|  |
| --- |
| **Organik Rankine Çevrim (ORC) İle Çalışan Tek Kademeli Absorbsiyonlu-Buhar Sıkıştırmalı Kaskad Soğutma Çevriminin Analizi****Canan CİMŞİT1[[1]](#footnote-1)\***1 Gölcük MYO, Kocaeli Üniversitesi, Gölcük-Kocaeli, Türkiye\*1 ccimsit@kocaeli.edu.tr |
|  **(Geliş/Received: 21/02/2018; Kabul/Accepted: 09/01/2019)** |

**Özet:** Soğutma sistemlerinin performansını artırmak amacıyla absorbsiyonlu ve buhar sıkıştırmalı çevrimleri birleştirilerek elde edilen absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma çevrimleri enerjide ekonomiklik ve çevre koruması için de önemli alternatif çözümler sunmaktadır. Alternatif enerjilerin kullanılmasını mümkün kılan bu kaskad soğutma çevrimlerinde kullanılan soğutucu akışkanlar çevre koruması da sağlamaktadır. Bu çalışmada Organik Rankine Çevrimi ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma çevriminin termodinamik analizi yapılmıştır. Tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma çevriminin absorbsiyonlu kısmında LiBr-H2O akışkan çifti, buhar sıkıştırmalı kısmında R-600a ve Organik Rankine Çevriminde (ORC) ise R-123 seçilmiştir. Organik Rankine Çevrimi ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma çevriminin aynı çalışma koşullarındaki tek kademeli buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi ile karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırma sonucuna göre önerilen Organik Rankine Çevrimi ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma çevriminin tek kademeli buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimine göre %46 daha az elektrik enerjisine ihtiyaç olduğu görülmüştür. Ayrıca önerilen bu çevrimin soğutma çevrimi, güç çevrimi ve toplam çevrim sonuçları verilmiştir. Analiz edilen çevrimin Organik Rankine Çevrimi (ORC) kısmındaki türbinden elde edilen elektrik enerjisinin soğutma çevrimindeki kompresör için kullanıldığı düşünülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Absorbsiyonlu Soğutma, Kaskad Soğutma, Organik Rankine Çevrimi, Performans analizi.

**Analysis Of Single Stage Absorption-Vapour Compression Cascade Refrigeration Cycle Working With Organic Rankine Cycle**

**Abstract:** In order to increase the performance of the refrigeration systems, the cascade refrigeration cycles can be obtained by combining absorption and vapour compression cycles. These cascade refrigeration cycles provide an alternative solution for economic and environmental protection. The refrigerants used in these cascade refrigeration cycles, which make possible the use of alternative energies, also provide environmental protection. In this study, thermodynamic analysis of a single stage absorption-vapour compression cascade refrigeration cycle working with the Organic Rankine Cycle has been performed. For the single stage absorption-vapour compression cascade cycle working has been fluid used R-600a for vapour compression section, LiBr-H2O for absorption section and R-123 for Organic Rankine Cycle. This cycle has been compared with single stage vapour compression refrigeration cycle. According to the comparison result, that the single stage absorption-vapour compression cascade refrigeration cycle working with the Organic Rankine Cycle require 46% less electrical energy than the single stage vapour compression refrigeration cycle. In addition, the refrigeration cycle, power cycle and total cycle results have been given of proposed cycle. The analyzed cycle has been thought to obtain from of the turbine in the Organic Rankine Cycle (ORC) of the electric energy for compressor in the refrigeration cycle.

**Keywords:** Absorption refrigeration, Cascade refrigeration, Organic Rankine Cycle, Performance analysis.

**1. Giriş**

Yenilenebilir enerji kaynaklarının önem kazandığı günümüzde absorbsiyonlu soğutma sistemlerinde güneş enerjisi, jeotermal enerji, atık ısılar kullanılabilir. Ayrıca bu sistemlerde kullanılan soğutucu akışkanların ozon tabakasına zarar vermemesi, hareketli parçaların az olması ve çok az bakım gerektirmeleri nedeniyle absorbsiyonlu soğutma sistemlerine olan ilgiyi artırmaktadır.

Literatürde Organik Rankine Çevrimi (ORC) ve absorbsiyonlu soğutma çevrimlerinin performansını inceleyen bir dizi çalışma sunulmuştur. Kaynaklı ve Yamankaradeniz [1], NH3-H2O ve LiBr-H2O eriyiği kullanan tek kademeli absorbsiyonlu soğutma sistemlerinin termodinamik analizini yapmışlardır. Eriyiklere ait termodinamik özellikler verilerek sistemlerin performansı, farklı kaynatıcı, yoğuşturucu, buharlaştırıcı ve absorber sıcaklıklarında karşılaştırmışlardır. Her iki sistemin de performansı kaynatıcı ve buharlaştırıcı sıcaklıklarının artışıyla artmakta ancak yoğuşturucu ve soğurucu sıcaklıklarının artışıyla azalmakta olduğu sonuçlarını elde etmişlerdir. Genel olarak LiBr-H2O eriyiği kullanan sistemin performansı NH3-H2O eriyiği kullanan sisteme göre daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. Kılıç ve Kaynaklı [2], tek etkili LiBr-su eriyiği ile çalışan absorbsiyonlu soğutma sistemlerine termodinamiğin birinci ve ikinci yasa analizlerini uygulamışlardır. Sistemin performansını, sistemi oluşturan her bir elemanın ekserji kaybını ve sistemin toplam ekserji kaybını hesaplamak için ekserji metodunu temel alan matematiksel model oluşturmuşlardır. Sistem performansının artan kaynatıcı ve buharlaştırıcı sıcaklıklarında arttığı buna karşılık artan yoğuşturucu ve absorber sıcaklıklarında azaldığı sonuçlarını elde etmişlerdir. Saka vd. [3], LiBr-H2O eriyiği ile çalışan çift kademeli seri akışlı bir absorbsiyonlu soğutma sisteminin mevsimsel performansını incelemişlerdir. Bursa ili şartlarında, mevsimlere göre değişen Bursa’ya ait bağıl nem oranları, hava sıcaklıkları ve hava entalpileridir. Dış havaya ait yıllık ortalama bağıl nem oranları ve ortalama sıcaklık değerleri resmi kaynaklardan almışlardır. Yapılan analiz sonuçlarda en fazla ekserji kaybı Ocak ayında olduğunu, en az ekserji kaybı ise Temmuz ayında gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Patel vd. [4], Organik Rankine Çevrimi ve buhar sıkıştırmalı-absorbsiyonlu soğutma çevrimine sahip yeni bir trijenerasyon sistemini önermişlerdir. Atık ısıyla çalışan önerilen trijenerasyon sisteminde -20°C 'de soğutma, 84°C'de proses ısıtması ve 10 kW'lık (mevcut durumda tüketilen) elektrik gücünü sağlamakta olup, tek başına buhar sıkıştırma sisteminden termoekonomik olarak daha iyi performans olduğunu göstermişlerdir. Çalışma akışkanı olarak Organik Rankine Çevriminde n-pentan kullanılmış olup, sistemin enerji verimi %79. 2‘ dir. Kavasoğulları ve Cihan [5], ısı kaynağı olarak atık sıcak su kullanılan bir organik Rankine çevrimi ile birlikte çalışan klasik soğutma çevriminin enerji ve ekserji analizini yapmışlardır. Sistemde R123, R600, R245fa, R141b ve R600a olmak üzere beş farklı akışkan kullanılmış ve sistem, ekserji verimi, performans katsayısı ve toplam ekserji yıkımı parametreleri açısından bu beş akışkan için ayrı ayrı incelemişlerdir. Yapılan analiz sonucunda önerilen bu sistemde kullanılabilecek en uygun akışkanın R141b olduğu tespit etmişlerdir. Cihan [6], atık ısı kaynaklı çalışan Organik Rankine çevrimi ile klasik buhar sıkıştırmalı soğutma çevriminin birleştirildiği bir sistem modellemiş olup, bu sistemi termodinamik açıdan incelemiştir. Modellenen sistemde, aynı anda hem güç üreten hem de soğutma işini yapan akışkan olarak, kuru tip akışkan özelliklerinden dolayı organik akışkanlardan R600, R600a ve R601 seçmiş olup, bu üç organik akışkan için, sistemin güç çevrimi, soğutma çevrimi ve toplam çevrim verimlerini ayrı ayrı hesaplamıştır.

Absorbsiyonlu soğutma sistemlerinin performanslarını artırmak amacıyla klasik buhar sıkıştırmalı soğutma sistemlerle birlikte tasarlanması ile ilgili literatürde çeşitli çalışmalar mevcuttur. Kairouani ve Nehdi [7], absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma sisteminin absorbsiyonlu kısmında NH3-H2O akışkan çifti, buhar sıkıştırmalı kısmında ise üç farklı akışkan (R717, R22, R-134a) kullanan sistem için gerekli elektrik enerjisinin aynı çalışma koşullarında R717, R22 ve R-134a soğutucu akışkan kullanan buhar sıkıştırmalı sistemden %37-54 daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Colorado ve Rivera [8], klasik buhar sıkıştırmalı soğutma sisteminin, buhar sıkıştırmalı-absorbsiyonlu tek kademeli soğutma sistemi ve buhar sıkıştırmalı-absorbsiyonlu çift kademeli soğutma sistemiyle termodinamiğin birinci ve ikinci yasasına göre bir karşılaştırma yapmışlardır. Aynı çalışma koşullarındaki soğutucu akışkan olarak CO2 ve R-134a kullanan önerilen soğutma çevrimlerindeki elektrik enerjisi tüketiminin klasik buhar sıkıştırmalı soğutma sisteminden yaklaşık %45 daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Ekserji analizinden, en yüksek tersinmezliğin absorber ve buharlaştırıcıda meydana geldiğini belirtmişlerdir. Jain vd. [9], tek etkili absorbsiyonlu soğutma sistemi ve bir buhar sıkıştırmalı soğutma sistemi ile birleştirilen buhar sıkıştırmalı-absorbsiyonlu kaskad soğutma sisteminin termodinamik model geliştirmişlerdir. Birinci ve ikinci yasalara dayanarak 66.67 kW'lık bir tasarım kapasitesi için karşılaştırmalı performans analizini yapmışlardır. Cimşit ve Öztürk [10], kaskad soğutma sisteminin absorbsiyonlu kısmında LiBr-H2O çiftinin kullanılması buhar sıkıştırmalı kısmında ise farklı soğutucu akışkanlar (R-134a, R410A, NH3) kullanılması durumlarının termodinamik analizini yapmışlardır. Aynı çalışma şartlarındaki klasik buhar sıkıştırmalı sistemlerine göre kaskad sistemlerde % 48 ile %52 arasında değişen daha az elektrik enerjisine ihtiyaç duyulduğunu belirtmişlerdir. Cimşit vd. [11], kaskad soğutma sisteminin termoekonomik analizini yapmışlardır. Kaskad soğutma çevriminin en iyi çalışma koşullarının belirlenmesi için farklı sıcaklıklara göre optimizasyonunu yapmışlardır.

Bu çalışmada Organik Rankine Çevrimi ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma çevriminin termodinamik analizi yapılmıştır. Tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma çevriminin absorbsiyonlu kısmında LiBr-H2O akışkan çifti, buhar sıkıştırmalı kısmında R-600a ve Organik Rankine Çevriminde ise (ORC) R-123 seçilmiştir. Organik Rankine Çevrimi ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma çevriminin aynı çalışma koşullarındaki tek kademeli buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi ile karşılaştırılması yapılmıştır. Analiz edilen çevrimin Organik Rankine Çevrimi (ORC) kısmındaki türbinden elde edilen elektrik enerjisinin soğutma çevrimindeki kompresör için kullanıldığı düşünülmüştür.

**2. Termodinamik Model**

Bu bölümde analiz edilecek çevrimler tanıtılarak, analizlerde yapılan kabuller ile kullanılan bağıntılar açıklanacaktır.

**2.1. Tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma çevrimi**

Tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma sistemi Şekil 1’de verilmiştir. Çevrimin absorbsiyonlu kısmında akışkan çifti olarak LiBr-H2O buhar sıkıştırmalı kısmında ise R-600a kullanıldığı kabul edilerek oluşturulan çevrimde absorberden çıkan LiBr bakımından fakir olan eriyik bir pompa aracılığı ile ısı değiştiricisinden geçerek kaynatıcıya(generatör) gelir. Sıcak ve yüksek basınçtaki soğutucu akışkan kaynatıcıdan 2 numaralı yoğuşturucuya girer. Kaynatıcıda eriyikten soğutucu buharının ayrılmasıyla LiBr bakımından zenginleşen eriyik ısı değiştiricisinden geçerken fakir eriyiğe ısı vererek absorbere geri döner. 2 numaralı yoğuşturucudan doymuş sıvı olarak çıkan soğutucu akışkan kısılma vanası aracılığıyla 2 numaralı buharlaştırıcı basıncına kadar genişletilir. Burada soğutucu akışkan buhar sıkıştırmalı soğutma sisteminin 1 numaralı yoğuşturucusundan aldığı ısıyla buharlaşarak absorbere girer. Buhar sıkıştırmalı soğutma sisteminde ise absorbsiyonlu soğutma sisteminin soğutucu akışkanına ısı vererek yoğuşan soğutucu akışkan, kısılma vanasında kısılarak 1 numaralı buharlaştırıcıya girer. 1 numaralı buharlaştırıcıda soğutucu akışkan soğutulan ortamının ısısını çekerek ortamı soğutur.

Yoğuşturucu 2

Kaynatıcı

(Generatör)

Eriyik Isı Değiştiricisi (EID)

Absorber

Buharlaştırıcı 2

Yoğuşturucu 1

Buharlaştırıcı 1

Komp.

Qbuh1

Qabs

Qkay

Qyoğ2

**Şekil 1.**Tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma sistemi.

**2.2. Organik Rankine Çevrimi (ORC)**

Atık akışkandan enerji geri kazanımında kullanılan en yaygın yöntem organik akışkan destekli güç sistemleridir. Sistemin temel prensibi geleneksel Rankine çevrimine dayanmaktadır. Organik Rankine Çevrimi (ORC) temel prensipleri geleneksel Rankine Çevriminin prensipleri ile benzerdir. Geleneksel Rankine Çevrimi ile ORC arasındaki temel fark, ORC’nde organik çalışma akışkanı geleneksel Rankine çevrimindeki çalışma akışkanı olan sudan daha düşük bir kaynama noktası ve daha yüksek bir buhar basıncına sahip olmasıdır. Bu temel fark çevrimin verimini artırdığından seçilecek çalışma akışkanının kaynama noktası ne kadar düşük, buhar basıncı ne kadar yüksek olursa türbinden elde edilen enerjide o kadar artar [12]. Organik Rankine Çevrimi (ORC), çeşitli kaynaklardan (jeotermal, güneş, atık ısı vb.) elde edilen ısı enerjisinin akışkanın buharlaştırıcıya aktarılarak buharlaştırılması, sıcaklığı ve basıncı yüksek akışkan buharının türbini tahrik ederek elektrik elde edilmesi şeklinde çalışmaktadır (Şekil 2). Türbinde genişleyen akışkan yoğuşturucuda sıvı hale dönüştürülmekte ve pompa yardımıyla basıncı yükseltilip tekrar buharlaştırıcıya gönderilerek çevrim tamamlanmaktadır [5].

Türbin

Buharlaştırıcı

Yoğuşturucu

**Şekil 2.** Organik Rankine Çevrimin (ORC).

**2.3. Organik Rankine Çevrim (ORC) ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma çevrimi**

Bir Organik Rankine Çevrim (ORC) ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma çevrimi Şekil 3‘te gösterilmiştir. Çevrim tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma çevrimin soğutma sistemiyle aynı olup, Organik Rankine Çevrimi ile birleşiminden oluşmuştur. Çeşitli kaynaklardan elde edilen ısı enerjisinin türbinde elektrik enerjisine dönüştürülerek soğutma çevrimindeki kompresöre aktarılarak soğutma işleminin gerçekleştirilmesi tasarlanmıştır.

***Sistem Tasarım Parametreleri ve Kabuller:***

Çevrimlerin termodinamik analizine temel oluşturacak aşağıda belirtilen birtakım kabuller yapılmıştır, bunlar:

1. Analiz sürekli rejim şartlarında yapılmıştır.
2. Sistemde bütün basınç kayıpları ihmal edilmiştir.
3. Çeşitli kaynaklardan elde edilen ısı enerjisi Buharlaştırıcı 3’te akışkana verilmektedir.

Ayrıca buhar sıkıştırmalı soğutma sistemindeki kompresörün izantropik verimi ηis=0.80, elektrik motor verimi ηelek=0.90, mekanik verimi ηmek=0.90 ve Organik Rankine Çevrimindeki (ORC) türbinin izantropik verimi ηis=0.90, elektrik motor verimi ηelek=0.90 alınmıştır.

Yoğuşturucu 2

Kaynatıcı

(Generatör)

Eriyik Isı Değiştiricisi (EID)

Absorber

Buharlaştırıcı 2

Yoğuşturucu 1

Buharlaştırıcı 1

Komp.

Qbuh1

Qabs

Qkay

Türbin

Buharlaştırıcı 3

Isı Değiştiricisi (ID)

Wkomp

Qyoğ2

QID

Buhar sıkıştırmalı soğutma sistemi

Absorbsiyonlu soğutma sistemi

Organik Rankine çevrim (ORC)

**Şekil 3.** Organik Rankine çevrim (ORC) ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma sistemi.

Çevrim için genel kütle dengesi ve LiBr için kütle dengesi kararlı rejim şartlarında çalışma için aşağıdaki denklemlerle elde edilebilir [13].

(1)

 (2)

Sürekli akışlı açık bir sistem için enerji dengesi aşağıdaki gibi yazılabilir [13].

 (3)

Organik Rankine çevrim (ORC) ile çalışan **t**ek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma sisteminin enerji denklikleri Tablo 1’de verildiği gibidir.

**Tablo 1.** Analiz edilensoğutma sisteminin termodinamik eşitlikleri.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Bileşen** | **Enerji Denklemi** | **Denklem No** |
| Kaynatıcı (Generatör ) |  | (4) |
| Yoğuşturucu 2 |  | (5) |
| Absorber |  | (6)   |
| Buharlaştırıcı 2 |  | (7)   |
| Buharlaştırıcı 1 |  | (8)  |
| Eriyik Isı Değiştiricisi (EID) |  | (9)  |
| Buharlaştırıcı 3 |  | (10)  |
| Isı Değiştiricisi |  | (11)  |
| Kompresör |  | (12)  |
| Türbin |  | (13)  |
| ORC Pompası |  | (14)  |
| Eriyik Pompası |  | (15)  |
| *COPbuh* |  | (16)  |
| *COPabs* |  | (17)  |
| *ηORC-güç* |  | (18)  |
| *ηçevg* |  | (19)  |

Soğutma çevrimlerinde kullanılan LiBr-H2Oeriyiği ilgili termodinamik özelikler literatürde verilen bağıntılar yardımıyla elde edilmiştir [14].

**3. Araştırma Sonuçları**

Organik Rankine çevrim (ORC) ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma çevriminin (Şekil 3) bütün noktalarındaki sıcaklık, entalpi, kütlesel debi ve konsantrasyon değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma sisteminin absorbsiyonlu kısmında LiBr-H2O akışkan çifti kullanıldığı, buhar sıkıştırmalı kısmında R-600a seçilmiş olup, Organik Rankine Çevrim (ORC) için de R-123 seçilerek analiz yapılmıştır. Sistemin çalışma koşulları olarak Tbuh1=-20oC ve Tkon2=35oC, soğutma yükü 100 kW alınmıştır.

**Tablo 2.** Şekil 3’te açıklanan çevrimin çeşitli noktalarındaki termodinamik özelikleri.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Akış No** | **Sıcaklık (oC)** | **h (kj/kg)** | **m (kg/s)** | **x (%LiBr)** |
| 1 | -20 | 528.779 | 0.332 | - |
| 2 | 18.38 | 582.721 | 0.332 | - |
| 3 | 12 | 227.520 | 0.332 | - |
| 4 | -20 | 227.520 | 0.332 | - |
| 5 | 35 | 88.248 | 0.482 | 55.210 |
| 6 | 35.2 | 88.652 | 0.482 | 55.210 |
| 7 | 62 | 143.495 | 0.482 | 55.210 |
| 8 | 80 | 197.451 | 0.532 | 60.400 |
| 9 | 48.5 | 137.454 | 0.532 | 60.400 |
| 10 | 48.5 | 137.454 | 0.532 | 60.400 |
| 11 | 80 | 2643.100 | 0.050 | - |
| 12 | 35 | 146.600 | 0.050 | - |
| 13 | 5 | 146.600 | 0.050 | - |
| 14 | 5 | 2509.700 | 0.050 | - |
| 15 | 97.96 | 443.81 | 1.189 | - |
| 16 | 85 | 432.660 | 1.189 | - |
| 17 | 85 | 291.320 | 1.189 | - |
| 18 | 86.36 | 292.660 | 1.189 | - |
| 19 | 155 | 464.900 | 1.189 | - |

Analiz edilen Organik Rankine Çevrim (ORC) ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma çevriminin sistem elemanlarının ısıl kapasite ve soğutma tesir katsayıları değerleri Tablo 3‘te gösterilmektedir. Tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma çevriminin soğutma kapasitesi olan 100 kW için kaynatıcı (generatör) gerekli olan ısıl enerjisi 168.034 kW, kompresör işi ise 22.110 kW olup, Organik Rankine Çevriminden (ORC) sağlanmaktadır. Sistem için gerekli olan ısıl enerji 205 kW olup, jeotermal enerji, güneş enerjisi ve atık ısı gibi alternatif enerji kaynaklarıyla karşılanabilmesi mümkündür. Örnek olarak ısıl enerji olarak jeotermal enerji kaynağı düşünülebilir. Çalışmada Germencik-Aydın Jeotermal Sahası ele alınmış olup, bu sahadaki sıcaklık 232oC ve debi 725 lt/sn değerindedir. Elektrik üretimi ve reenjeksiyon kuyularına bağlı diğer uygulamalar, şehir ısıtması-soğutması, sera ısıtması, kurutmacılık (incir üzüm), tekstil endüstrisi (iplik), soğuk hava depoları, kaplıca ve kaplıca tesisi ısıtmasında kullanılmaktadır [15]. Şekil 3’te verilen çevrime jeotermal akışkan giriş ve çıkış sıcaklığı sırasıyla 190oC ve 180oC, kütlesel debisi 3.785 kg/s olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre soğutma çevrimi için gerekli olan ısıl enerji rahatlıkla karşılanmaktadır.

**Tablo 3.** Düşünülen çevrimlerin sistem elemanlarının kapasite değerleri.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **Organik Rankine çevrim (ORC) ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma çevrimi****(LiBr-H2O/R-600a/ R-123)** | **Tek kademeli klasik buhar sıkıştırmalı****soğutma çevrimi****(R-600a)** |
| Qkay (kW) | 168.034 | - |
| Qabs. (kW) | 156.075 | - |
| Qbuh2 (kW) | 117.927 | - |
| Qyoğ2 (kW) | 124.825 | 133.104 |
| Wkomp (kW) | 22.110 | 40.869 |
| Wpompa(kW) | 0.195 | - |
| Qbuh3 (kW) | 205 | - |
| QID (kW)  | 13.257 | - |
| WT (kW) | 22.590 | - |
| WORCpompa(kW) | 1.593 | - |
| Qbuh1 (kW) | 100 | 100 |

Organik Rankine Çevrim (ORC) ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma çevriminin aynı çalışma koşullarındaki (Tbuh=-20oC ve Tkon=35oC, soğutma yükü 100 kW) tek kademeli klasik buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi ile karşılaştırılması yapılmıştır (Tablo 3). Analiz edilen soğutma çevriminin aynı şartlarda aynı miktar soğutma elde edebilmek için gerekli olan kompresör işi tek kademeli buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimine göre %46 daha az olduğu görülmektedir.

Organik Rankine Çevrim (ORC) ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma çevriminin absorbsiyon kısmının soğutma tesir katsayısı (COPabs) 0.742, buhar sıkıştırmalı kısmının soğutma tesir katsayısı (COPbuh) 4.523 olarak elde edilmiştir (Tablo 4). Organik Rankine Çevriminin (ORC) güç verimi %10.2 ve Organik Rankine Çevrim (ORC) ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma çevriminin genel verimi ise %59.8 dir (Tablo 4).

**Tablo 4.** Analiz edilen çevrimlerin soğutma tesir katsayıları ve verim sonuçları.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **Organik Rankine çevrim (ORC) ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma çevrimi****(LiBr-H2O/R-600a/ R-123)** | **Tek kademeli klasik buhar sıkıştırmalı****soğutma çevrimi****(R-600a)** |
| COPbuh  | 4.523 | 2.447 |
| COPabs | 0.742 | - |
| *ηORC-güç* (%) | 10.2 | - |
| ηçevg (%) | 59.8 | - |

**4. Sonuç ve Öneriler**

Absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma sistemi ile ilgili leteratürde yapılan çalışmalardan sistemin buhar sıkıştırmalı kısmında farklı soğutucu akışkanların kullanıldığı kabul edilerek yapılan karşılaştırmalarda elektrik enerjisi tüketiminin kaskad soğutma sisteminde Kairouani ve Nehdi [7] %37-54, Colorado ve Rivera [8] yaklaşık %45, Jain *vd.* [9] %61 ve Cimşit ve Öztürk [10] %48-%52 arasında değişen oranla daha az olduğunu belirtmişlerdir. Bu sonuçlara göre absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma sisteminin daha avantajlı olduğu görülmüştür. Bu kapsamda bu çalışmada absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma çevrimi Organik Rankine Çevrimi (ORC) ile birlikte tasarlanmış olup, Organik Rankine Çevriminin (ORC) türbininden elde edilen elektrik enerjisinin çevrimdeki kompresör için kullanıldığı kabul edilerek çevrimin analizi yapılmıştır.

Organik Rankine Çevrim (ORC) ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma sisteminin absorbsiyonlu kısmında LiBr-H2O akışkan çifti, buhar sıkıştırmalı kısmında R-600a ve Organik Rankine Çevriminde ise (ORC) R-123 seçilmiştir. Organik Rankine Çevrim (ORC) ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma çevriminde aynı çalışma koşullarındaki tek kademeli klasik buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimine göre %46 daha az kompresör işi gerektiği görülmüştür.

Organik Rankine Çevrim (ORC) ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma sisteminin soğutma kapasitesi olan 100 kW için kaynatıcı (generatör) gerekli olan ısıl enerjisi 168.034 kW, kompresör işi ise 22.110 kW olup, Organik Rankine Çevriminden (ORC) sağlanmaktadır. Sistem için gerekli olan ısıl enerji değeri 205 kW olarak hesaplanmıştır. Örnek olarak ısıl enerji olarak jeotermal enerji kaynağı düşünülmüştür. Çalışmada Germencik-Aydın Jeotermal Sahası ele alınmış olup, bu sahadaki sıcaklık 232oC ve debi 725 lt/sn değerindedir. Şekil 3’te verilen çevrime jeotermal akışkan giriş ve çıkış sıcaklığı sırasıyla 190oC ve 180oC, kütlesel debisi 3.785 kg/s olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre soğutma çevrimi için gerekli olan ısıl enerji rahatlıkla karşılanmaktadır.

Analiz sonuçlarından Organik Rankine Çevrim (ORC) ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma çevriminin absorbsiyon kısmının soğutma tesir katsayısı (COPabs) 0.742, buhar sıkıştırmalı kısmının soğutma tesir katsayısı (COPbuh) 4.523 olarak elde edilmiştir. Ayrıca Organik Rankine Çevriminin (ORC) güç verimi %10.2 ve Organik Rankine Çevrim (ORC) ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma çevriminin genel verimi ise %59.8 olarak bulunmuştur.

Ülkemiz jeotermal ve güneş enerjisi bakımından zengin konumundadır. Türkiye hem zengin jeotermal kaynaklara hem de coğrafi konumu sebebiyle büyük güneş enerjisi potansiyeline sahip olması nedeniyle bu çalışmada analiz edilen Organik Rankine çevrim (ORC) ile çalışan tek kademeli absorbsiyonlu-buhar sıkıştırmalı kaskad soğutma sistemi için ihtiyaç duyulan ısıl enerjinin bu kaynaklardan karşılanması mümkün olmaktadır. Ayrıca sistem için gerekli olan ısıl enerji için çok çeşitlilik gösteren atık ısı kaynakları da kullanılabilir. Böylece Ülkemizin soğutmada artan enerji ihtiyacının kendi öz kaynaklarımızla karşılanması ekonomimize önemli katkı sağlayacaktır. Bu önerilen çevrimde kullanılan akışkanlardan dolayı ozon tabakasına zarar vermeden düşük sıcaklıklarda daha etkin soğutma yapma imkânı da bulunmaktadır.

**5. Semboller**

COP Soğutma tesir katsayısı

Egv Eriyik genleşme valfi

EID Eriyik Isı Değiştiricisi

h Entalpi [kJ/kg]

 Kütlesel debi [kg/s]

P Basınç [kPa]

 Isıl güç [kW]

Sgv Soğutkan genleşme valfi

T Sıcaklık [0C]

x Konsantrasyon

 İş [kW]

## **Alt indisler**

abs Absorber, absorbsiyon

buh Buharlaştırıcı

ç Çıkış

çevg Çevrim genel

g Giriş

ID Isı Değiştiricisi

kay Kaynatıcı

komp Kompresör

ORC Organik Rankin Çevrimi

T Türbin

yoğ Yoğuşturucu

**Kaynaklar**

1. Kaynaklı Ö, Yamankaradeniz R. H2O-LiBr ve NH3-H2O eriyiği kullanan tek kademeli soğurmalı soğutma sistemlerinin karşılaştırılması. DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi 2003; 5(2): 73-87.
2. Kilic M, Kaynakli Ö. Second law-based thermodynamic analysis of water lithium bromide absorption refrigeration system. Energy 2006.
3. Saka K, Yamankaradeniz N, Kaynakli F, Kaynakli Ö. Hava soğutmalı çift kademeli absorbsiyonlu soğutma sisteminin enerji ve ekserji analizi. 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi; 2015.
4. Patel B, Desai N, Kachhwaha S, Jain V, Hadia N. Thermo-economic analysis of a novel organic Rankine cycle integrated cascaded vapor compressioneabsorption system. J. Clean Prod. 2017; 154: 26-40.
5. Kavasoğulları B, Cihan E. Organik Rankine Çevrimi (ORC) ile birlikte çalışan buhar sıkıştırmalı bir soğutma çevriminin ekserji analizi. Tesisat Mühendisliği 2015; Sayı 150.
6. Cihan E, Organik Rankine Çevrimi ile çalışan atık ısı kaynaklı bir soğutma sisteminin performansının araştırılması. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi 2014; 34(1):101-109.
7. Kairouani L, Nehdi E. Cooling performance and energy saving of a compression-absorption refrigeration system assisted by geothermal energy. Appl. Therm. Engineering 2006; 26: 288-294.
8. Colorado D, Rivera W. Performance comparison between a conventional vapor compression and compression-absorption single-stage and double-stage systems used for refrigeration. Appl. Therm. Engineering 2015; 273-285.
9. Jain V, Kachhwaha SS, Sachdeva G. Thermodynamic performance analysis of a vapor compression–absorption cascaded refrigeration system. Energy Conversion and Management 2013; 75: 685–700.
10. Cimşit C, Oztürk IT, Analysis of compression-absorption cascade refrigeration cycles. Appl. Therm. Engineering 2012; 40: 311-317.
11. Cimsit C, Ozturk IT, Kincay O. Thermoeconomic optimization of LiBr/H2O-R134a compression- absorption cascade refrigeration cycle. Appl. Therm. Engineering 2015; Volume 76: Pages 105-115.
12. Önal AS, Etemoğlu AB, Can M. Düşük sıcaklıklı atık akışkan destekli Organik Rankine Çevrimlerinin optimizasyonu. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi 2017; Cilt 22: Sayı 2.
13. Yamankaradeniz R, Horuz İ, Çoşkun S. Soğutma Tekniği ve Uygulamaları. Bursa: Vipaş A.Ş., Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı, 2002.
14. Kaita T, Thermodynamic properties of lithium bromide-water solutions at high temperatures. Int. J. Refrigeration 2001; 24: 374-390.
15. www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden\_potansiyel\_2010/Aydin\_Madenler.pdf
1. \* Sorumlu yazar: ccimsit@kocaeli.edu.tr. ORCID Numarası: 0000-0002-3222-1735 [↑](#footnote-ref-1)