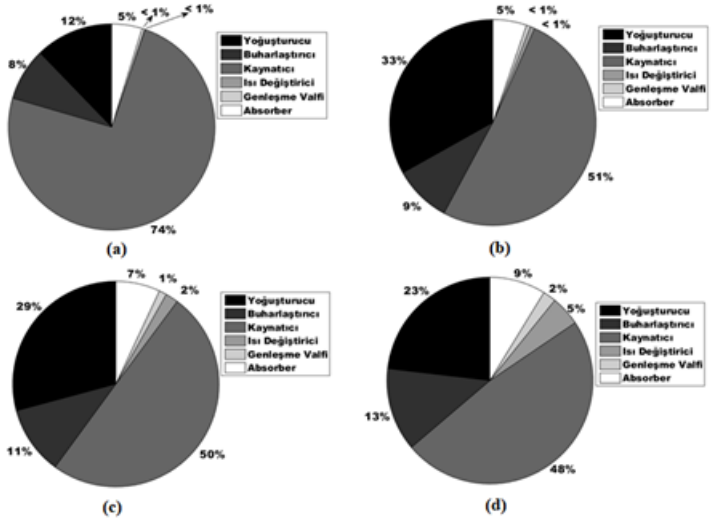
Şekil 5 ve Şekil 6 beraber incelendiğinde soğutma sisteminde en yüksek ekserji kaybının yaşandığı elemanın 110 ºC sıcaklığa sahip olan kaynatıcı olduğu görülmektedir. 110°C kaynatıcı sıcaklığında sistemin toplam ekserji kaybı 60 kW değerindedir.



Şekil 7. LiBr-H_2O akışkan çifti için absorber çıkış sıcaklığının toplam ekserji kaybına etkisi (T_b=10°C, T_k=80°C)

Figure 7. Variation of total exergy loss of system with absorber outlet temperature for LiBr-H2O fluid pair (T_e=10°C, T_g=80°C)

Şekil 7'de absorber çıkış sıcaklığının değişiminin, ekserji kaybına etkisi görülmektedir. Absorber çıkış sıcaklığının artması ile birlikte LiBr-H_2O akışkan çifti kullanan sistemin toplam ekserji kaybı azalmaktadır. Sistemin en yüksek ekserji kaybı 25°C absorber çıkış sıcaklığında yaklaşık 70 kW civarındadır ve en yüksek ekserji kaybının yaşandığı eleman Şekil 8'de de görüldüğü üzere kaynatıcıdır.



Şekil 8. LiBr-H_2O akışkan çifti için (a) T_{abs}= 25 °C (b) T_{abs}= 30 °C (c) T_{abs}= 35 °C (d) T_{abs}= 40 °C absorber çıkış sıcaklıklarında sistem elemanlarının ekserji kayıpları (T_b=10°C, T_k=80°C)

Figure 8. *Variation of exergy loss of each component with absorber outlet temperature (a) T_{abs}= 25 °C (b) T_{abs}= 30 °C (c) T_{abs}= 35 °C (d) T_{abs}= 40 °C for LiBr-H2O fluid pair (T_e=10°C, T_g=80°C)*

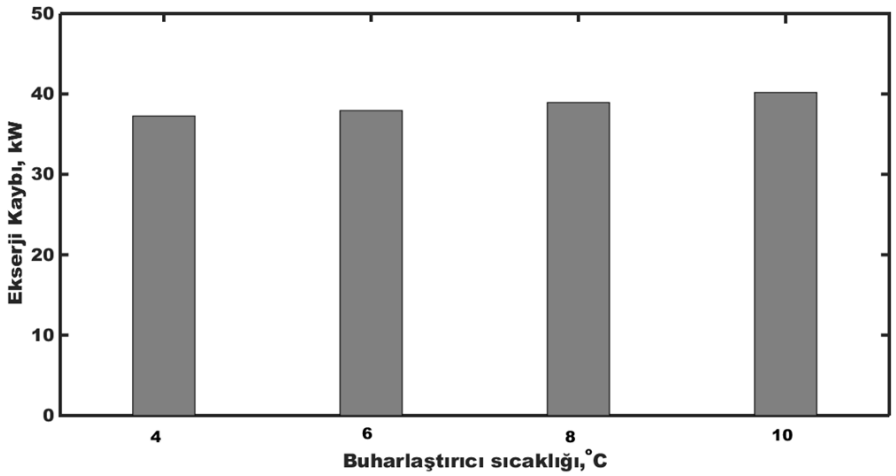
Artan absorber çıkış sıcaklığı ile birlikte kaynatıcıdaki ekserji kayıpları azalmaktadır. 30ºC absorber çıkış sıcaklığında yoğuşturucu elemanındaki ekserji kaybı ise Şekil 8'de belirtilen diğer absorber çıkış sıcaklıklarındaki yoğuşturucular ile kıyaslandığında en yüksektir ve bu sıcaklıktan sonra absorber çıkış sıcaklığı arttıkça yüzdelik olarak diğer elemanlara göre azalmaktadır.

Yüksek absorber çıkış sıcaklıklarında buharlaştırıcıdaki ekserji kayıplarının arttığı görülmektedir. T_{abs}= 25°C absorber çıkış sıcaklığında buharlaştırıcıda ekserji kayıpları en az değerini almaktadır.

LiBr-H_2O akışkan çifti kullanan tek etkili absorbsiyonlu soğutma sistemindeki ekipmanlar ayrı olarak değerlendirildiğinde sistem elemanlarından absorber, genleşme valfi, ısı değiştiricisi ve buharlaştırıcıda artan absorber çıkış sıcaklığı birlikte yüzdelik olarak ekserji kayıplarının arttığı,

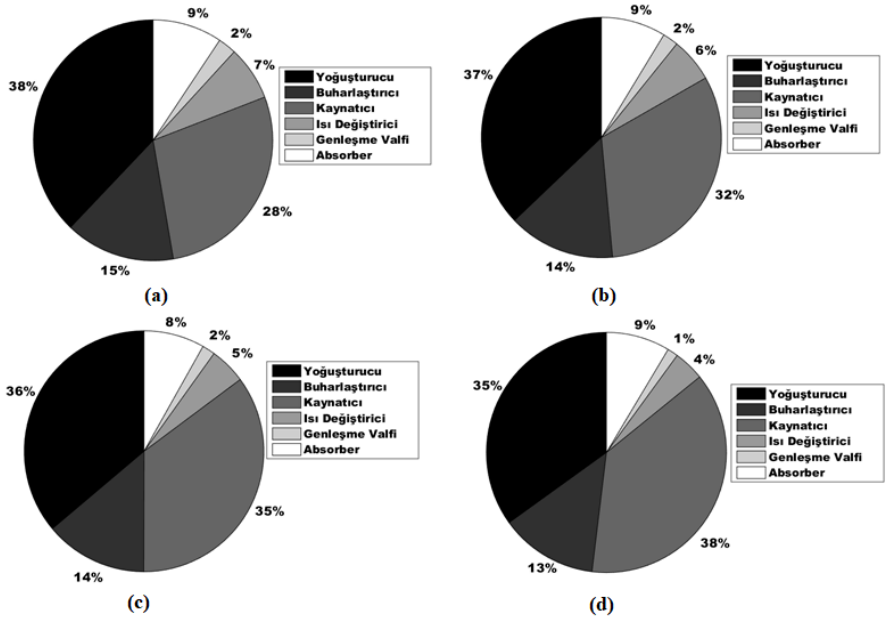
yoğuşturucu ve kaynatıcıda ise artan absorber çıkış sıcaklığı ile birlikte ekserji kayıplarının azaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

LiBr-H_2O akışkan çifti kullanan absorbsiyonlu soğutma sistemi için buharlaştırıcı sıcaklığına göre ekserji kaybının değişiminin gösterildiği Şekil 9 ve Şekil 10 birlikte incelendiğinde en yüksek ekserji kaybının yaşandığı elemanın 10ºC buharlaştırıcı sıcaklığındaki kaynatıcı olduğu ve buharlaştırıcı sıcaklığı arttıkça ekserji kaybının arttığı görülmüştür. Sistemin 10°C buharlaştırıcı sıcaklığındaki ekserji kaybı yaklaşık 40 kW'tır.



Şekil 9. LiBr-H_2O akışkan çifti için buharlaştırıcı sıcaklığının toplam ekserji kaybına etkisi (T_k=80°C, T_{abs}=T_y=40°C)

Figure 9. Variation of total exergy loss of system with evaporator temperature for LiBr-H2O fluid pair (T_g=80°C, T_{abs}=T_c=40°C)



Şekil 10. LiBr-H_2O akışkan çifti için (a) T_b= 4 °C (b) T_b= 6 °C (c) T_b= 8 °C (d) T_b= 10 °C buharlaştırıcı sıcaklıklarında sistem elemanlarının ekserji kayıpları (T_k=80°C, T_{abs}=T_y=40°C)

Figure 10. Variation of exergy loss of each component with evaporator temperature (a) T_e= 4 °C (b) T_e= 6 °C (c) T_e= 8 °C (d) T_e= 10 °C for LiBr-H2O fluid pair (T_g=80°C, T_{abs}=T_c=40°C)

Buharlaştırıcı sıcaklığının artması ile birlikte çözelti ısı değiştiricisi ve genleşme valfi ekipmanlarında ekserji kaybının yüzdelik olarak azaldığı görülmüştür. T_b=10°C buharlaştırıcı sıcaklıklarındaki buharlaştırıcı ve yoğuşturucu da ekserji kayıplarının yüzdelik olarak en az olduğu ve bu sıcaklıklardan daha düşük buharlaştırıcı sıcaklıklarında ise ekserji kayıplarının yüzdelik olarak arttığı sonucuna varılmıştır.

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, LiBr-H2O çözelti çifti kullanılarak absorbsiyonlu bir soğutma sisteminin STK değerlerinin değişimi, farklı T_b, T_{abs} = T_y ve T_k sıcaklıkları için araştırılmış ve her bir bileşendeki ekserji kayıpları analiz edilmiştir. Sonuçlar, artan kaynatıcı sıcaklık (T_k) değerleri ile STK değerlerinin önce arttığını ve sonra giderek azaldığını göstermiştir. Ayrıca, STK değerleri artan buharlaştırıcı sıcaklıkları (T_b) ve azalan absorber çıkış sıcaklıkları (T_{abs} = T_y) ile artmaktadır. Ekserji kayıpları ise artan T_k, T_b ve azalan T_{abs} = T_y sıcaklıkları ile artmaktadır. Kaynatıcı, çalışma koşullarının çoğunda en yüksek göreceli ekserji kaybını göstermektedir. Bu nedenle, genel sistem performansını etkin bir şekilde geliştirmek için bu bileşen dikkatle düşünülmelidir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma ikinci yazarın yüksek lisans tezinin bir bölümünden oluşmaktadır (Yağcıoğlu, 2018).

EK: LiBr-H2O ÇÖZELTİ ÇİFTİ İÇİN DENKLEMLER (APPENDIX : EQUATIONS FOR LiBr-H2O SOLUTION PAIR)

$logP = A + \frac{B}{T} + \frac{C}{T^2}$ (Uemura & Hasaba, 1964)

$A = 3.1934 + 1.329E-1X - 1.4278E-3X^2$

$B = 1.0575E3 - 9.4632E1\ X + 9.816E-1X^2$

$C = -6.01350E5 + 1.9734E4\ X - 2.3701E2\ X^2$

$h = \sum_{I=0}^{5} \sum_{J=0}^{2} A_{IJ} X^I T^J$ (Patterson & Perez-Branco, 1988)

i	A_{io}	A_{i1}	A_{i2}
0	1.134125E0	4.124891E0	5.743693E-4
1	-4.80045E-1	-7.643903E-2	5.870921E-5
2	-2.161438E-3	2.589577E-3	-7.375319E-6
3	2.336235E-4	-9.500522E-5	3.277592E-7
4	-1.188679E-5	1.708026E-6	-6.062304E-9
5	2.291532E-7	-1.102363E-8	3.901897E-11

$s = \sum_{I=0}^{3} \sum_{J=0}^{3} B_{IJ} X^J T^I$ (Kaita, 2001)

i	B_{i0}	B_{i1}	B_{i2}	B_{i3}
0	5.127558E-01	-1.393954E-02	2.924145E-05	9.035697E-07
1	1.226780E-02	-9.156820E-05	1.820453E-08	-7.991806E-10
2	-1.364895E-05	1.068904E	-1.381109E-09	1.529784E-11
3	1.021501E-08	0	0	0

Simgeler (Nomenclature)

STK - soğutma tesir katsayısı
E - ekserji, [kW]
f - dolaşım oranı
h - özgül entalpi, [kJ kg^{-1}]
ṁ - kütlesel debi, [kg s^{-1}]
I - ekserji yıkımı, [kW]
s - özgül entropi, [kJ kg^{-1} K^{-1}]
P - basınç, [kPa]
T - sıcaklık, [°C]
Q - ısı, [kW]
X - kütle konsantrasyonu
Ẇ - iş, [kW]

Yunan Simgeleri (Greek symbols)

ε - ısı değiştiricisi etkinliği
η -verim
Ψ - özgül ekserji, [kJ kg^{-1}]

Altsimge (Subscript)

abs - absorber
y - yoğuşturucu
b - buharlaştırıcı
k - kaynatıcı
K - kaynak
p - pompa
II - ikinci yasa
o - ölü hal

Üstsimge (Superscript)

ph - fiziksel

KAYNAKLAR (REFERENCES)

Abdulateef, J. M., Sopian, K., Alghoul, M. A., Sulaiman, M. Y., Zaharim, A., & Ahmad, I., 2007, "Solar absorption refrigeration system using new working fluid pairs", *International Journal of Energy*, Vol. 1, No. 3, pp. 82-87

Alamdari, G. S., 2007, "Simple functions for predicting the thermodynamic properties of ammonia-water mixture", *Internatıonal Journal of Engineering-Materials And Energy Research Center*, Vol.20, No. 1, pp. 95-104.

Anusha, B., Chaitanya, B., 2017, "Performance Analysis of Absorption Refrigeration Cycles", *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, Vol. 4, No. 1.

Azhar, M., Siddiqui, M. A., "Energy and Exergy Analyses for Optimization of the Operating Temperatures in Double Effect Absorption Cycle", *Energy Procedia* Vol. 109, pp. 211-218.

Bhaumik, M., Mudgal, A., Bhavesh, P., 2017, "Energy and exergy investigation of small capacity single effect lithium bromide absorption refrigeration system", *Energy Procedia*, Vol. 109, pp. 203-210.

Bouaziz, N., Lounissi, D., 2015, "Energy and exergy investigation of a novel double effect hybrid absorption refrigeration system for solar cooling", *International journal of hydrogen energy*, Vol. 40 , No. 39, pp. 13849-13856.

Bourseau, P., Bugarel, R., 1986, "Absorption-Diffusion Machines: Comparison of the Performances of NH3-H2O and NH3-NaSCN", *International Journal of Refrigeration,* Vol. 9, pp. 206-214.

Dehua, C., Guogeng, H., Qigi, T.,Weier, T., 2014, "Exergy analysis of a novel air-cooled non-adiabatic absorption refrigeration cycle with NH3–NaSCN and NH3–LiNO3 refrigerant solutions", *Energy Conversion and Management*, pp. 66-78.

Farshi, L. G., Ferreira, C. I., Mahmoudi, S. S., Rosen, M. A., 2014, "First and second law analysis of ammonia/salt absorption refrigeration systems", *International journal of refrigeration*, Vol. 40, pp. 111-121.

Ferreira, I., 1984, "Thermodynamic and Physical Property Data Equations for Ammonia-Lihtium Nitrate and Ammonia-Sodium Thiocyanate Solutions", *Solar Energy*, Vol. 32, No. 2, pp. 231-236.

Florides, G., Kalogirou, S., 2003, "Design and Construction of a LiBr–Water Absorption Machine", *Energy Conversion And Management*, Vol. 44, pp. 2483-2508.

Ganesh, N. S., Srinivas, T., 2011, "Evaluation of thermodynamic properties of ammonia-water mixture up to 100 bar for power application systems", *Journal of mechanical engineering research*, Vol. 3, No. 1, pp. 25-39.

Garousi, F. L., Infante, F. C., Mahmoudi, S.,Rosen, M., 2014, "First and second law analysis of ammonia salt absorption refrigeration systems", *International Journal Of Refrigeration*, Vol. 40, pp. 111-121.

Lavinia, G., Dobrovicescu, A., Untea, A., 2014, "Energy and exergy analyses of a solar-driven absorption cooling system", *International Journal of Exergy*, Vol. 15, No. 3, pp. 308-327.

Kaita, Y., 2001, "Thermodynamic properties of lithium bromide–water solutions at high temperatures", *International Journal of refrigeration*, Vol. 24, No. 5, pp. 374-390.

Kaushik, S., Arora, A., 2009, "Energy and Exergy analysis of single effect and series flow double effect water lithium bromide absorption refrigeration systems", *International Journal of Refrigeration*, Vol. 32, pp. 1247-1258.

Linghui, Z., Junjie, G., 2010, "Second law based thermodynamic analysis of ammonnia sodium thiocyanate absorption system", *Renewable Energy*, pp. 1940-1946.

Patek, J. P., Klomfor, J., 1995, "Simple Functions for Fast Calculations of Selected Thermodynamic Properties of the Ammonia-Water System", *Int.J.Refring*, Vol.4, No. 18, pp. 228-234.

Patel, H. A., Patel, L. N., Jani, D., Christian, A., 2016, "Energetic Analysis of Single Stage Lithium Bromide Water Absorption Refrigeration System", *Procedia Technology*, Vol. *23*, pp. 488-495.

Urueta, G. G. , Huicochea, A., Aumente, P. R., Rivera, W., 2014, "Energy and exergy analysis of water-LiBr absorption systems with adiabatic absorbers for heating and cooling", *Energy Procedia*, Vol. 57, pp. 2676-2685.

Urueta, G. G., Huicochea, A., Rivera, W., Aumente, P. R., & Oviedo-Tolentino, F., 2017, "Experimental energy and exergy analysis of a novel water-LiBr absorption system", *International Journal of Exergy*, Vol. 23, No. 1, 31-46.

Touaibi, R., Feidt, M., Vasilescu, E. E., Abbes, M. T., 2013, "Parametric study and exergy analysis of solar water–lithium bromide absorption cooling system", *International Journal of Exergy*, Vol. 13, No. 3, pp. 409-429.

Yağcıoğlu, K. Ç., 2018, *Absorbsiyonlu Bir Soğutma Sisteminde Farklı Soğutucu Akışkanlar için Termodinamik ve Ekserji Analizi*, Master Thesis, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.