



## SF (solar fraction) analysis of solar energy sourced absorption refrigeration systems

Ali Haydar Gündüz<sup>1</sup> , Canan Cimşit<sup>2\*</sup> 

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Kocaeli University, 41380, Umuttepe-Kocaeli, Türkiye  
<sup>2</sup>Golcuk Vocational School, Kocaeli University, 41650, Gölçük-Kocaeli, Türkiye

### Highlights:

- Use of solar energy in the absorption refrigeration system
- Vacuum tube solar collector calculations
- Analysis of solar utilization rates (SF)

### Keywords:

- Absorption refrigeration system
- Energy
- Solar Energy
- Vacuum tube solar collectors
- SF Analysis

### Article Info:

Research Article  
Received: 27.01.2023  
Accepted: 17.11.2023

### DOI:

10.17341/gazimmfd.1243603

### Correspondence:

Author: Canan Cimşit  
e-mail:  
ccimsit@kocaeli.edu.tr  
phone: +90 262 422 3855

### Graphical/Tabular Abstract

In this study, assuming that  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$  and  $\text{LiBr-H}_2\text{O}$  working fluids are used in the solar energy sourced absorption refrigeration system, when operated vacuum tube collectors have been calculated the collector areas and collector efficiencies required for the operation of the system (Figure A). The calculations have been made according to Antalya and Kocaeli, which have different solar energy potentials. In order for the examined systems to benefit from solar energy in the most economical way, solar energy utilization rates (SF) have been calculated in detail for these two different working fluids and compared with each other.

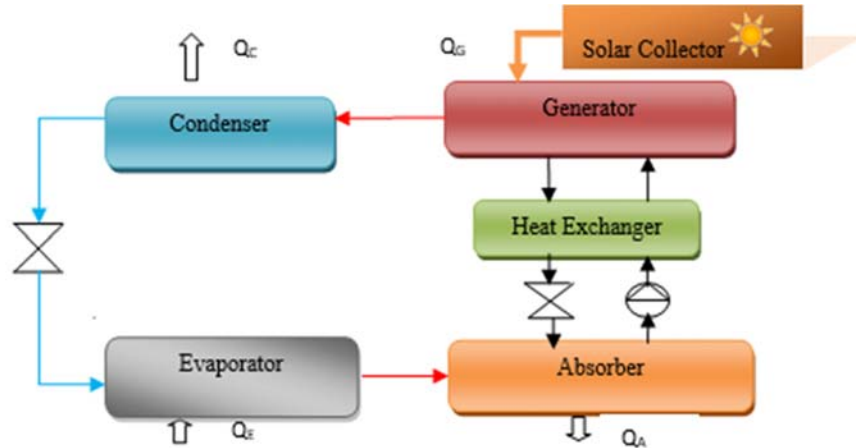


Figure A. Solar energy sourced absorption refrigeration system

**Purpose:** In this study, solar utilization rates (SF) analysis have been made in order to benefit from solar energy economically. Assuming that  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$  and  $\text{LiBr-H}_2\text{O}$  are used in the solar absorption refrigeration system for Antalya and Kocaeli, the solar utilization ratios (SF) of vacuum tube collectors have been calculated and compared. Thus, in Turkey, which has a rich solar energy potential, it is aimed to meet the energy required for refrigeration with this potential and to expand its use.

**Theory and Methods:** It has been thought that the energy required for the absorption refrigeration system, which is an alternative to the classical cooling system, should be provided from solar energy and monthly solar radiation values have been calculated for Antalya and Kocaeli. In line with these values, collector efficiencies for vacuum tube collector areas and absorption refrigeration system have been calculated. In order for the examined systems to benefit from solar energy in the most economical way, solar utilization rates have been calculated and compared with each other.

**Results:** In the SF analysis, it has been seen that Antalya is more advantageous than Kocaeli. As a result of the analysis, it has been determined that the required minimum collector areas are 65 and 85 m<sup>2</sup> in Antalya and Kocaeli in the absorption refrigeration system using  $\text{LiBr-H}_2\text{O}$  working fluid, respectively. It has been determined that the required collector areas are the lowest in August in absorption refrigeration systems working with solar energy in two cities.

**Conclusion:** In the SF analysis, the collector areas, which were found suitable for Antalya for  $\text{LiBr-H}_2\text{O}$  and  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$  fluid couples, with SF ratios of 78.4% and 75.2%, respectively, were calculated as 65 and 105 m<sup>2</sup>. For Kocaeli, the economically operating collector areas were calculated as 85 and 135 m<sup>2</sup> for  $\text{LiBr-H}_2\text{O}$  and  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$  couples, with SF ratios of 76.2% and 71.6%, respectively. It has been observed that the system operating with  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$  fluid couple is inefficient at operating temperatures determined according to  $\text{LiBr-H}_2\text{O}$  fluid couple. It can be concluded that more efficient and economical cooling can be achieved with the effective use of solar energy technologies in absorption cooling systems.



## Güneş enerjisi kaynaklı absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin SF (güneş enerjisi kullanım oranı) analizi

Ali Haydar Gündüz<sup>1</sup> , Canan Cimşit<sup>2\*</sup> 

<sup>1</sup>Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 41380, Umuttepe-Kocaeli, Türkiye

<sup>2</sup>Kocaeli Üniversitesi, Gölcük MYO, 41650, Gölcük-Kocaeli, Türkiye

### ÖNEÇIKANLAR

- Absorpsiyonlu soğutma sisteminde güneş enerjisi kullanımı
- Vakum tüplü güneş kolektörü hesapları
- SF (güneş enerjisi kullanım oranı) analizi

#### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 27.01.2023

Kabul: 17.11.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1243603

#### Anahtar Kelimeler:

Absorpsiyonlu soğutma sistemi  
güneş enerjisi  
vakum tüplü güneş kolektörleri  
SF analizi

#### ÖZ

Günümüzde soğutma alanında düşük ve orta sıcaklıktaki ucuz ve temiz enerji kaynakları kullanan doğaya zararı olmayan absorpsiyonlu soğutma çevrimlerini geliştirmek üzere çalışmalar hız kazanmıştır. Bu çalışmada tek etkili absorpsiyonlu soğutma sisteminde  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$  ve  $\text{LiBr-H}_2\text{O}$  akışkan çiftlerinin kullanıldığı ve bu soğutma sistemi için gerekli olan enerjinin güneş enerjisinden sağlandığı kabulü ile analizler yapılmıştır. Güneş enerjisi potansiyeli farklı olan iki bölgemizden seçilen Antalya ve Kocaeli illeri için aylık güneş ışınım değerleri hesaplanarak absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin güneş enerjisi destekli vakum tüplü kolektörlerle çalıştırıldıklarında sistemi çalıştırmak için gerekli olan kolektör alanları ve kolektör verimleri aylara göre hesaplanmıştır. Çalışmanın sonunda ise analiz edilen sistemlerin güneş enerjisinden en ekonomik şekilde faydalanılması için güneşten faydalanma oranları (SF) bu iki farklı akışkan çiftlerinde detaylıca hesaplanmış ve birbirleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Güneş enerjisinden ekonomik olarak yararlanmak için yapılan SF analizinde ise Antalya için  $\text{LiBr-H}_2\text{O}$  ve  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$  akışkan çiftleri için sırasıyla % 78,4 ve %75,2 SF oranlarıyla uygun bulunan kolektör alanları 65 ve 105 m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Kocaeli için ise  $\text{LiBr-H}_2\text{O}$  ve  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$  çiftleri için sırasıyla %76,2 ve %71,6 SF oranlarıyla ekonomik olarak çalışan kolektör alanları 85 ve 135 m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Türkiye coğrafi konumu nedeniyle güneş enerjisi açısından zengin bir potansiyele sahip olup, soğutmada artan enerji ihtiyacının bu potansiyelle karşılanması ekonomimize önemli katkı sağlayacaktır.

## SF (solar fraction) analysis of solar energy sourced absorption refrigeration systems

### HIGHLIGHTS

- Use of solar energy in the absorption refrigeration system
- Vacuum tube solar collector calculations
- Analysis of solar utilization rates (SF)

#### Article Info

Research Article

Received: 27.01.2023

Accepted: 17.11.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1243603

#### Keywords:

Absorption refrigeration system  
energy  
solar energy  
vacuum tube solar collectors  
SF analysis

#### ABSTRACT

Today, studies to develop absorption refrigeration cycles that use low and medium temperature cheap and clean energy sources in the field of refrigeration have gained momentum. In this study, analyzes have been made with the assumption that  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$  and  $\text{LiBr-H}_2\text{O}$  working fluids are used in the single-effect absorption refrigeration system and the energy required for this refrigeration system is provided by solar energy. For the provinces of Antalya and Kocaeli, which are selected from our two regions with different solar energy potential, the collector areas and collector efficiencies required to operate the system when the absorption refrigeration systems are operated with the vacuum tube collectors supported by solar energy have been calculated separately according to the months. At the end of the study, the solar utilization rates (SF) have been calculated in detail these two different working fluids and compared with each other in order for the analyzed systems to benefit from solar energy in the most economical way. In the SF analysis conducted to utilize solar energy economically, the collector areas found suitable for  $\text{LiBr-H}_2\text{O}$  and  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$  fluid pairs for Antalya have been calculated as 65 and 105 m<sup>2</sup> with SF ratios of 78.4% and 75.2%, respectively. For Kocaeli, the economically feasible collector areas have been calculated as 85 and 135 m<sup>2</sup> for  $\text{LiBr-H}_2\text{O}$  and  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$  pairs with SF ratios of 76.2% and 71.6%, respectively. Turkey has a rich potential in terms of solar energy due to its geographical location, and meeting the increasing energy need for refrigeration with this potential will make a significant contribution to our economy.

\*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : alihaydargunduz41@gmail.com, \*ccimsit@kocaeli.edu.tr / Tel: +90 262 422 3855

## 1. Giriş (Introduction)

Absorbsiyonlu sistemler 1950'lerde elektriğin ucuz olması, değişik boyut ve kapasitedeki kompresörlerin ve kurulum maliyetlerinin pahalı olmasından kaynaklı buhar sıkıştırma mekanik sistemler kadar ilgi görmemiştir. Ancak 1970'li yıllarda olan enerji krizi, klasik sistemlerde kullanılan soğutucu akışkanların ozon tabakasına ve küresel ısınmaya olan etkileri anlaşılmıştır. Ayrıca fosil yakıtların azalmasından kaynaklı yenilenebilir enerji kaynakları (güneş enerjisi, jeotermal enerji, biyo enerji, atık ısı) gibi düşük ve orta sıcaklıktaki kaynaklar ile çalışan absorpsiyonlu soğutma sistemlerine son yıllarda ilgi artmıştır [1].

Absorbsiyonlu soğutma sistemleri ile ilgili olarak literatürde teorik ve deneysel olarak birçok çalışma yapılmıştır. Çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarıyla desteklenen absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$  ve  $\text{LiBr-H}_2\text{O}$  soğutucu akışkan absorptent çiftlerinin birinci ve ikinci kanun analizlerinin yapılarak sistem birimlerinin çeşitli sistem parametrelerinin değişimiyle sistem performanslarının değişimlerinin incelendiği görülmüştür [2-5].

Absorbsiyonlu soğutma sistemlerinin performansını artırmak amacıyla genelde bilinen yaklaşım ya alternatif çevrimler geliştirmek ya da performansı yüksek alternatif soğutucu akışkanlar geliştirmektir. Tek etkili absorpsiyonlu soğutma sistemlere alternatif olarak düşünülen çift etkili absorpsiyonlu soğutma sisteminin enerji ve ekserji analizleri sonuçlarından çift etkili absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin COP değerlerinin daha yüksek olduğunu sonucu elde edilmiştir [6-9]. Absorbsiyonlu soğutma sistemlerinin performansını ve çalışma koşullarını olumlu etkileyecek alternatif çevrimler de söz konusudur. İspanya'nın Seville şehrindeki bir mühendislik okulunda güneş enerjisi/doğal gaz destekli  $\text{LiBr-H}_2\text{O}$  çifti ile çalışan çift etkili absorpsiyonlu soğutma sistemini 2008-2009 yılları arasında test edilmiştir. İncelenen sistemin soğutma kapasitesi 174 kW, generatör için gerekli olan enerji 352 m<sup>2</sup>'lik Fresnell tip kolektörden ve doğal gazın yakılması sayesinde tedarik edilmiştir. Yapılan sistem incelemelerinin ardından günlük Fresnell kolektör veriminin 0,35 maksimum veriminin ise 0,4 olduğu gözlemlenmiştir ayrıca günlük 1,1-1,25 soğutma tesir katsayısına sahip absorpsiyonlu sistemi için gerekli olan enerjinin %75'nin güneş kolektöründen sağlandığını ve güneş soğutma oranını 0,44 olduğu sonucuna varılmıştır [10]. Diğer bir çalışmada klasik buhar sıkıştırma, buhar sıkıştırma kaskad tek etkili absorpsiyonlu soğutma ve buhar sıkıştırma kaskad çift etkili absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Absorpsiyonlu soğutma kısmında  $\text{LiBr-H}_2\text{O}$  klasik buhar sıkıştırma kısmında ise  $\text{CO}_2$  ve  $\text{R134a}$  akışkanları kullanılmıştır. Karşılaştırmalar doğrultusunda klasik buhar sıkıştırma sistemin elektrik enerji tüketimi kombine sistemle beraber %45 azaldığı ve kaskad çift etkili sistemin COP'sinin kaskad tek etkili sisteme göre %50 yüksek olduğunu gözlemlenmiştir [11].  $\text{LiBr-H}_2\text{O}$  akışkan çifti ile çalışan üç farklı şekilde bağlanmış çift etkili absorpsiyonlu soğutma sisteminin ekserji ekonomik analizini yapılmıştır. Çalışma sonucunda incelenen her üç sistemde de yüksek basınç kaynatıcısı (generatör) ve evaporatör sıcaklıkları yüksek, kondenser sıcaklığı ve eriyik ısı değiştirgeci etkinliğinin düşük olduğu durumlarda sistemler için toplam yatırım maliyetinin düşük olduğu sonucuna ulaşılmıştır [12]. Yapılan çalışmalarda absorpsiyonlu soğutma sistemleri için gerekli olan ısı enerjisi kaynağı olarak güneş enerjisi önerilmiş olup, böylece bu sistemler için güneş enerjisinin kullanımının yaygınlaştırılması gerektiği sonuçlarına ulaşılmıştır [13-15]. Absorpsiyonlu soğutma sistemleri için gerekli olan ısı enerjisi kaynağı olarak jeotermal enerjisi de düşünülmüş olup, binalar için jeotermal enerji destekli absorpsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik ve ekonomik analizini yapılmıştır. İzmir şehri için 100°C sıcaklıkta 100 kg/s kütleli debiye sahip jeotermal enerji kaynaktan faydalanan  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$

çifti ile çalışan absorpsiyonlu soğutma sisteminin COP'si 0,441 olduğu gözlemlenmiştir [16]. Jeotermal enerji ile çalışan absorpsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik analizi üzerine deneysel bir çalışmada Sivas şehrindeki kaplıcaların  $\text{LiBr-H}_2\text{O}$  çifti ile çalışan absorpsiyonlu soğutma sistemi üzerindeki performansı incelenmiş olup, 4-10°C'de depolama ihtiyacı dikkate alındığında soğutma için kullanılabilir ve ekonomik kazanç sağladığı sonucuna varılmıştır [17]. Donanma yüzey gemisi uygulamaları için bir model olarak laboratuvar ölçekli dizel motorlu egzoz ısıyla çalışan absorpsiyonlu soğutma sisteminin deneysel analizi yapılmıştır. Çeşitli dizel motor yüklerinde, absorpsiyonlu soğutma sisteminin soğutma kapasitesi ve performans katsayısı (COP) hesaplanmıştır. Deneysel sonuçlar maksimum 4,9 HP motor gücünde soğutma kapasitesini 1,098 kW olarak göstermiştir [18]. Diğer bir çalışmada ise bir su üstü gemi uygulaması için bir havalandırma ve iklimlendirme sistemi olarak bir su-lityum bromür ( $\text{LiBr-H}_2\text{O}$ ) absorpsiyonlu ısı pompasının tasarımı ve termodinamik analizi yapılarak bir buhar sıkıştırma ısı pompasınınla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, deniz suyu soğutmalı  $\text{LiBr-H}_2\text{O}$  absorpsiyonlu ısı pompası sisteminin, yalnızca deniz üstü gemisinin gerçek ısıtma ve soğutma yüklerini karşılamakla kalmayıp daha fazlasını da sağladığını göstermiştir [19].

Günümüzde en iyi bilinen enerji kaynağı fosil yakıtlar olup, küresel ısınma ve iklim değişikliğine sebep olmakta ve çevreye zararlı sera gazları yaymaktadır. Bu nedenle son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan teknolojilerinin son dönemde hızla gelişmesi, sanayinin artan enerji ve güç ihtiyacının karşılanmasında yeni çözümler üretilmesinin önünü açmıştır [20-21]. Bu yenilenebilir enerji kaynaklarından biri de güneş enerjisidir. Güneş ışınımının teknoloji vasıtasıyla faydalı enerjiye dönüştürülmesinde ısı veya fotovoltaiik esaslardan yararlanılır [22]. Isıl esasa dayanan sistemler güneş enerjisinin ısı enerjisi elde ederler. Fotovoltaiik esasa dayanan sistemler ise güneş pilleri aracılığıyla elektrik enerjisi elde ederler. Bu sıcaklık uygulamalarına göre yaygın olarak konut veya büyük tip ısıtma-soğutma, sıcak su temini, elektrik üretimi, endüstriyel kullanım için buhar üretimi, güç santralleri ve güneş fırınları gibi birçok büyük ve küçük tipte uygulama yapılmaktadır. Güneş enerjisi uygulamalarında son yıllarda üzerine yoğunlaşan konuların başında soğutma gelir. Çünkü güneş enerjisinin bol olduğu zaman ve bölgelerde soğutma gereksinimi fazladır [23].

Bu çalışmada günümüzde cazip hale gelen alternatif soğutma sistemi olan absorpsiyonlu soğutma sisteminin aynı çalışma koşullarındaki  $\text{LiBr-H}_2\text{O}$  ve  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$  akışkan çiftlerinin kullanıldığı kabulü ile absorpsiyonlu soğutma sistemi için gerekli olan enerjinin güneş enerjisinden sağlanması gerektiği düşünülmüş olup, Antalya ve Kocaeli illeri için aylık güneş ışınım değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler doğrultusunda absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin güneş enerjisi destekli vakum tüplü kolektörlerle çalıştırıldıklarında sistemi çalıştırmak için gerekli olan kolektör alanları ve kolektör verimleri aylara göre ayrı ayrı hesaplanmıştır. Çalışmanın sonunda ise sistemlerin güneş enerjisinden en ekonomik şekilde faydalanması için güneşten faydalanma oranları hesaplanmış ve birbirleri ile karşılaştırılması yapılmıştır.

## 2. Teorik Metot (Theoretical Method)

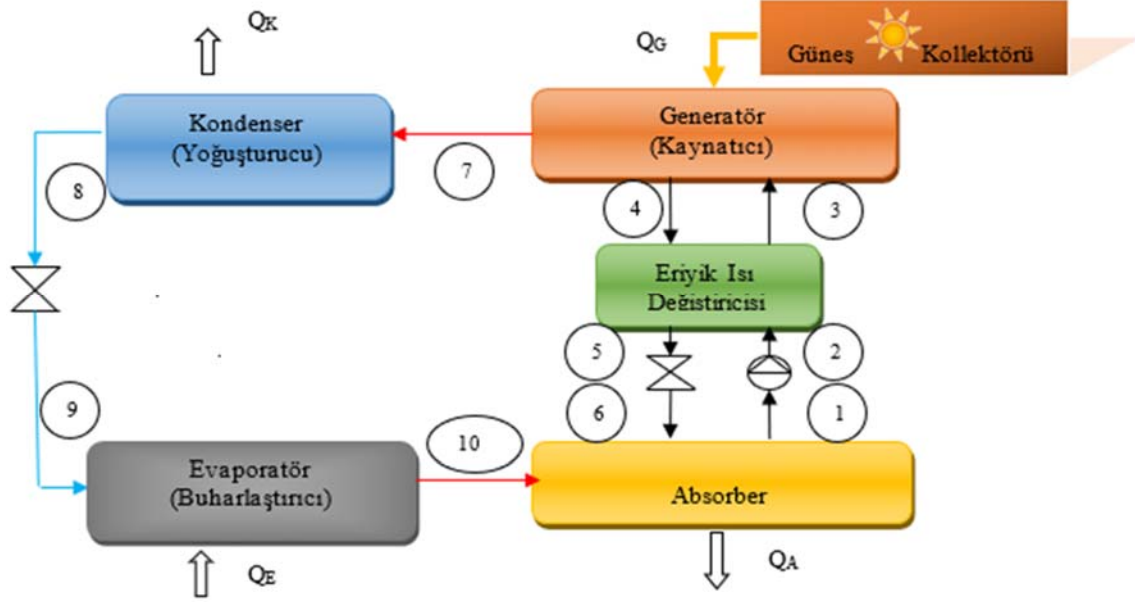
Analiz edilen absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin dizayn koşulları ve özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

### 2.1. Absorpsiyonlu Soğutma Çevrimi (Absorption Refrigeration System)

Şekil 1'de  $\text{LiBr-H}_2\text{O}$  akışkan çifti kullanıldığı kabul edilerek oluşturulan güneş enerjisi kaynaklı absorpsiyonlu soğutma sistemi gösterilmiştir. Çevrimde absorberden çıkan  $\text{LiBr}$  bakımından fakir

**Tablo 1.** Absorbsiyonlu soğutma sisteminin dizayn koşulları (Design conditions of the absorption refrigeration system)

Dizayn koşulları	
Akışkan çifti	LiBr-H <sub>2</sub> O ve NH <sub>3</sub> -H <sub>2</sub> O
Isıl enerji kaynağı	Güneş enerjisi
Farklı güneş enerjisi potansiyeline sahip iki bölge	Antalya ve Kocaeli
Kollektör seçimi	Vakum tüplü güneş kollektörleri
SF (güneş enerjisi kullanım oranı) analizi	SF oranlarıyla uygun kollektör alanı bulunması

**Şekil 1.** Güneş enerjisi kaynaklı absorpsiyonlu soğutma sistemi (Solar Energy Sourced Absorption Refrigeration System)

olan eriyik bir pompa aracılığı ile ısı değiştiricisinden geçerek kaynatıcıya gelir. Sıcak ve yüksek basınçtaki soğutucu akışkan kaynatıcıdan yoğuşturucuya girer. Kaynatıcıda eriyikten soğutucu buharının ayrılmasıyla LiBr bakımından zenginleşen eriyik ısı değiştiricisinden geçerken fakir eriyiğe ısı vererek absorbere geri döner. Yoğuşturucudan doymuş sıvı olarak çıkan soğutucu akışkan kısılma vanası aracılığıyla buharlaştırıcı basıncına kadar genişletilir. Burada soğutucu akışkan soğutulan ortamdan aldığı ısıyla buharlaşarak absorbere girer. Absorberde, ısı değiştiricisinden geçerken ısı verip, daha sonra bir kısılma vanasında absorber basıncına kısılan zengin eriyik, buharlaştırıcıdan gelen soğutucu akışkan buharını absorbe ederek LiBr bakımından fakir hale gelen eriyik bir pompa aracılığı ile tekrar kaynatıcıya gönderilir. Soğutma sistemi için gerekli olan ısıl enerjinin güneş enerjisinden sağlandığı kabul edilmiştir. Türkiye coğrafi konum olarak kuzey yarım kürede 36-42° kuzey enlemleri ile 26-45° doğu boylamları arasındaki mükemmel konumu itibarıyla güneş kuşağı içerisinde yer almaktadır. Bu avantajlı konum sayesinde güneş enerjisi teknolojilerinin uygulanmasıyla soğutma alanında gerekli olan enerjinin karşılanabilmesi mümkün olabilmektedir.

## 2.2 Absorpsiyonlu Soğutma Sistemlerinin Termodinamik Analizi (Thermodynamic Analysis of Absorption Refrigeration Systems)

Absorpsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik analizi için aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

1. Sistemin termodinamik analizi sürekli rejim şartlarında yapılmıştır.
2. Generatörden (kaynatıcıdan) ayrılan soğutucu akışkan buharının sıcaklığı ve basıncı generatör (kaynatıcı) sıcaklığı ve basıncındadır.

3. Yoğuşturucudan ayrılan soğutucu akışkan, doymuş sıvı olarak çıkmaktadır.
4. Buharlaştırıcıdan ayrılan soğutucu akışkan doymuş buhar olarak çıkmaktadır.
5. Absorberden ayrılan eriyik, absorber basınç ve sıcaklığında denge halindedir.
6. Generatörden (kaynatıcıdan) ayrılan eriyik, generatör (kaynatıcı) basınç ve sıcaklığında denge halindedir.
7. Sistemdeki basınç kayıpları ihmal edilmiştir.

Absorpsiyonlu soğutma sistemini oluşturan her bir sistem elemanının analizi için Süreklilik denklemi (Eş. 1, Eş. 3, Eş. 5, Eş. 7, Eş. 9, Eş. 11, Eş. 12,) ve Termodinamiğin 1. Kanunu (Eş. 2, Eş. 4, Eş. 6, Eş. 8, Eş. 10, Eş. 13) aşağıda verilmiştir [24]:

Süreklilik denklemi:

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_c \quad (1)$$

Termodinamiğin 1. Kanunu:

$$\sum \dot{Q} - \sum \dot{W} = \sum (\dot{m}h)_c - \sum (\dot{m}h)_g \quad (2)$$

Absorberdeki kütle ve enerji denge eşitlikleri

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_6 + \dot{m}_{10} \quad (3)$$

$$Q_A = \dot{m}_6 h_6 + \dot{m}_{10} h_{10} - \dot{m}_1 h_1 \quad (4)$$

Generatördeki (kaynatıcı) kütle ve enerji denge eşitlikleri

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 + \dot{m}_7 \quad (5)$$

$$Q_G = \dot{m}_4 h_4 + \dot{m}_7 h_7 - \dot{m}_3 h_3 \quad (6)$$

Yoğuşturucuda (kondenser) kütle ve enerji eşitlikleri

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_8 \quad (7)$$

$$Q_K = \dot{m}_7 (h_7 - h_8) \quad (8)$$

Buharlaştırıcıda (evaporatör) kütle ve enerji eşitlikleri

$$\dot{m}_9 = \dot{m}_{10} \quad (9)$$

$$Q_E = \dot{m}_{10} (h_{10} - h_9) \quad (10)$$

Eriyik Isı Değiştirgecinde kütle ve enerji eşitlikleri

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 \quad (11)$$

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_5 \quad (12)$$

$$Q_{EID} = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_4 h_4 = \dot{m}_3 h_3 + \dot{m}_5 h_5 \quad (13)$$

Soğutma Tesir Katsayısı (STK-COP) Eş. 14' verilmiştir.

$$COP = \frac{Q_E}{Q_G + W_P} \quad (14)$$

### 3. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

#### 3.1. Güneş Enerjisi Kolektörleri (Solar Energy Collectors)

Bu çalışmada Şekil 2' de görüldüğü gibi vakum borulu güneş kolektörleri kullanılmıştır. Vakumlu güneş toplayıcıları düzlemsel güneş toplayıcılarına benzer olup, çıkış sıcaklıkları 100-120°C'dir [25].



Şekil 2. Vakum Borulu Güneş Kolektörü (Vacuum Tube Solar Collector)

Vakum tipli kolektörlerin verimleri, kolektör alanları verimi aşağıdaki denklemler (Eş. 15, Eş. 16, Eş. 17) kullanılarak hesaplanmıştır [26]: Kolektör verimi:

$$\eta_K = k_0 - k_1 x - k_2 x^2 I_{ED} \quad (15)$$

$$x = \frac{T_{ort} - T_C}{I_{ED}} \quad (16)$$

$T_{ort}$  = Ortalama kolektör sıcaklığıdır. Akışkanın kolektöre giriş ve çıkış sıcaklıklarının aritmetik ortalamasıyla bulunur. Bu çalışma da ortalama kolektör sıcaklığını 87,5°C almıştır.

$T_C$  = Çevre sıcaklığıdır.

$I_{ED}$  = Eğik düzleme düşen aylık ortalama anlık ışıınım değeridir Eş.19-23 vasıtasıyla hesaplanır.

$k_0$  = Optik verimdir ve kolektör yüzeyine düşen ışıının absorberde ısıya dönüştürülen ışıının enerjisine oranından hesaplanır. Kolektör ısındığında, kolektör malzemesinin ısı iletimi ısı ışıınımı ve konveksiyon yoluyla ışıının bir kısmı çevreye dağılır bu ısı kayıp katsayılarının hesaplanmasında  $k_1$  ve  $k_2$  kullanılır, kolektör firmalarından alınmıştır [27].

Gerekli kolektör alanı:

$$A_K = \frac{Q_G}{\eta_K I_{ED}} \quad (17)$$

Kolektörden sağlanan faydalı enerji denklemi (Eş. 18) aşağıda verilmiştir:

$$\dot{Q}_F = \eta_K A_K I_{ED} \quad (18)$$

#### 3.2. Güneş Enerjisi Hesaplamaları (Solar Energy Calculations)

Absorbsiyonlu soğutma sistemi için Antalya ve Kocaeli için yapılan güneş enerjisi hesaplamalarında soğutma kapasitesi  $Q_E = 15$  kW  $T_E = 10^\circ\text{C}$ ,  $T_G = 80^\circ\text{C}$ ,  $T_A = T_K = 40^\circ\text{C}$   $\epsilon_{EID} = 0,6$   $\eta_P = 0,8$  olarak alındığı kabulü yapılmıştır. Güneş enerjisi hesaplamalarında kullanılan denklemler aşağıda verilmiştir [26, 28]:

Enlem Açısı ( $\varphi$ ): Ekvator düzlemi ile göz önüne bulundurulmuş nokta arasındaki açıdır

$$(-90 \leq \varphi \leq 90^\circ) \quad (19)$$

Deklınasyon Açısı ( $\delta$ ): Deklınasyon açısı Cooper eşitliği ile şu şekilde hesaplanır.

$$\delta = 23,45 \sin \left( 360 \times \frac{284 + n}{365} \right) \quad (20)$$

Güneş Batış Açısı ( $\omega_s$ ): Güneşin batışında  $\theta_z = 90^\circ$   $\cos \theta_z = 0$  olur güneş batış açısı şu şekilde bulunur.

$$\cos(\omega_s) = -\tan \varphi \tan \delta \quad (21)$$

Gün Uzunluğu (N):

$$N = \frac{2}{15} \omega_s \quad (22)$$

Eğik Yüzeye Gelen Aylık Ortalama Anlık ışıınım:

$$I_E = \frac{H_T}{N \times 3600} \quad (23)$$

Tablo 2'de Kocaeli ili ile Antalya ili arasındaki anlık ortalama güneş ışıınım değerleri görülmektedir. Buna göre her iki şehir için de en fazla ve en düşük anlık ortalama güneş ışıınım değerleri Ağustos ve Mayıs ayı için hesaplanmıştır.

Bu çalışmada generatör için gerekli ısı yükü karşılayabilmek için vakum tüplü kolektörler seçilmiştir. Sistemde çalışacak olan kolektör tipi seçilerek Tablo 3' te özellikleri verilmiştir [27, 29]. İki şehir için aylara göre ortalama sıcaklıklar 1929-2019 yılları arasındaki ölçümler dikkate alınarak Tablo 4'te verilmiştir [30].

Şehirler için sıcaklık, ışıınım ve kolektör verilerinden yararlanılarak iki şehir için, absorbsiyonlu soğutma sisteminde kullanılan iki akışkan çifti için generatör ısı kapasitesini %100 karşılayacak gerekli

kollektör alanları ve kollektör verimleri hesaplanmıştır. Tablo 5'te Antalya için LiBr-H<sub>2</sub>O ile çalışan absorpsiyonlu soğutma sistemi için en düşük kollektör alanının 75,66 m<sup>2</sup> iken Kocaeli için en düşük kollektör alanının 100,69 m<sup>2</sup>, en yüksek kollektör alanının ise 126,33 m<sup>2</sup> olduğu görülmektedir. Antalya ilindeki LiBr-H<sub>2</sub>O ile çalışan sistemin en düşük kollektör alanı ile karşılaştırıldığında 25 m<sup>2</sup> fark olduğu sonucu elde edilmiştir.

Tablo 6'da NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O ile çalışan absorpsiyonlu soğutma sistemi için gerekli olan kollektör alanları Antalya için en yüksek 158,59 m<sup>2</sup> iken en düşük 127,38 m<sup>2</sup> olduğu görülmektedir. Kocaeli için NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O çifti için gerekli en düşük kollektör alanının 169,51 m<sup>2</sup> olup, Antalya ili ile karşılaştırıldığında 41 m<sup>2</sup> daha fazla kollektör kullanılması gerektiği Tablo 6'da görülmektedir.

Güneş enerjisi soğutma sistemlerinde soğutma sisteminin çalışabilmesi için gerekli olan enerjinin tamamını bazı durumlarda güneş enerji sistemi karşılamayabilir. Bu nedenle güneş enerjisi soğutma sistemleri tasarlanırken ek bir ısıtıcı koyacak şekilde

tasarlanırlar. Bu sistemlerde eğer tüm enerji güneşten sağlanıyor ise güneşten kullanım oranı (SF=solar fraksiyon) %100'dür. Ancak güneş enerjisi soğutma sistemlerinde SF'nin %70-80 olduğu durumlarda ekonomik olduğu belirtilmektedir [31].

$$SF = 1 - \frac{Q_{ek}}{Q_G} \quad (24)$$

$$Q_{ek} = Q_G - Q_F \quad (25)$$

Bu bilgiler doğrultusunda sistemin SF analizi, seçilen kollektöre göre yapılmış olup, sonuçlar tablolar halinde verilmiştir. Tablo 7' de LiBr-H<sub>2</sub>O sistemi için Antalya iline göre 55, 65 ve 75 m<sup>2</sup> kollektör alanlarıyla SF analiz sonuçları görülmektedir. Analiz sonucunda sistemin, 65 m<sup>2</sup>'de SF'si %78,4 olarak hesaplanmıştır. Sistemin ekonomik çalışabilmesi için 65 m<sup>2</sup>'de çalışması uygun görülmüştür.

Tablo 8'de LiBr-H<sub>2</sub>O sistemi için Kocaeli iline göre 85, 95 ve 105 m<sup>2</sup> kollektör alanlarıyla SF analiz değerleri görülmektedir. Analiz

**Tablo 2.** Şehirler için eğik düzlem üzerine düşen anlık ortalama güneş ışınımları (Instantaneous average solar radiation falling on an inclined plane for cities)

Ay	Anlık Ortalama Güneş Işınımı (W/m <sup>2</sup> )	
	Antalya	Kocaeli
Mayıs	437,04	372,9
Haziran	452,22	385,56
Temmuz	466,33	401,255
Ağustos	485,59	409,41
Eylül	471,67	382,53

**Tablo 3.** Kollektörlerin özellikleri (Characteristics of collectors)

Kollektör Tipi	k <sub>0</sub> (%)	k <sub>1</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	k <sub>2</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	
Kollektör	Vakum Tüplü	80,9	1,37	0,0068

**Tablo 4.** Şehirlerin aylık ortalama sıcaklıkları (Monthly average temperatures of cities)

Şehir	Ortalama Sıcaklıklar (°C)				
	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
Antalya	20,5	25,3	28,4	28,3	25,1
Kocaeli	17,5	21,6	23,7	23,8	20,4

**Tablo 5.** LiBr-H<sub>2</sub>O sistemi kullanımında Antalya ve Kocaeli için gerekli kollektör alanları ve kollektör verimleri (Required collector areas and collector efficiencies for Antalya and Kocaeli in the use of LiBr-H<sub>2</sub>O system)

Ay	Kollektör (Antalya için)		Kollektör (Kocaeli için)	
	Verim	Kollektör Alanı (m <sup>2</sup> )	Verim	Kollektör Alanı (m <sup>2</sup> )
Mayıs	0,5291	94,20	0,462	126,33
Haziran	0,5624	85,65	0,498	113,41
Temmuz	0,5844	79,93	0,522	103,97
Ağustos	0,5929	75,66	0,528	100,69
Eylül	0,5716	80,80	0,488	116,35

**Tablo 6.** NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O sistemi kullanımında Antalya ve Kocaeli için gerekli kollektör alanları ve kollektör verimleri (Required collector areas and collector efficiencies for Antalya and Kocaeli in the use of NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O system)

Ay	Kollektör (Antalya için)		Kollektör (Kocaeli için)	
	Verim	Kollektör Alanı (m <sup>2</sup> )	Verim	Kollektör Alanı (m <sup>2</sup> )
Mayıs	0,5291	158,59	0,462	212,68
Haziran	0,5624	144,2	0,498	190,93
Temmuz	0,5844	134,57	0,522	175
Ağustos	0,5929	127,38	0,528	169,51
Eylül	0,5716	136	0,488	196,23

**Tablo 7.** LiBr-H<sub>2</sub>O sistemi için Antalya'ya göre SF analizi (SF analysis according to Antalya for LiBr-H<sub>2</sub>O system)

LiBr-H <sub>2</sub> O- Antalya				
75 m <sup>2</sup>				
Ay	Q <sub>F</sub> (kW)	Q <sub>gen</sub> (kW)	Q <sub>ek</sub> (kW)	SF
Mayıs	17,34	21,79	4,447	0,795
Haziran	19,07	21,79	2,715	0,875
Temmuz	20,44	21,79	1,351	0,938
Ağustos	21,59	21,79	0,197	0,991
Eylül	20,22	21,79	1,57	0,928
Ortalama				90,60%
65 m <sup>2</sup>				
Ay	Q <sub>F</sub> (kW)	Q <sub>gen</sub> (kW)	Q <sub>ek</sub> (kW)	SF
Mayıs	15,03	21,79	6,76	0,689
Haziran	16,53	21,79	5,25	0,758
Temmuz	17,71	21,79	4,076	0,812
Ağustos	18,71	21,79	3,07	0,858
Eylül	17,52	21,79	4,266	0,804
Ortalama				78,40%
55 m <sup>2</sup>				
Ay	Q <sub>F</sub> (kW)	Q <sub>gen</sub> (kW)	Q <sub>ek</sub> (kW)	SF
Mayıs	12,72	21,79	9,072	0,583
Haziran	13,99	21,79	7,802	0,641
Temmuz	14,99	21,79	6,801	0,687
Ağustos	15,83	21,79	5,955	0,7267
Eylül	14,83	21,79	6,962	0,68
Ortalama				66,40%

**Tablo 8.** LiBr-H<sub>2</sub>O sistemi için Kocaeli'ye göre SF analizi (SF analysis according to Kocaeli for LiBr-H<sub>2</sub>O system)

LiBr-H <sub>2</sub> O-Kocaeli				
105 m <sup>2</sup>				
Ay	Q <sub>F</sub> (kW)	Q <sub>gen</sub> (kW)	Q <sub>ek</sub> (kW)	SF
Mayıs	18,09	21,79	3,701	0,83
Haziran	20,16	21,79	1,62	0,92
Temmuz	21,99	21,79	0	1
Ağustos	22,7	21,79	0	1
Eylül	19,6	21,79	2,19	0,899
Ortalama				93%
95 m <sup>2</sup>				
Ay	Q <sub>F</sub> (kW)	Q <sub>gen</sub> (kW)	Q <sub>ek</sub> (kW)	SF
Mayıs	16,37	21,79	5,423	0,75
Haziran	18,24	21,79	3,55	0,837
Temmuz	19,9	21,79	1,9	0,91
Ağustos	20,54	21,79	1,25	0,94
Eylül	17,73	21,79	4,06	0,81
Ortalama				85%
85 m <sup>2</sup>				
Ay	Q <sub>F</sub> (kW)	Q <sub>gen</sub> (kW)	Q <sub>ek</sub> (kW)	SF
Mayıs	14,64	21,79	7,15	0,672
Haziran	16,32	21,79	5,47	0,75
Temmuz	17,8	21,79	3,99	0,817
Ağustos	18,37	21,79	3,42	0,84
Eylül	15,87	21,79	5,92	0,728
Ortalama				76,20%

sonucunda 85 m<sup>2</sup> için SF'nin %76,20 olduğu görülmüştür. Sistemin ekonomik olarak çalışması için 85 m<sup>2</sup> kolektör alanı uygun bulunmuştur. Antalya ilinde aynı akışkan çifti ile çalışan sistemle karşılaştırıldığında ise 20 m<sup>2</sup> daha fazla kolektör alanına gereksinim duyduğu sonucu elde edilmiştir.

NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O çifti ile çalışan absorpsiyonlu soğutma sistemi için Antalya iline göre 95, 105, 115 ve 125 m<sup>2</sup> kolektör alanlarına göre SF analiz sonuç değerleri Tablo 9'da verilmektedir. Buna göre sistemim SF'si 105 m<sup>2</sup> için %75,20 olarak bulunmuştur. Sistemin ekonomik

çalışabilmesi için 105 m<sup>2</sup> kolektör alanıyla çalışmasının uygun olacağı söylenebilir.

Tablo 10'da NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O çifti ile çalışan absorpsiyonlu soğutma sistemi için Kocaeli iline göre 135, 145, 155 ve 165 m<sup>2</sup> kolektör alanlarına göre SF analizi sonuçları verilmiştir. Yapılan analiz sonucunda 135 m<sup>2</sup> ve 145 m<sup>2</sup> kolektör alanlarında ekonomik olarak çalışılabileceği gözlemlenmiştir. Kendisiyle aynı çalışma koşullarında Antalya ilinde çalışan sistem ile karşılaştırıldığında ise %28,5 daha fazla kolektör alanına gereksinim duyduğu görülmektedir.

**Tablo 9.** NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O sistemi için Antalya'ya göre SF analizi (SF analysis according to Antalya for NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O system)

NH <sub>3</sub> -H <sub>2</sub> O-Antalya				
125 m <sup>2</sup>				
Ay	Q <sub>F</sub> (kW)	Q <sub>gen</sub> (kW)	Q <sub>ek</sub> (kW)	SF
Mayıs	28,9	36,69	7,79	0,79
Haziran	31,79	36,69	4,9	0,86
Temmuz	34,07	36,69	2,62	0,93
Ağustos	35,99	36,69	0,7	0,98
Eylül	33,7	36,69	2,99	0,92
Ortalama				89,60%
115 m <sup>2</sup>				
Ay	Q <sub>F</sub> (kW)	Q <sub>gen</sub> (kW)	Q <sub>ek</sub> (kW)	SF
Mayıs	26,59	36,69	10,1	0,724
Haziran	29,25	36,69	7,44	0,8
Temmuz	31,34	36,69	5,35	0,85
Ağustos	33,11	36,69	3,58	0,9
Eylül	31	36,69	5,69	0,85
Ortalama				82,40%
105 m <sup>2</sup>				
Ay	Q <sub>F</sub> (kW)	Q <sub>gen</sub> (kW)	Q <sub>ek</sub> (kW)	SF
Mayıs	24,28	36,69	12,41	0,66
Haziran	26,7	36,69	9,99	0,73
Temmuz	28,61	36,69	8,07	0,78
Ağustos	30,23	36,69	6,46	0,82
Eylül	28,31	36,69	8,38	0,77
Ortalama				75,20%
95 m <sup>2</sup>				
Ay	Q <sub>F</sub> (kW)	Q <sub>gen</sub> (kW)	Q <sub>ek</sub> (kW)	SF
Mayıs	21,97	36,69	14,72	0,6
Haziran	24,16	36,69	12,53	0,66
Temmuz	25,89	36,69	10,8	0,705
Ağustos	27,35	36,69	9,34	0,745
Eylül	25,61	36,69	11,08	0,698
Ortalama				68,20%

**Tablo 10.** NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O sistemi için Kocaeli'ye göre SF analizi (SF analysis according to Kocaeli for NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O system)

NH <sub>3</sub> -H <sub>2</sub> O -Kocaeli				
165 m <sup>2</sup>				
Ay	Q <sub>F</sub> (kW)	Q <sub>gen</sub> (kW)	Q <sub>ek</sub> (kW)	SF
Mayıs	28,43	36,69	8,26	0,77
Haziran	31,69	36,69	5	0,863
Temmuz	34,56	36,69	2,13	0,94
Ağustos	35,67	36,69	1,02	0,97
Eylül	30,8	36,69	5,89	0,84
Ortalama				87,60%
155 m <sup>2</sup>				
Ay	Q <sub>F</sub> (kW)	Q <sub>gen</sub> (kW)	Q <sub>ek</sub> (kW)	SF
Mayıs	26,7	36,69	9,99	0,73
Haziran	29,76	36,69	6,93	0,81
Temmuz	32,47	36,69	4,22	0,88
Ağustos	33,51	36,69	3,18	0,91
Eylül	28,93	36,69	7,76	0,79
Ortalama				82,40%
145 m <sup>2</sup>				
Ay	Q <sub>F</sub> (kW)	Q <sub>gen</sub> (kW)	Q <sub>ek</sub> (kW)	SF
Mayıs	24,98	36,69	11,71	0,68
Haziran	27,84	36,69	8,85	0,76
Temmuz	30,38	36,69	6,31	0,827
Ağustos	31,34	36,69	5,35	0,85
Eylül	27,07	36,69	9,62	0,737
Ortalama				77,10%
135 m <sup>2</sup>				
Ay	Q <sub>F</sub> (kW)	Q <sub>gen</sub> (kW)	Q <sub>ek</sub> (kW)	SF
Mayıs	23,26	36,69	13,43	0,633
Haziran	28,92	36,69	10,77	0,7
Temmuz	28,28	36,69	8,41	0,77
Ağustos	29,19	36,69	7,5	0,79
Eylül	25,2	36,69	11,49	0,69
Ortalama				71,66%



#### 4. Simgeler (Symbols)

A	: Alan, (m <sup>2</sup> )
H	: Entalpi (J)
H	: Yatay düzleme gelen günlük toplam güneş ışınımı, (J/m <sup>2</sup> )
I	: Anlık ışınım, (W/m <sup>2</sup> )
$\dot{m}$	:Kütleli debi, (kg/s)
n	:Güneşlenme süresi
T	:Sıcaklık, (°C)
X	: Konsantrasyon
$\dot{Q}$	:Isıl güç, (kW)
W	:Güç, (kW)

#### 4.1. Kısaltmalar (Abbreviations)

COP	: Soğutma tesir katsayısı
SF	: Güneşten yararlanma oranı

#### 4.2. Alt İndisler (Subscripts)

A	: Absorber
ç	:Çıkan
E	: Evaporatör
F	: Faydalı
G	: Generatör
g	:Giren
K	: Kondenser
T	: Eğik düzleme

#### 5. Sonuçlar (Conclusions)

Absorbsiyonlu soğutma sistemleri üzerine yapılan çalışmalardaki amaç sistemlerde kullanılan soğutucu akışkan çiftlerinin performansı üzerindeki etkilerini arttırmak, en geniş çalışma aralıklarında performansı yüksek doğaya zarar vermeyen soğutucu akışkan çiftlerini geliştirmek ve bu iyi performans elde edebilecek akışkan çiftlerinin verebileceği maksimum sistem performansı üzerine sistem bileşenlerinin çalışma parametrelerini düzelterek güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, atık ısı gibi yenilenebilir enerji kaynaklarıyla entegre bir şekilde en verimli şekilde çalışmalarını sağlamaktır.

Bu çalışmada absorbsiyonlu soğutma sistemleri için en uygun yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi kaynaklı tek etkili absorbsiyonlu soğutma sistemi analiz edilmiştir. Bu sistemde piyasada en fazla kullanılan soğutucu akışkan çiftleri olan NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O ve LiBr-H<sub>2</sub>O akışkan çiftlerini kullanarak ele alınan soğutma sisteminde ülkemizde güneş enerji potansiyeli farklı olan iki bölgemizden seçilen Antalya ve Kocaeli şehirleri için çeşitli aylara göre vakum tüplü güneş kolektörleriyle güneş enerjisi sisteminin analizi yapılmıştır. Yapılan hesaplamalardan Antalya ilinin Kocaeli iline göre daha avantajlı olduğu görülmüştür. İki şehir içinde güneş enerjisi ile çalışan absorbsiyonlu soğutma sistemlerinde Ağustos aylarında gerekli kolektör alanları en düşük olduğu saptanmıştır.

Güneş enerjisinden ekonomik olarak yararlanmak için yapılan SF analizinde ise Antalya için LiBr-H<sub>2</sub>O ve NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O akışkan çiftleri için sırasıyla % 78,4 ve %75,2 SF oranlarıyla uygun bulunan kolektör alanları 65 ve 105 m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Kocaeli için ise LiBr-H<sub>2</sub>O ve NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O çiftleri için sırasıyla %76,2 ve %71,6 SF oranlarıyla ekonomik olarak çalışan kolektör alanları 85 ve 135 m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O akışkan çifi ile çalışan sistemin LiBr-H<sub>2</sub>O akışkan çifine göre belirlenen çalışma sıcaklıklarında verimsiz olduğu görülmüştür.

Yapılan analizler sonucunda sürekli gelişim gösteren güneş enerjisi teknolojilerinden etkin bir şekilde yararlanılırsa ülkemizde güneş

enerjisi destekli absorbsiyonlu soğutma sistemlerinin kullanılabilmesi sonucu elde edilebilmektedir. Türkiye'nin dünyadaki çoğu ülkeye göre bu avantajlı konumu sayesinde güneş enerjisi teknolojilerinin uygulanmasıyla daha etkin ve ekonomik olarak soğutmada artan enerji ihtiyacının karşılanabilmesi mümkün olabilmektedir. Ayrıca soğutma sisteminde kullanılan akışkanlardan dolayı ozon tabakasına zarar vermeden soğutma yapma imkânı da bulunmaktadır.

#### Kaynaklar (References)

1. Akdemir, Ö., Güngör, A., Absorbsiyonlu soğutma sistemleri; verimlerini arttırmak için geliştirilen çevrimler, V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, İzmir, Türkiye, 3-6 Ekim 2001.
2. Aphornratana, S., Sriveerakul, T., Experimental studies of a single-effect absorption refrigerator using aqueous lithium-bromide: effect of operating condition to system performance, *Experimental Thermal And Fluid Science*, 32 (2), 658-669, 2007.
3. Raghuvanshi, S., Maheshwari, G., Analysis of ammonia-water (NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O) vapor absorption refrigeration system based on first law of thermodynamics, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 2 (8), 1-7, 2011.
4. Farshi, L. G., Mahmoudi, S. S., Rosen, M. A., Yari, M., Amidpour, M., Exergoeconomic analysis of double effect absorption refrigeration systems, *Energy Conversion and Management*, 65, 13-25, 2013.
5. Fernandez-Seara, J., Sieres, J., Vazquez, M., Compression-absorption cascade refrigeration system, *Applied Thermal Engineering*, 26 (5-6), 502-512, 2006.
6. Kaushik, S. C., Arora, A., Energy and exergy analysis of single effect and series flow double effect water-lithium bromide absorption refrigeration systems, *International journal of Refrigeration*, 32 (6), 1247-1258, 2009.
7. Gomri, R., Investigation of the potential of application of single effect and multiple effect absorption cooling systems, *Energy Conversion and Management*, 51 (8), 1629-1636, 2010.
8. Bermejo, P., Pino, F. J., Rosa, F., Solar absorption cooling plant in Seville, *Solar Energy*, 84 (8), 1503-1512, 2010.
9. Wang, L., Ma, A., Tan, Y., Cui, X., & Cui, H., Study on solar-assisted cascade refrigeration system, *Energy Procedia*, 16, 1503-1509, 2012.
10. Bermejo, P., Pino, F. J., Rosa, F., Solar absorption cooling plant in Seville, *Solar Energy*, 84 (8), 1503-1512, 2010.
11. Colorado, D., Rivera, W., Performance comparison between a conventional vapor compression and compression-absorption single-stage and double-stage systems used for refrigeration, *Applied Thermal Engineering*, 87, 273-285, 2015.
12. Farshi, L. G., Mahmoudi, S., Rosen, M. A., Yari, M., Amidpour, M., Exergoeconomic analysis of double effect absorption refrigeration systems, *Energy Conversion and Management*, 65, 13-25, 2013.
13. Balghouthi, M., Chahbani, M. H., Guizani, A., Feasibility of solar absorption air conditioning in Tunisia, *Building and Environment*, 43 (9), 1459-1470, 2008.
14. Onan, C., Ozkan, D. B., & Erdem, S., Exergy analysis of a solar assisted absorption cooling system on an hourly basis in villa applications, *Energy*, 35 (12), 5277-5285, 2010.
15. Ozgoren, M., Bilgili, M., Babayigit, O., Hourly performance prediction of ammonia-water solar absorption refrigeration, *Applied Thermal Engineering*, 40, 80-90, 2012.
16. Yılmaz, C., Thermodynamic and economic investigation of geothermal powered absorption cooling system for buildings, *Geothermics*, 70, 239-248, 2017.
17. Keçeciler, A., Acar, H. İ., Doğan, A., Thermodynamic analysis of the absorption refrigeration system with geothermal energy: an experimental study, *Energy Conversion and Management*, 41 (1), 37-48, 2000.
18. Ezgi, C., Bayrak, S., Experimental analysis of a laboratory-scale diesel engine exhaust heat-driven absorption refrigeration system as a model for naval surface ship applications, *J Ship Prod Des*, 6 (02), 152-159, 2020.

19. Ezgi, C., Design and thermodynamic analysis of an H<sub>2</sub>O–LiBr AHP system for naval surface ship application, *International Journal of Refrigeration*, 48, 153-165, 2014.
20. Şen O., Yılmaz C., Thermodynamic analysis of geothermal and solar assisted power generation and heating system, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 37 (3), 1625-1637, 2022.
21. Alıç E., Daş M., Kavak Akpınar E., Numerical investigation of thermal efficiency of solar air heater at different flow rates, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38 (1), 617-628, 2023.
22. Kılıç A., Öztürk A., Güneş Enerjisi, Kipaş Dağıtımçılık, Çağaloğlu-İstanbul, 331, 1983.
23. Öztürk, H. H., Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, Birsan Yayınevi, 1. Basım, 2010.
24. Yamankaradeniz, R., Horuz, İ., Kaynaklı, Ö., Coşkun, S., & Yamankaradeniz, N., Soğutma Tekniği ve Isı Pompası Uygulamaları, Edition. Dora Yayınları, Bursa, 2017.
25. Atmaca, I., Yigit, A., Simulation of solar-powered absorption cooling system, *Renewable Energy*, 28 (8), 1277-1293, 2003.
26. Gündüz, A. H., Güneş Enerjisi Kaynaklı Absorbsiyonlu Soğutma Sistemlerinin Termodinamik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 651209, 2020.
27. İnternet-1, Viesmann Vitosol Kolektör Planlama Kılavuzu, 2020.
28. Gündüz, A. H., Cimsit, C., Güneş enerjisi kaynaklı absorpsiyonlu soğutma sisteminin farklı eriyik çiftleri ile termodinamik analizi, *Mühendis ve Makine*, 63, 707, 201-221, 2022.
29. Sim, L. F., Numerical modelling of a solar thermal cooling system under arid weather conditions, *Renewable Energy*, 67, 186-191, 2013.
30. mgm.gov.tr, (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Başkanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü), 2020.
31. Goralı, E., Güneş enerjili absorpsiyonlu soğutma sistemi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul, 185606, 2007.