



Güneş Enerjili Absorpsiyonlu Soğutma Sisteminde Kolektörde Nanoakışkan Kullanılmasının Sistem Performansına Etkisinin Termodinamik Analizi

Thermodynamic Analysis of the Effect on System Performance of Using Nanofluid in the Collector in Solar Absorption Cooling System

Erhan Kırtepe

Şırnak Üniversitesi, Şırnak Meslek Yüksekokulu, Şırnak, TÜRKİYE
Sorumlu Yazar / Corresponding Author*: erhan.kirtepe@sirnak.edu.tr

Öz

Kömür, petrol ve doğal gaz gibi tükenmekte olan fosil kökenli yakıtların çevreye verdiği zararlar dikkate alındığında yenilenbilir ve temiz enerji kaynaklarının kullanımı hayati derecede önem arz etmektedir. Özellikle güneş enerjisinin bol olduğu zamanlarda soğutma ihtiyacı için harcanan enerji dikkate alındığında bu harcanan enerjinin güneş enerjisinden karşılanması önemlidir. Bu çalışmada güneş enerjili absorpsiyonlu soğutma sisteminin (GEASS) teorik analizi yapılmıştır. Sistemin çalışması ve soğutmanın yapılabilmesi için gerekli enerji parabolik oluk tipi kolektör (POTK) vasıtası ile güneş enerjisinden elde edilmektedir. Çalışma kapsamında POTK'de ısı transfer akışkanı olarak kullanılan temel akışkan Syltherm 800'e farklı nanopartiküller eklenmesi (Al_2O_3 , CeO_2 , CuO , TiO_2) ile oluşturulan nanoakışkanların kullanılmasının sistem verimlilik değerlerine etkisi incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda POTK'de temel akışkan Syltherm 800 yerine Syltherm 800+ CeO_2 nanoakışkanın kullanılması durumunda kolektör veriminde %0,15, GEASS'nin COP değeri ve ekserji veriminde ise %0,13'lük en yüksek artış oranları olduğu belirlenmiştir. Ayrıca POTK'nin ekserji veriminde en yüksek artış oranı %0,08 olarak temel akışkan Syltherm 800 yerine Syltherm 800+ TiO_2 nanoakışkanının kullanıldığı durumda olduğu hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Nanoakışkan, Parabolik Oluk Tipi Kolektör, Absorpsiyonlu Soğutma Sistemi.

Abstract

Considering the environmental damage caused by depleting fossil fuels such as coal, oil, and natural gas, the use of renewable and clean energy sources is of vital importance. Considering the energy consumed for cooling, especially when solar energy is abundant, it is crucial to meet this spent energy from solar energy. In this study, the theoretical analysis of solar absorption cooling system (SACS) has been made. The energy required for the system's operation and cooling is obtained from solar energy using a parabolic trough collector (PTC). Within the scope of the study, the effect of the use of nanofluids formed by adding different nanoparticles (Al_2O_3 , CeO_2 , CuO , TiO_2) to the base fluid Syltherm 800, which is used as a heat transfer fluid in PTC on the system efficiency values were investigated. As a result of the analyses made, the highest increase rates of 0.15% in collector efficiency, 0.13% in COP value, and exergy efficiency of SACS were determined when Syltherm 800+ CeO_2 nanofluid instead of the base fluid Syltherm 800 in PTC was used. In addition, it was calculated that the highest increase in the exergy efficiency of PTC was 0.08% when Syltherm 800+ TiO_2 nanofluid was used instead of the base fluid.

Keywords: Solar Energy, Nanofluid, Parabolic Trough Collector, Absorption Cooling System.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The depletion of fossil fuels and the global warming problem resulting from using these fuels increase the importance of using clean, environmentally friendly, and inexhaustible renewable energy resources. Solar energy, one of the primary renewable energy sources, has become the subject of much scientific research because it is globally available, environmentally friendly, and an inexhaustible energy source. Researchers are

conducting many studies on maximizing solar energy and increasing the efficiency of currently used systems.

When the sun is most abundant, the energy spent for cooling is highest. In this context, meeting the energy spent for cooling with solar energy is essential to leave a livable world to future generations. Studies on solar cooling systems have been carried out by many researchers. In particular, many scientific studies continue to be carried out on solar absorption cooling systems (SACS). In this study, the effect of using different nanofluids

instead of base fluid as heat transfer fluid in the collector in SACS on the performance of the system was examined theoretically. In addition, the effect of the change in the evaporator temperature of the absorption chiller, the temperature of the heat transfer fluid entering the collector, and its volumetric flow rate on the efficiency values of the system were also investigated.

The examined system

A parabolic trough collector (PTC) using different nanofluids as heat transfer fluid produced thermal energy from solar energy in the examined system. Syltherm 800, widely used in PTCs, was chosen as the base heat transfer fluid. The nanofluids examined within the scope of the study were created by adding 2% of different nanoparticles (Al_2O_3 , CeO_2 , CuO , TiO_2) to the base heat transfer fluid Syltherm 800. The useful heat obtained by PTC is transferred to a thermal energy storage tank. The heat stored in the tank is transferred to the generator to operate the absorption chiller. The absorption chiller in the SACS is single effect and contains LiBr-water solution as the working fluid.

Mathematical Model

The analyses for SACS were carried out for the case where the system operated under steady-state conditions. The results of the mathematical model were calculated using the MATLAB program.

Validation of the Mathematical Model

The validity of the mathematical model for SACS has been proven by comparing it with results in the literature. First, the accuracy of the mathematical model created for PTC was examined. For this purpose, the results obtained from the mathematical model created for PTC were compared with the experimental results in the literature. As a result of comparing the experimental and model results according to the outlet temperature of the heat transfer fluid and the thermal efficiency of the collector, the average relative errors were calculated as 0.35% and 6.10%, respectively. The accuracy of the mathematical model created for the absorption chiller was examined by comparing it with the results in the literature. The accuracy of the mathematical model created for the absorption chiller was examined by comparing it with the results given in the literature, and the relative error in calculating the coefficient of performance for the absorption chiller was calculated as 1.72%. The fact that the relative errors

in the calculations are acceptable reveals the validity of the mathematical model created.

Results

In the system examined within the scope of the study, nanofluids created by adding different nanoparticles (Al_2O_3 , CeO_2 , CuO , TiO_2) to the base fluid Syltherm 800 were used as heat transfer fluid in PTC, and the effect of the use of these nanofluids on the efficiency values of the system was examined. In addition, the effect of changing system parameters, such as the evaporator temperature of the absorption chiller, the temperature of the heat transfer fluid entering the collector, and the change in its volumetric flow rate on the efficiency values of the system, was also investigated. While increasing the volumetric flow rate of the fluid in the PTC raised the collector efficiency, it caused the collector exergy efficiency to decrease. In addition, increasing the fluid flow rate caused the COP value and exergy efficiency of SACS to decrease. Although increasing the inlet temperature of the fluid to the collector caused the thermal efficiency of the collector to decrease, it raised the exergy efficiency of the collector, the COP value of SACS, and the exergy efficiency. Increasing the evaporator temperature increased the COP value of SACS; however, it caused the exergy efficiency of SACS to decrease. Considering all the analyses, it has been determined that when nanofluid is used instead of the base fluid Syltherm 800 in PTC, there is an increase in PTC's thermal and exergy efficiency and the COP value and exergy efficiency of SACS. It was calculated that if Syltherm 800+ CeO_2 nanofluid was used instead of the base fluid Syltherm 800 in PTC, the highest increase rates were 0.15% in collector efficiency and 0.13% in SACS's COP value and exergy efficiency. Additionally, the highest increase in the exergy efficiency of PTC was calculated to be 0.08% when Syltherm 800+ TiO_2 nanofluid was used.

Conclusion

Since using renewable energy resources is extremely important, it is essential to develop solar energy systems and investigate solutions to increase the efficiency of these systems in future studies. In particular, the effects of using nanofluids as heat transfer fluids in solar collectors on the efficiency values of the systems should be examined, and the search for suitable nanofluids should continue.

1. Giriş

Son zamanlarda kritik bir konu haline gelen küresel ısınma ve fosil yakıtların tükenmesi araştırmacıları temiz ve bol enerji kaynakları bulmaya yönlendirmektedir [1]. Özellikle çevre dostu, küresel olarak ücretsiz olarak temin edilebilen ve temiz bir enerji kaynağı olan güneş enerjisi herhangi bir toplumun sosyo-ekonomik kalkınmasında hayati bir rol oynayabilecek durumdadır [2]. Bu nedenle güneş enerjisinden maksimum düzeyde yararlanılması ve hali hazırda kullanılan sistemlerin verimlerinin artırılması önem arz etmektedir. Bu bağlamda, güneşin bol olduğu yaz aylarında soğutma için harcanan enerjinin büyüklüğü göz önüne alınırsa güneş enerjili soğutma sistemlerinin kullanılması son derece önem kazanmaktadır. Bununla ilgili olarak literatürde güneş enerjili soğutma sistemlerine ait birçok çalışma yer almaktadır.

Mazloumi ve ark. (2008) [3] İran- Ahwaz iklim koşullarında bulunan güneş enerjili ve tek etkili absorpsiyonlu soğutma sisteminin (ASS) simülasyonunu yapmışlardır. İncelenen sistem içerisinde bulunan absorpsiyonlu soğutucuda çalışma akışkanı

olarak LiBr-su çözeltisi kullanılmıştır. Sistemin tasarımı, soğutma yükü gereksinimi maksimum 17,5 kW olan bir ev için yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda temmuz ayında güneşin olduğu saatlerde gerekli soğutma yüklerini karşılayacak gerekli olan minimum kolektör alanının yaklaşık 57,6 m² olduğu belirlenmiştir. Bellos ve ark. (2017) [4] parabolik oluk tip kolektör (POTK) ile güneş enerjisinden elde edilen ısı ile çalışması sağlanan LiCl-su çözeltisine sahip çift etkili ASS'nin teorik analizini gerçekleştirmişlerdir. İncelenen sistemin enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Ayrıca incelenen sistemi, geleneksel çalışma akışkanı LiBr-su çözeltisi ile çalışan aynı koşuldaki ve özellikteki ASS ile karşılaştırmışlardır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, güneş enerjili ve çift etkili ASS'de LiBr-su çözeltisinin yerine LiCl-su çözeltisi kullanılmasının sistemin soğutma performansını %7,55 artırdığı ve aynı soğutma yükü için gerekli kolektör alanını %7,59 oranında azalttığı belirlenmiştir. Asadi ve ark. (2018) [5] farklı güneş kolektörler tarafından çalıştırılan absorpsiyon soğutmalı bir sistemi teorik olarak incelemişlerdir. İncelenen sistemde kullanılan ASS 10 kW soğutma kapasitesine sahip ve tek etkili olup, içerisinde çalışma akışkanı olarak amonyak-su çözeltisi bulunmaktadır. Çalışma

kapsamında incelenen sistemin termoekonomik analizi ve çok amaçlı optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda vakum borulu güneş kolektörlü ASS'nin toplam 7200 € maliyet ve 24 m² kolektör alanı ile en ekonomik çözüm olduğu belirlenmiştir. POTK'li sistemin en yüksek ekserji verim değerinin 0,046 olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca bu sistemin en yüksek güneş etkinlik katsayısına sahip olduğu da belirlenmiştir. Bellos ve Tzivanidis (2018) [6] POTK'ler ile güneş enerjisinden temin edilen ısı enerji kullanılarak çalıştırılan, içerisinde çalışma akışkanı olarak LiBr-su çözeltisi bulunan bir ejektörlü ASS'nin optimizasyonunu yapmışlar ve parametrik olarak incelemişlerdir. Yapılan çalışmada generatör sıcaklığı ve basıncı ile ejektördeki basınç düşüşü optimizasyon parametreleri olup sistem performansının maksimize edilmesi ise amaç fonksiyonu olarak ele alınmıştır. Yapılan analizler sonucunda 12,5 °C buharlaşma sıcaklığı ve 30 °C kondenser sıcaklığı olan durum için optimize edilmiş ejektörlü ASS'nin geleneksel ASS'ye göre %60,9'a varan performans artışı gösterdiği hesaplanmıştır. Bellos ve Tzivanidis (2018) [7] içerisinde su ve su/Cu nanoakışkan (%2 hacimsel konsantrasyon) kullanılan düzlemsel güneş kolektörlü ASS'yi incelemişlerdir. Yapılan çalışma kapsamında sistemin sürekli çalışma koşulundaki ve günlük çalışma koşulundaki davranışı teorik olarak incelenmiştir. İncelenen sistem, enerjik ve ekserjetik kriterlere sahip çok amaçlı bir prosedür kullanılarak sürekli çalışma koşulları için optimize edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda kolektörde su yerine nanoakışkanın kullanılması ile kolektörün ortalama verimlilik değerinde %2,5'e yakın bir artış olduğu belirlenmiştir. Ayrıca sistemin günlük çalışma koşulundaki yapılan analizler sonucunda güneş kolektöründe nanoakışkan kullanılması ile sistemin ekserjetik performansını %4,0'e yakın ve soğutma üretimini günlük olarak yaklaşık %0,84 oranında arttığı hesaplanmıştır. Gogoi ve Saikia (2019) [8] içerisinde organik Rankine ve absorpsiyonlu soğutma çevrimi bulunan POTK'li sistemi Hindistan iklim koşullarında farklı aylar için teorik olarak incelemişlerdir. Şubat, mayıs, ağustos ve kasım ayları için güneş enerjili bütünlük güç ve soğutma sisteminin enerji ve ekserji analizleri gerçekleştirilmiştir. Organik Rankine çevriminde beş farklı çalışma akışkanının (Isopentane, R245ca, Neopentan, R245fa ve Bütan) kullanımının sistem performansına etkisi incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, Organik Rankine çevriminde kullanılan belirli bir çalışma akışkanı için maksimum güç ve soğutma şubat ayında, minimum güç ve soğutma ise ağustos ayında elde edildiği belirlenmiştir. Organik Rankine çevriminde güç akışkanı olarak R245fa kullanıldığı durumda ve şubat ayında gerçekleştirilen analiz sonucunda maksimum elde edilen net gücün ve absorpsiyonlu soğutma çevriminden elde edilen soğutma yükünün sırasıyla 1,74 MW ve 4,82 MW olduğu hesaplanmıştır. Wu ve ark. (2020) [9] geleneksel ASS'lerden farklı olarak daha düşük sıcaklık değerlerine sahip ısı kaynakları tarafından yürütülen, yüksek ve alçak basınçta sıkıştırma destekli olarak çalışan iki ASS'nin teorik analizini gerçekleştirmişlerdir. İncelenen sistemlerde düşük küresel ısınma potansiyeline sahip akışkanlar kullanılmışlar ve çevrimin sıkıştırma oranını dikkate alarak optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Düşük basınçta sıkıştırma destekli ASS'nin, daha yüksek çevrim verimliliği ve daha düşük kompresör tahliye sıcaklığı nedeniyle yüksek basınçta sıkıştırma destekli ASS'ye göre daha iyi performans sergilediği belirlenmiştir. Sıkıştırma destekli ASS ile basit ASS karşılaştırılmış ve sıkıştırma destekli ASS'nin kullanılması ile COP değerinin 0,670'e kadar yükseldiği hesaplanmıştır. Ayrıca sıkıştırma destekli absorpsiyonlu çevrimin kullanılması ile generatörün çalışma sıcaklığı 45 °C'ye düşürülmüştür. Alirahmia ve ark. (2020) [10] jeotermal ve POTK'lerden aldığı enerji ile çalışan, eş zamanlı olarak güç, soğutma, tatlı su, hidrojen ve ısı üretimi yapabilen bir sistemi enerji, ekserji ve eksergoekonomik

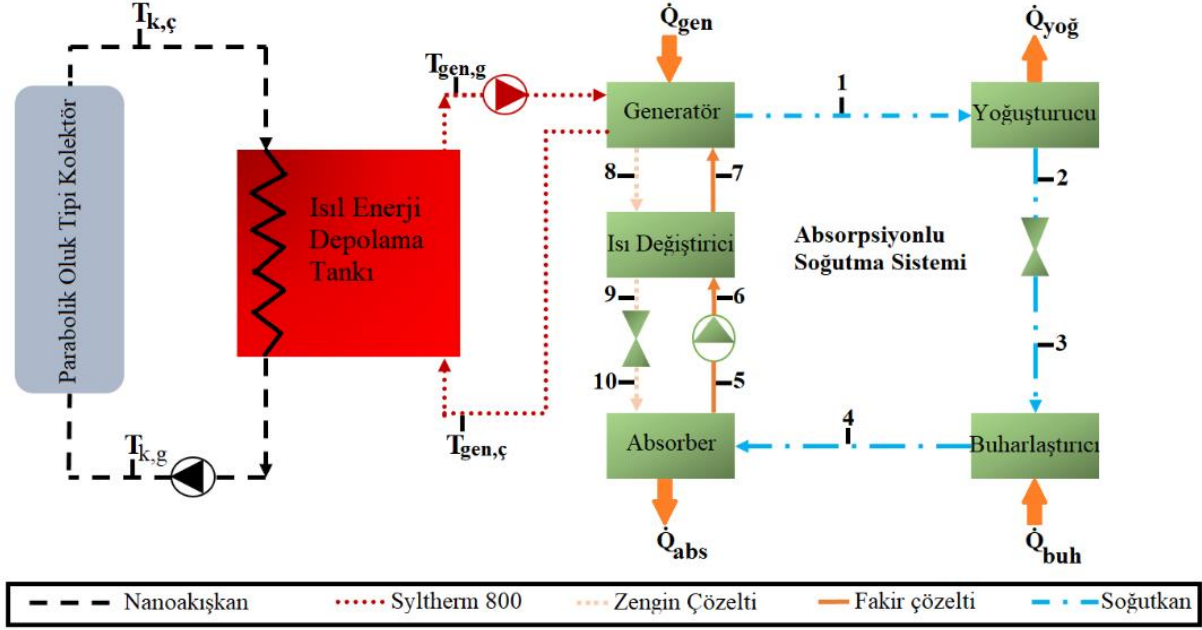
açıdan incelemişlerdir. İncelenen sistem bir jeotermal kaynak, parabolik oluk tipi güneş kolektörleri, bir buhar çevrimi, bir rejeneratif organik Rankine çevrimi, bir absorpsiyonlu soğutucu, bir PEM (Polimer Elektroliz Membran) elektrolizörü ve bir ters osmoz ünitesinden oluşmaktadır. Organik Rankine çevriminde kullanılan 10 farklı soğutucu akışkan içerisinde en iyi performansa sahip olanın R123 olduğu belirlenmiştir. Ayrıca incelenen dört farklı jeotermal akışkan arasında en iyi performansı Therminol 59'un kaydedtiği belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda sistemin ekserji veriminin ve toplam birim maliyetin optimum noktada sırasıyla %29,95 ve 129,7 \$/GJ'ye ulaştığı hesaplanmıştır. Vallès ve ark. (2020) [11] binaların ısıtma ve soğutma taleplerini karşılayan ve güneş enerjisiyle çalışan tek etkili absorpsiyonlu çevrimi araştırmışlar ve incelenen sistemin teorik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Absorpsiyon çevriminin iki çalışma durumunda da (ısıtma ve soğutma) kullanılan bileşenler aynı fakat çalışma akışkanının akış yönü farklıdır. Yapılan analizler sonucunda ısıtma modunda, 0 °C dış ortam sıcaklığında 55 °C sıcaklıkta su üretmek için 40 °C sıcaklığındaki ısı kaynağından alınan enerji ile çevrim çalıştırılırsa elde edilen COP değeri 0,45 olmaktadır. Soğutma modunda ise, 30 °C dış ortam sıcaklığında 7 °C sıcaklıkta soğutulmuş su üretmek için 85 °C sıcaklığındaki ısı kaynağından alınan enerji ile çevrim çalıştırılırsa elde edilen COP değeri 0,6 olmaktadır. Bamisile ve ark. (2020) [12] elektrik, sıcak su, hidrojen üretimi yapan ve soğutma yükü sağlayan çok amaçlı yeni bir sistemin enerji ve ekserji açısından performansını incelemişlerdir. Güneş enerjili bu sistemde güneşten ısı enerji elde edebilmek için POTK'ler kullanılmıştır. Ayrıca sistemde elektrik, soğutma etkisi, sıcak su ve hidrojen üretmek için iki adet Rankine çevrimi, tek etkili ve çift etkili olmak üzere iki adet ASS, bir sıcak su haznesi ve bir proton değişimli membran (Proton Exchange Membrane-PEM) elektrolizörü yer almıştır. Yapılan analizler sonucunda çok amaçlı sistemin 1027 kW elektrik, 0,9785 kg/h hidrojen, 188,5 kW soğutma etkisi ve 11,23 kg/s sıcak su ürettiği belirlenmiştir. Abid ve ark. (2021) [13] içerisinde ısı transfer akışkanı olarak hibrit nanoakışkanların kullanıldığı vakumlu tüp kolektör tarafından yürütülen dört farklı ASS'nin termodinamik incelemesini enerji ve ekserji açısından teorik olarak yapmışlardır. Güneş enerjisi ile çalıştırılan ve incelenen ASS'ler tek, çift, üçlü ve dörtlü etkilidir. ASS'lerde akışkan çifti olarak LiBr-su çözeltisi kullanılmıştır. Vakumlu tüp kolektör de ise ısı transfer akışkanı olarak MWCNT&TiO₂/Terminol VP-I'den oluşan hibrit nanoakışkan kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda hibrit nanoakışkanların tekli nanoakışkanlara ve temel akışkana (Terminol VP-I) kıyasla daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. Dörtlü etkili ASS'nin performans katsayısı 2,287, üçlü etkili sistem için ise 1,752 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca tek ve çift etkili ASS'nin performans katsayısı, dörtlü etkili sistemin performans katsayısından sırasıyla %169 ve %88 daha az olduğu belirlenmiştir. Abed ve ark. (2022) [14] güneş enerjisi destekli farklı konfigürasyonlara sahip ASS'nin ekonomik analizini yapmışlardır. Çalışma kapsamında, TRNSYS yazılımı kullanılarak güneş enerjisi simüle edilmiş ve güneşten gelen enerjiden ısı enerji elde edebilmek için vakum tüplü güneş kolektörü kullanılmıştır. ASS'de çalışma akışkan çifti olarak NH₃/H₂O çözeltisi kullanılmış ve sistemin hesaplamaları yapılırken EES (Engineering Equation Solver) programından yararlanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda iki ejektörü bulunan ASS'nin kullanılması durumunda geri ödeme süresi ve elde edilen kar sırasıyla 11 yıl ve 3192 \$ olduğu ve incelenen diğer konfigürasyonlara göre daha düşük geri ödeme süresi sağladığı belirlenmiştir.

Yapılan literatür araştırmasında güneş enerjili absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde (GEASS) kolektörde farklı

nanoakışkanların kullanılmasının sistemin verimlilik değerlerine olan etkisi ile ilgili çok az çalışma olduğu görülmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada GEASS'de yer alan kolektörde ısı transfer akışkanı olarak temel akışkan yerine farklı nanoakışkanların kullanılmasının sistemin performansına etkisi teorik olarak incelenmiştir. Ayrıca, yapılan analizlerde kolektöre giren ısı transfer akışkan sıcaklığının, hacimsel debisinin ve buharlaştırıcı sıcaklığının değişiminin kolektörün ve sistemin verimliliğine olan etkileri de araştırılmıştır.

2. İncelenen Sistem

Bu çalışmada incelenen GEASS'nin şematik gösterimi Şekil-1'de verilmiştir. POTK'lerden ısı enerjisi elde etmek için ısı transfer



Şekil 1. GEASS'nin şematik resmi.

Figure 1. Schematic picture of SACS.

Isıl enerji depolama tankında ısı transfer akışkanı olarak Syltherm 800 kullanılmaktadır. ASS'nin çalışması için gerekli ısı enerjisi tanktaki ısı transfer akışkanı vasıtasıyla tanktan alınıp generatöre verilmektedir. Tankın üst kısmından çıkan akışkan generatörde bulunan ısı değiştirici vasıtası ile ASS'deki akışkan çiftine karışmadan ısısını bıraktıktan sonra tanka geri dönmektedir. Generatöre verilen ısı sayesinde ASS'deki çalışma akışkanı LiBr-su çözeltisinden soğutkan olan su buharı ayrışıp yoğusturucuya gitmektedir (1 noktası). Su buharının ayrılması ile LiBr bakımından zengin olan çözelti generatörden ayrıldıktan sonra (8 noktası) ısı değiştiriciden geçerken ısısının bir kısmını generatöre giren LiBr bakımından fakir olan çözeltime bırakıp kısılma vanasına gelir (9 noktası). Kısılma vanasında basıncı buharlaştırıcı basıncına düşürülen zengin çözelti (10 noktası) absorbere girer. Yoğusturucuya gelen soğutkan yoğusturucuda ısısını bırakıp kısılma vanasına gelir (2 noktası). Kısılma vanasında basıncı buharlaştırıcı basıncına düşürülen soğutkan (3 noktası) buharlaştırıcıya girer ve soğutulmak istenen ortamdan aldığı ısı sayesinde doymuş buhar haline gelip buharlaştırıcıdan çıkar (4 noktası). Absorberde, LiBr bakımından zengin olan çözelti buharlaştırıcısından gelen soğutkan buharını absorbe ettikten sonra LiBr bakımından fakir olan çözelti olarak absorberden ayrılır (5 noktası). Absorberden ayrılan fakir çözeltinin basıncı çözelti pompası vasıtası ile generatör basıncına yükselir (6 noktası). Generatör basıncındaki fakir çözelti ısı

akışkanı olarak farklı nanoakışkanlar kullanılmıştır. Temel ısı transfer akışkanı olarak, -40°C ile 398°C arasında geniş bir çalışma aralığına sahip, literatürde yer alan çalışmalarda ve uygulamalarda POTK'lerde yaygın olarak kullanılan Syltherm 800 (polydimethylsiloxane) seçilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen nanoakışkanlar, temel ısı transfer akışkanı olarak alınan Syltherm 800'e farklı nanopartiküllerin (Al_2O_3 , CeO_2 , CuO , TiO_2) eklenmesiyle oluşturulmuştur. Isıl enerji depolama tankında yer alan bir ısı değiştirici sayesinde POTK ile tank arasında sirküle edilen ısı transfer akışkanının taşıdığı ısı enerjisi, tankta bulunan akışkana karışmadan aktarılmaktadır.

değiştiricide zengin çözeltinin ısısının bir kısmını aldıktan sonra (7 noktası) generatöre girer.

3. Matematiksel Model

GEASS için yapılan analizler sistemin sürekli koşullarda çalıştığı durum için gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan matematiksel modele ait sonuçlar MATLAB programı kullanılarak hesaplanmıştır.

3.1. Parabolik oluk tipi kolektör

İncelenen sistemde güneş enerjisinden ısı enerjisi elde etmek için içerisinde ısı transfer akışkanı olarak nanoakışkan olan POTK kullanılmıştır. POTK'de ısı transfer akışkanına aktarılan yararlı ısı Eşitlik 1 ile hesaplanır [15].

$$\dot{Q}_u = F_R A_a \left[S - \frac{A_r}{A_a} U_L (T_{k,g} - T_a) \right] \quad (1)$$

Burada belirtilen F_R toplayıcı ısı kazanım faktörü olup kolektör verim faktörü (F') ve kolektör akış faktörünün (F'') çarpımına eşittir [15].

$$F_R = F'' \times F' = \frac{\dot{m} c_p}{A_r U_L} \left(1 - \exp \left(- \frac{A_r U_L F'}{\dot{m} c_p} \right) \right) \quad (2)$$

Burada görülen U_L ısı kayıp katsayısıdır.

$$U_L = \frac{\dot{Q}_{kayıp}}{A_r(T_{r,o} - T_a)} \quad (3)$$

Eşitlik 1'de gösterilen S silindirik alıcı yüzey tarafından yutulan ısı enerjidir [15, 16].

$$S = G_b \lambda \left(\prod_{i=1}^6 \gamma_i \right) \tau_c \alpha_r K(\theta) \quad (4)$$

Bu eşitlikte verilen $K(\theta)$ geliş açısı düzeltme çarpanı olup POTK üzerine gelen direkt ışınının geliş açısından kaynaklanan hatayı içermektedir [17].

$$K(\theta) = \cos \theta + 0,000884 \theta - 0,00005369 \theta^2 \quad (5)$$

Silindirik alıcı yüzey tarafından yutulan ışınım hesabı yapılırken direk ışınının geliş açısından kaynaklanan hataların yanı sıra Tablo 1'de gösterilen yansıtıcı yüzeye ve POTK'nin elemanlarına ait olan optik verimlilikleri de dikkate alınmalıdır.

Tablo 1. POTK'nin performansını etki eden optik verimlilikler [16, 17].

Table 1. Optical efficiencies affecting the performance of PTC [16, 17].

Optik Özellikler	Değer
Destek elemanlarının, uzama kompensatörünün gölge etkisi (γ_1)	0,974
İzleme hatası (γ_2)	0,994
Yansıtıcı yüzeyin geometrik hassasiyeti (γ_3)	0,980
Yansıtıcı yüzeyin kirlenmesi (γ_4)	0,995
Sistem elemanlarının kirlenmesi (γ_5)	0,997
Diğer etkenler (γ_6)	0,960
Yansıtıcı yüzeyin temiz koşuldaki yansıtma oranı (λ)	0,935

POTK'de cam örtüden taşınım ve ışınım yoluyla dış ortama olan, cam örtünün iç ve dış yüzeyi arasında iletim yoluyla olan ve cam örtünün iç yüzeyi ile silindirik alıcının dış yüzeyi arasında gerçekleşen ısı geçişi sırasıyla Eşitlik 6, 7 ve 8 ile hesaplanır [15].

$$\dot{Q}_{c-a} = \varepsilon_c \pi D_{c,o} L \sigma (T_{c,o}^4 - T_{göky}^4) + h \pi D_{c,o} L (T_{c,o} - T_a) \quad (6)$$

$$\dot{Q}_{c,i-c,o} = \frac{2\pi k_c L (T_c, i - T_c, o)}{\ln \left(\frac{D_{c,o}}{D_{c,i}} \right)} \quad (7)$$

$$\dot{Q}_{c,i-r,o} = \frac{\pi D_{r,o} L \sigma (T_{r,o}^4 - T_{c,i}^4)}{\frac{1}{\varepsilon_r} + \frac{1 - \varepsilon_c}{\varepsilon_c} \left(\frac{D_{r,o}}{D_{c,i}} \right)} + \frac{2\pi k_{eff} L (T_{r,o} - T_{c,i})}{\ln \frac{D_{c,i}}{D_{r,o}}} \quad (8)$$

Eşitlik 6'da verilen gökyüzü sıcaklığı ($T_{göky}$) çevre hava sıcaklığına göre hesaplanır [18].

$$T_{göky} = 0,0552 T_a^{1.5} \quad (9)$$

Çalışma kapsamında incelenen POTK'de cam örtü ile silindirik alıcı yüzey arasında kalan bölgede vakum olduğu varsayıldığı için Eşitlik 8'de verilen k_{eff} değeri sıfır olarak alınmıştır. Aynı eşitlikte verilen ve silindirik alıcının yayma oranı olan (ε_r) silindirik alıcı yüzeyin dış yüzey sıcaklığına bağlı olarak hesaplanmıştır [17]. Silindirik alıcının yüzeyinin sermet seçici yüzey ile kaplı olduğu dikkate alınmıştır.

$$\varepsilon_r = 0,000327 \times T_{r,o} - 0,06597 \quad (10)$$

Cam örtü ve çevre arasında gerçekleşen ısı taşınım katsayısının hesaplanabilmesi için McAdams (1954) tarafından önerilen eşitlikler kullanılmıştır [15].

$$Nu_{hava} = 0,40 + 0,54 Re_{hava}^{0,52} \quad (11)$$

$$0,1 < Re_{hava} < 1000$$

$$Nu_{hava} = 0,30 Re_{hava}^{0,6} \quad (12)$$

$$1000 < Re_{hava} < 50000$$

POTK'de ısı transfer akışkanı olarak temel akışkan Syltherm 800'ün kullanıldığı durumda Nusselt sayısının hesaplanması için Eşitlik 13 ile gösterilen Dittus-Boelter eşitliği kullanılmıştır. Saf termal yağların Nusselt sayısının hesaplanmasında kullanılan bu eşitlik, akış rejiminin türbülanslı olması halinde ($Re_{hava} > 2300$) geçerlidir [19, 20, 21].

$$Nu_f = 0,023 Re_f^{0,8} Pr_f^{0,4} \quad (13)$$

POTK'de nanoakışkan kullanılması durumunda Nusselt sayısının hesaplanması için Pak ve Cho tarafından önerilen Eşitlik 14 kullanılmıştır [19, 20, 21, 22].

$$Nu_{nf} = 0,021 Re_{nf}^{0,8} Pr_{nf}^{0,5} \quad (14)$$

Silindirik alıcının içerisinden geçen akışkanın Reynolds ve Prandtl sayıları sırasıyla Eşitlik 15 ve 16 ile hesaplanır.

$$Re = \frac{4\dot{m}}{\pi D_{r,i} \mu} \quad (15)$$

$$Pr = \frac{\mu c_p}{k} \quad (16)$$

POTK'de ısı transfer akışkanı olarak kullanılan nanoakışkanda temel akışkan olan Syltherm 800'e eklenen nanopartiküllerin termofiziksel özellikleri Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Nanopartiküllerin termofiziksel özellikleri.

Table 2. Thermophysical properties of nanoparticles.

Nanopartikül	ρ_{np} (kg/m ³)	k_{np} (W/mK)	$c_{p,np}$ (J/kgK)
CuO [20,23,24]	6000	33	551
Al ₂ O ₃ [20,21,25]	3970	40	765
CeO ₂ [20,26]	7220	12	460
TiO ₂ [21,25]	4250	8,95	686

Nanoakışkanın yoğunluğu, özgül ısısı, ısı iletim katsayısı ve dinamik viskozitesi hacimsel orana (ϕ) bağlı olarak aşağıdaki eşitlikler kullanılarak belirlenmiştir [19, 21, 23, 24, 25, 27]. Bu eşitliklerde nf alt indisi nanoakışkanı temsil ederken bf ve np alt indisleri sırasıyla kullanılan temel akışkanı ve nanopartikülü göstermektedir.

$$\rho_{nf} = \rho_{bf}(1 - \phi) + \rho_{np}\phi \quad (17)$$

$$c_{p,nf} = \frac{\rho_{bf}(1 - \phi)}{\rho_{nf}} c_{p,bf} + \frac{\rho_{np}\phi}{\rho_{nf}} c_{p,np} \quad (18)$$

$$k_{nf} = k_{bf} \frac{k_{np} + 2k_{bf} + 2(k_{np} - k_{bf})(1 + \beta)^3 \phi}{k_{np} + 2k_{bf} - (k_{np} - k_{bf})(1 + \beta)^3 \phi} \quad (19)$$

$$\mu_{nf} = \mu_{bf}(1 + 2,5\phi + 6,5\phi^2) \quad (20)$$

Eşitlik 19'da verilen β , nanotabaka kalınlığının orjinal partükülün yarıçapına oranı olup nanoakışkanların ısı iletim katsayısı hesaplanırken genellikle 0,1'e eşit alınır [25].

POTK'nin ısı verimi Eşitlik 21 ile hesaplanır.

$$\eta_{ısı,k} = \frac{\dot{Q}_u}{G_b A_a} \quad (21)$$

Güneş enerjisinin ekserji akışı hesaplanırken literatürde çok fazla kullanılan Petela'nın önerdiği denklem kullanılmıştır [4, 12, 28, 29].

$$\dot{X}_{gün} = A_a G_b \left[1 - \frac{4}{3} \left(\frac{T_a}{T_{gün}} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{T_a}{T_{gün}} \right)^4 \right] \quad (22)$$

Bu eşitlikteki güneş sıcaklığı ($T_{gün}$) 5770 K olarak alınmıştır [12, 29]. POTK'den elde edilen ekserji ve ekserji verimi sırasıyla Eşitlik 23 ve 24 ile hesaplanır.

$$\dot{X}_u = \dot{Q}_u - \dot{m}_k c_p T_a \ln \left(\frac{T_{k,\zeta}}{T_{k,g}} \right) \quad (23)$$

$$\eta_{eks,k} = \frac{\dot{X}_u}{\dot{X}_{gün}} \quad (24)$$

3.2. Isıl enerji depolama tankı

İncelenen sistemde güneş enerjisinden elde edilen ısı enerji, POTK'deki ısı transfer akışkanı vasıtası ile ısı enerji depolama tankında bulunan akışkana (Syltherm 800) karışmadan aktarılmaktadır. Isıl enerji depolama tankı için genel enerji dengesi [7, 25];

$$\dot{Q}_{depolanan} = \dot{Q}_u - \dot{Q}_{t,kayıp} - \dot{m}_{gen} c_p (T_{gen,g} - T_{gen,\zeta}) \quad (25)$$

POTK vasıtası ile güneş enerjisinden elde edilen ısı enerjinin tamamıyla ısı enerji depolama tankına aktarıldığını dikkate almak, sürekli koşullarda yapılan analizler için uygundur [7, 25]. Bu durumda tankta depolanan ısı enerji ($\dot{Q}_{depolanan}$) sıfıra eşit olur.

$$\dot{Q}_u = (UA)_{k-t} \cdot \frac{(T_{k,\zeta} - T_{k,g})}{\ln \left[\frac{T_{k,\zeta} - T_t}{T_{k,g} - T_t} \right]} \quad (26)$$

Bu eşitlikte $(UA)_{k-t}$ değeri 10 kW/K'e eşit alınmış ve ısı enerji depolama tankındaki akışkan sıcaklığının uniform olduğu kabul edilmiştir [7, 25]. Tanktan dış ortama olan ısı kaybı [7, 25];

$$\dot{Q}_{t,kayıp} = U_t A_t (T_t - T_a) \quad (27)$$

Bu eşitlikte verilen ısı kayıp katsayısı (U_t) 0,5 W/m²K'e eşit alınmıştır [7, 25]. Tankın yüzey alanı;

$$A_t = \frac{\pi D_t^2}{2} + \pi D_t L_t \quad (28)$$

Isıl enerji depolama tankının boyutlandırılmasında tank çapının yüksekliğine oranı iki ($D_t / L_t = 2$) olarak alınmıştır [5, 28].

3.3. Absorpsiyonlu soğutma sistemi (ASS)

İncelenen sistemde POTK'de güneşten elde edilen ısı enerji ASS'nin çalıştırılmasında kullanılarak soğutma yükü sağlanmıştır. ASS'de akışkan çifti olarak LiBr-su çözeltisi, soğutkan olarak ise su kullanılmıştır. LiBr-su çözeltisinin termodinamik özelliklerinin belirlenmesi için ASHRAE [30] tarafından önerilen eşitlikler kullanılmıştır. Bu eşitlikler çözelti konsantrasyonunun ve sıcaklığının sırasıyla %40 ila %70 ve 15 °C ila 165 °C aralığında olduğu koşullarda geçerlidir [30]. Sistemin matematiksel hesaplamaları yapılırken literatürde benzer çalışmalarda yapılan ve aşağıda maddeler halinde listelenen kabuller dikkate alınmıştır [3, 4, 5, 11, 13, 28].

1. Sistem sürekli koşullarda çalışmaktadır.
2. Sistemde bulunan her bir eleman ve her bir borudaki ısı ve basınç kayıpları dikkate alınmamıştır.
3. Genleşme valfleri adyabatiktir.
4. Yoğuşturucu ve buharlaştırıcı çıkışındaki soğutkan sırasıyla doymuş sıvı ve doymuş buhar halindedir.
5. Generatör sıcaklığı, ısı enerji depolama tankından generatöre gelen akışkan sıcaklığından ($T_{gen,g}$) 10 °C düşüktür.
6. Tank ile generatör arasında sirküle edilen ısı transfer akışkanın generatöre giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark 7 °C'dir.
7. Buharlaştırıcı ve yoğuşturucu sıcaklıklarına karşılık gelen soğutkanın doyma basınçları sırasıyla sistemin alçak ve yüksek basıncına eşittir.
8. Generatörden ayrılan soğutkan generatör basıncında ve sıcaklığındadır.
9. Absorberden ayrılan LiBr-su çözeltisi absorber basıncında ve sıcaklığındadır.
10. Yoğuşturucu ve absorber sıcaklığı aynı ortama ısı atıkları için eşit alınmıştır.

ASS'de yer alan her bir bileşen için matematiksel hesaplamalar yapılırken, Tablo 3'de verilen ve her bir bileşendeki enerji ve kütle dengelerini gösteren eşitlikler kullanılmıştır.

Tablo 3. ASS'deki bileşenlere ait kütle ve enerji eşitlikleri [6, 5, 7, 10, 11, 12, 28, 29].**Table 3.** Mass and energy equations of the components in ACS [6, 5, 7, 10, 11, 12, 28, 29].

Bileşen	Kütle Dengesi	Eş. No	Enerji Dengesi	Eş. No
Absorber	$\dot{m}_5 = \dot{m}_4 + \dot{m}_{10}$	(29)	$\dot{Q}_{abs} = \dot{m}_{10}h_{10} + \dot{m}_4h_4 - \dot{m}_5h_5$	(40)
	$X_5\dot{m}_5 = X_{10}\dot{m}_{10}$	(30)		
Isı Değiştirici	$\dot{m}_7 = \dot{m}_6$	(31)	$\eta_{td} = \frac{h_8 - h_9}{h_8 - h_6}$	(41)
	$\dot{m}_9 = \dot{m}_8$	(32)		
Generatör	$\dot{m}_7 = \dot{m}_8 + \dot{m}_1$	(33)	$\dot{Q}_{gen} = \dot{m}_1h_1 + \dot{m}_8h_8 - \dot{m}_7h_7$	(42)
	$X_7\dot{m}_7 = X_8\dot{m}_8$	(34)		
Yoğusturucu	$\dot{m}_2 = \dot{m}_1$	(35)	$\dot{Q}_{yoğ} = \dot{m}_1(h_1 - h_2)$	(43)
Buharlaştırıcı	$\dot{m}_4 = \dot{m}_3$	(36)	$\dot{Q}_{buh} = \dot{m}_3(h_4 - h_3)$	(44)
Genleşme valfleri	$\dot{m}_3 = \dot{m}_2$	(37)	$h_3 = h_2$	(45)
	$\dot{m}_{10} = \dot{m}_9$	(38)	$h_{10} = h_9$	(46)
Çözelti Pompası	$\dot{m}_6 = \dot{m}_5$	(39)	$h_6 = h_5 + \dot{W}_p \approx h_5$	(47)

ASS'nin etkinlik katsayısı hesaplanırken sistemdeki çözelti pompasının tükettiği güç diğer terimlere kıyasla çok daha az olduğu için ihmal edilmiştir [6, 7, 29].

$$COP_{ASS} = \frac{\dot{Q}_{buh}}{\dot{Q}_{gen} + \dot{W}_{pompa}} \approx \frac{\dot{Q}_{buh}}{\dot{Q}_{gen}} \quad (48)$$

GEASS'nin etkinlik katsayısı, elde edilen soğutma yükünün kolektörün üzerine gelen güneş enerjisine oranı olup Eşitlik 49 ile hesaplanmıştır. [4, 6, 7, 29].

$$COP_{GEASS} = \frac{\dot{Q}_{buh}}{G_b A_a} \quad (49)$$

ASS'de buharlaştırıcıdaki ekserji çıkışı ve generatörde giren ekserji sırasıyla Eşitlik 50 ve 51 ile gösterilmiştir [4, 5, 28, 29].

$$\dot{X}_{buh} = \dot{Q}_{buh} \left(\frac{T_a}{T_{buh}} - 1 \right) \quad (50)$$

$$\dot{X}_{gen} = \dot{Q}_{gen} \left(1 - \frac{T_a}{T_{gen}} \right) \quad (51)$$

ASS'nin ve GEASS'nin ekserji verimi sırasıyla Eşitlik 52 ve 53 ile verilmiştir [4, 5, 6, 28, 29].

$$\eta_{eks,ASS} = \frac{\dot{X}_{buh}}{\dot{X}_{gen}} \quad (52)$$

$$\eta_{eks,GEASS} = \frac{\dot{X}_{buh}}{\dot{X}_{gün}} \quad (53)$$

İncelenen sisteme ait tasarım parametreleri Tablo 4'de verilmiştir.

4. Matematiksel Modelin Doğrulanması

GEASS için yapılan matematiksel modelin doğruluğu literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılarak kanıtlanmıştır. İlk olarak POTK için oluşturulan matematiksel modelin doğruluğu incelenmiştir. Bunun için POTK için oluşturulan matematiksel modelden elde edilen sonuçlar Sandia Ulusal Laboratuvarı (Sandia National Laboratory) deneysel sonuçları ile karşılaştırılmıştır [31]. Tablo 5'de bu değerlerin karşılaştırılması

görülmektedir. Isı transfer akışkanının çıkış sıcaklığına ve kolektörün ısı verimine göre deneysel ve model sonuçlarının karşılaştırılması sonucu elde edilen en yüksek bağıl hatalar sırasıyla %0,65 ve %7,65 olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde tüm deneylere dikkate alındığında ortalama bağıl hatalar sırasıyla %0,35 ve %6,10 olarak hesaplanmıştır. Bağıl hata oranlarının düşük çıkması POTK için oluşturulan modelin geçerliliğini doğrulamaktadır.

Tablo 4. İncelenen sisteme ait sabit parametreler.**Table 4.** Fixed parameters of the system under-examined.

Parametre	Değer
Çevre hava sıcaklığı (T_a)	25 °C
Güneş ışınımı (G_b)	800 W/mK
Rüzgar Hızı (V_{hava})	1 m/s
Silindirik alıcı dış çapı ($D_{r,o}$)	0,07 m
Silindirik alıcı iç çapı ($D_{r,i}$)	0,066 m
Silindirik alıcının ısı iletim katsayısı (k_r)	54 W/mK
Silindirik alıcının yutma oranı (α_r)	0,96
Cam örtü dış çapı ($D_{c,o}$)	0,115 m
Cam örtü iç çapı ($D_{c,i}$)	0,109 m
Camın örtünün ısı iletim katsayısı (k_c)	1,2 W/mK
Cam örtünün yayma katsayısı (ϵ_c)	0,88
Camın örtünün geçirgenliği (τ_c)	0,95
POTK açıklık alanı	5x7,8 m ²
Isıl enerji depolama tank hacmi (V)	3,5 m ³
Çözelti ısı değiştirici verimi (η_{td})	0,60
Yoğusturucu sıcaklığı ($T_{yoğ}$)	40 °C

Tablo 5. POTK için oluşturulan matematiksel modelin literatürde verilen deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması [31].**Table 5.** Comparison of the mathematical model created for PTC with the experimental results from the literature [31].

D deney No	Işınım (W/m ²)	Rüzgar Hızı (m/s)	Çevre Sıcaklığı (°C)	Debi (L/d)	Syltherm 800 Giriş Sıcaklığı (°C)	Syltherm 800 Çıkış Sıcaklığı (°C)		Çıkış Sıcaklığı Bağlı Hata (%)	Isıl Verim (%)		Isıl Verim Bağlı Hata (%)
						D deney	M model		D deney	M model	
1	933,7	2,6	21,2	47,7	102,2	124,0	124,8	0,65	72,51	76,25	5,16
2	968,2	3,7	22,4	47,8	151,0	173,3	174,4	0,63	70,90	75,71	6,78
3	982,3	2,5	24,3	49,1	197,5	219,5	220,6	0,50	70,17	74,96	6,83
4	909,5	3,3	26,2	54,7	250,7	269,4	270,0	0,22	70,25	73,65	4,84
5	937,9	1,0	28,8	55,5	297,8	316,9	317,6	0,22	67,98	72,01	5,93
6	880,6	2,9	27,5	55,6	299,0	317,2	317,5	0,09	68,92	71,72	4,06
7	920,9	2,6	29,5	56,8	379,5	398,0	399,0	0,25	62,34	67,11	7,65
8	903,2	4,2	31,1	56,3	355,9	374,0	375,0	0,27	63,82	68,62	7,52

ASS için oluşturulan matematiksel modelin doğruluğu Herold ve ark. [32] tarafından verilen sonuçlar ile karşılaştırılarak incelenmiştir. ASS için matematiksel modelden elde edilen sonuçlar ile literatürden elde edilen sonuçların karşılaştırılması Tablo 6'da görülmektedir. Bu tabloda görüldüğü üzere yapılan karşılaştırma sonucu absorpsiyonlu soğutma sistemindeki her bir bileşen için yapılan hesaplamalarda en yüksek bağlı hata %2,62, sistemin etkinlik katsayısının hesaplanmasında ortaya çıkan bağlı hata ise %1,72 olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar için ortaya çıkan bağlı hataların kabul edilebilecek düzeyde olması ASS için oluşturulan matematiksel modelin doğruluğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 6. ASS için oluşturulan matematiksel modelin literatürde verilen model sonuçları ile karşılaştırılması [32].**Table 6.** Comparison of the mathematical model created for ACS with the model results from the literature [32].

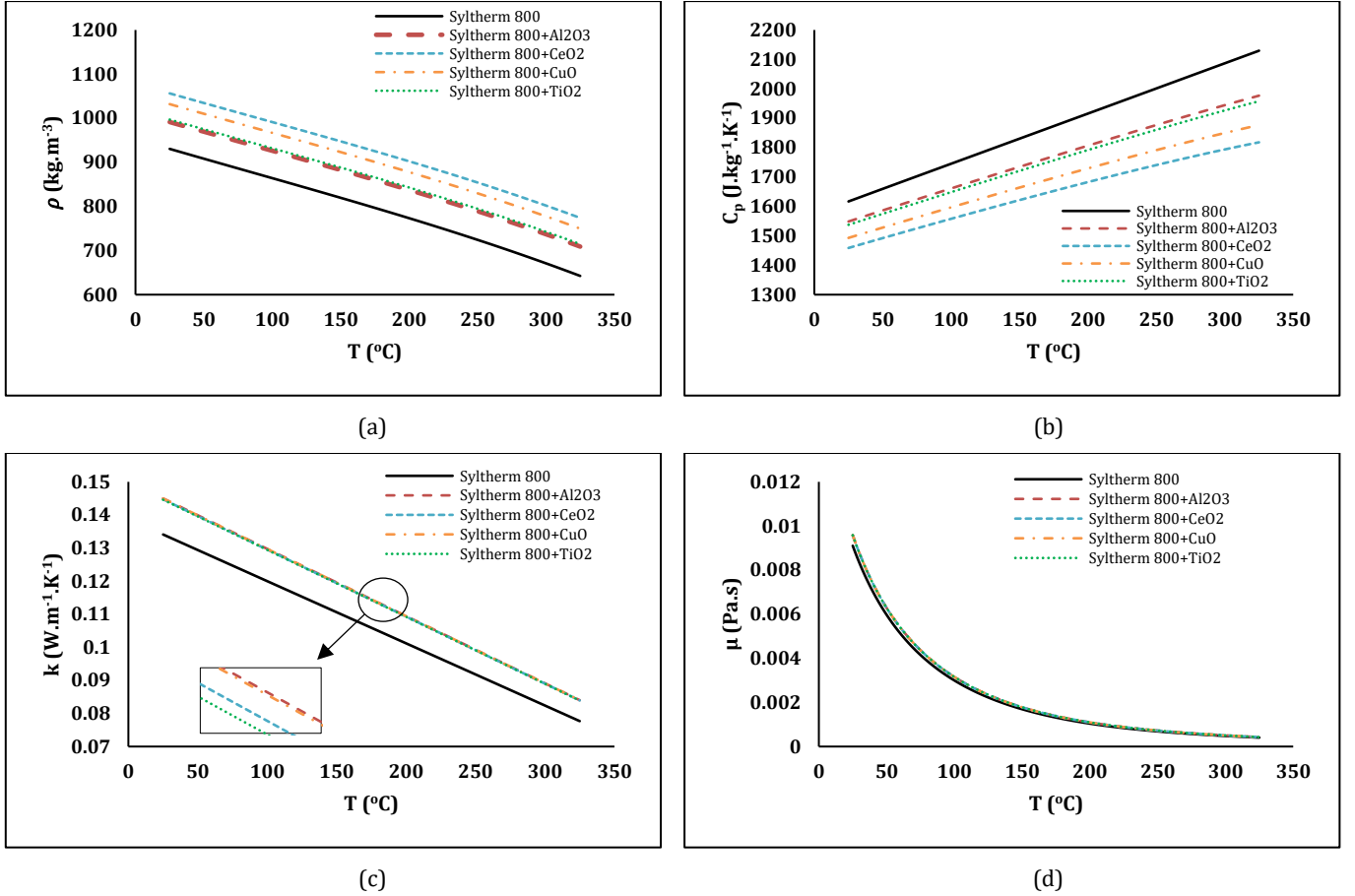
Parametre	Referans Model [32]	Önerilen model	Bağlı Hata (%)
\dot{Q}_{abs} (kW)	583,6	583,8	0,03
\dot{Q}_{gen} (kW)	604,9	617,2	2,03
\dot{Q}_{buh} (kW)	493,1	494,4	0,26
$\dot{Q}_{yoğ}$ (kW)	514,3	527,8	2,62
\dot{Q}_{id} (kW)	66,7	65,9	1,20
COP	0,815	0,801	1,72

5. Bulgular

Çalışma kapsamında incelenen GEASS'de POTK'den ısıl enerji elde edebilmek için ısı transfer akışkanı olarak nanoakışkan kullanılmıştır. Temel akışkan olarak seçilen Syltherm 800'e farklı nanopartiküllerin (Al₂O₃, CeO₂, CuO, TiO₂) eklenmesi ile ısı transfer akışkanı olarak kullanılan nanoakışkanlar oluşturulmuştur. Nanoakışkanlar ile temel akışkan Syltherm 800'ün termofiziksel özelliklerinin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 2'de görülmektedir. Bu şekilde, sıcaklığa bağlı olarak değişimi görülen nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin hesaplanmasında ve çalışma kapsamında gerçekleştirilen tüm analizlerde nanoakışkanlara ait hacimsel oran %2 olarak alınmıştır. Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri ile temel ısı transfer akışkanının termofiziksel özellikleri karşılaştırıldığında nanoakışkanların temel ısı transfer akışkanına göre daha yüksek

yoğunluk, ısı iletim katsayısı ve dinamik viskozite değerlerine sahip olmasına rağmen daha düşük özgül ısı değerlerine sahip olduğu görülmektedir. En yüksek yoğunluğa ve en düşük özgül ısı değerine Syltherm800+CeO₂ nanoakışkan sahipken, en yüksek ısı iletim katsayısına Syltherm 800+Al₂O₃ sahiptir. Yapılan bu tespitler Al-Oran ve ark. [20] tarafından yapılan çalışma ile benzerlik göstermektedir. Nanoakışkanlara ait dinamik viskozite değerlerinin hesaplandığı Eşitlik 20'ye bakacak olursak eşitliğin sadece temel akışkanın dinamik viskozite değerine ve temel akışkana eklenen nanopartikülün hacimsel oranına bağlı olduğu görülecektir. Bu nedenle aynı hacimsel orana sahip incelenen nanoakışkanların hesaplanan dinamik viskozite değerleri aynı olmaktadır.

Şekil 3'de POTK'ye giren ısı transfer akışkanının hacimsel debi değerinin 0,002 ile 0,006 m³/s arasındaki değişiminin POTK'nin ve GEASS'nin performansına etkisi görülmektedir. Yapılan bu analizlerde ısı transfer akışkanlarının kolektöre giriş sıcaklığı ve buharlaştırıcı sıcaklığı sırasıyla 100 °C ve 5 °C olarak sabit tutulmuştur. Akışkanın hacimsel debi değeri her bir adımda 0,0001 m³/s arttırılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Akışkanın hacimsel debi değerinin arttırılması Reynolds sayısını arttırmakta ve buna bağlı olarak ısı taşınım katsayısını arttırdığı için POTK'de akışkan tarafından elde edilen yararlı ısı artmaktadır. Yararlı ısının artışında POTK veriminin artmasını sağlamaktadır. Bunun yanında, akışkanın hacimsel debi değerindeki artış POTK'deki ekserji yıkımını arttırmakta ve buna bağlı olarak POTK'den elde edilen ekserji azaldığı için kolektörün ekserji veriminin düşmesine neden olmaktadır. POTK'deki akışkan debisinin arttırılmasının diğer bir sonucu akışkanın POTK'den çıkış sıcaklığının azalmasına sebebiyet vermektedir. Sistemin sürekli koşullarda çalıştığı durumda kolektörden çıkan akışkanın sıcaklığının azalması tank içerisinde bulunan akışkanın sıcaklığının azalmasına ve buna bağlı olarakda generatör sıcaklığının düşmesine neden olmaktadır. Generatör sıcaklığının düşmesi ise buharlaştırıcıdan elde edilen soğutma yükünün azalmasına ve böylece GEASS'nin COP değerinin düşmesine neden olmaktadır. Ayrıca soğutma yükünün azalması buharlaştırıcıdan ekserji çıkışının azalmasına ve buna bağlı olarak GEASS'nin ekserji veriminin düşmesine neden olmaktadır. Isı transfer akışkanı olarak temel akışkan Syltherm 800'ün kullanıldığı durumda hacimsel debi değerinin 0,002 m³/s'den 0,006 m³/s'ye yükseltilmesi kolektörün ısıl verimini %0,29 oranında arttırmakta, kolektörün ekserji verimini %2,31 oranında azaltmakta ve GEASS'nin COP ve ekserji değerlerini %1,12 oranında olmak üzere aynı değerde azaltmaktadır.



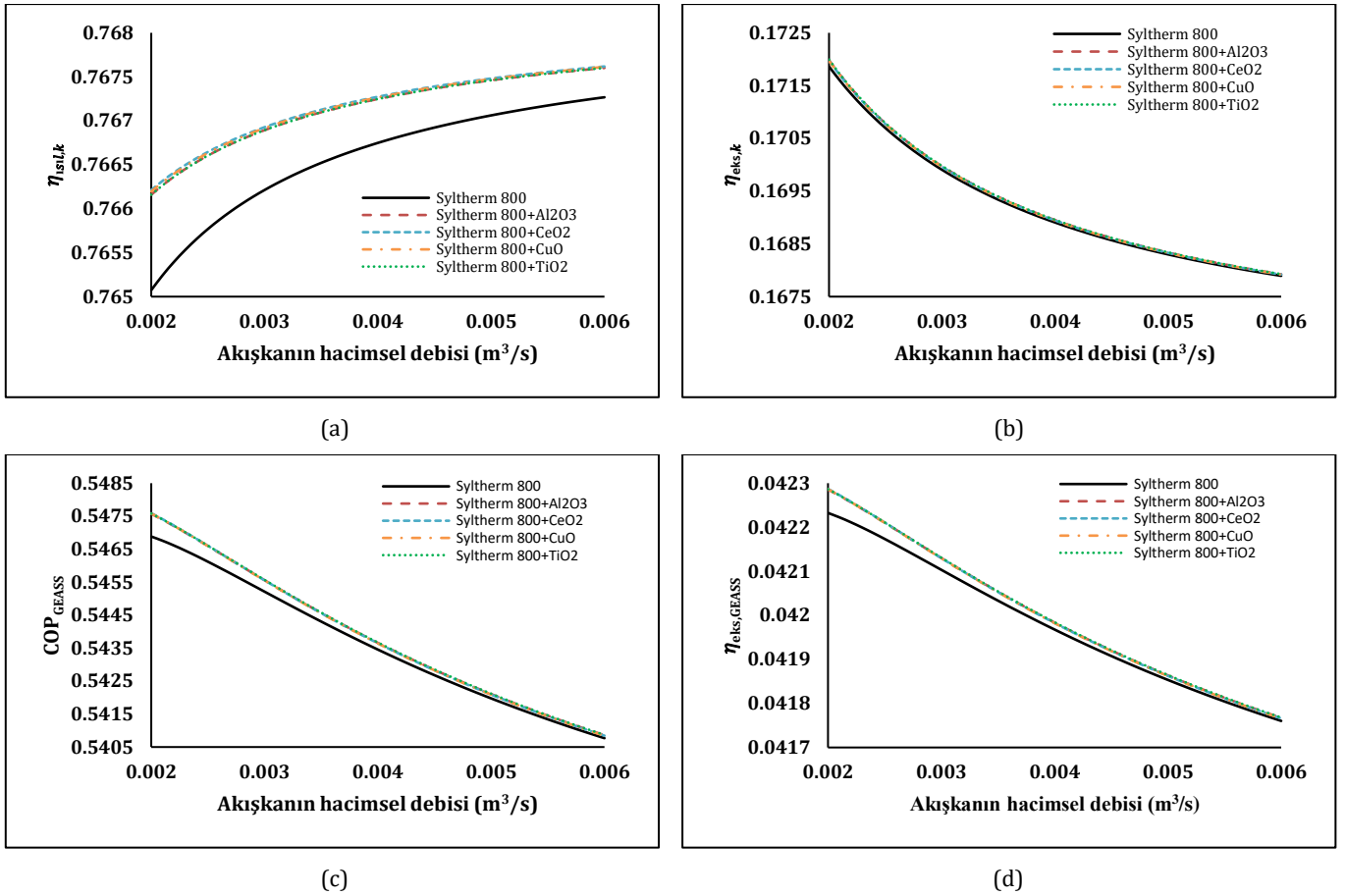
Şekil 2. Temel akışkanın ve nanoakışkanların a) yoğunluklarının, b) özgül ısılarının c) ısı iletim katsayılarının ve d) dinamik viskozitelerinin sıcaklığa bağlı olarak değişimi.

Figure 2. Changes in a) densities, b) specific heats, c) thermal conductivities and d) dynamic viscosities of the basic fluid and nanofluids depending on temperature.

POTK'ye giren akışkanın hacimsel debisinin artırıldığı durumda yapılan analizlerde kolektörde temel akışkan Syltherm 800'ün yerine nanoakışkan kullanıldığı durumda kolektörün ısı verimi, ekserji verimi, GEASS'nin COP değeri ve ekserji veriminde artış olduğu belirlenmiştir. Şekil 4'de görüldüğü üzere, hacimsel debi değerinin artırıldığı durumda yapılan analizlerde kolektör verimi ile GEASS'nin COP değeri ve ekserji verimindeki en yüksek artış ısı transfer akışkanı olarak Syltherm 800+CeO₂ nanoakışkanın kullanıldığı durumda, kolektörün ekserji verimindeki en yüksek artış ise Syltherm 800+TiO₂ nanoakışkanın kullanıldığı durumda olduğu belirlenmiştir. Hacimsel debi değerinin artırıldığı durumdaki analizlerin tümü dikkate alındığında kolektörde temel akışkan Syltherm 800 yerine ısı transfer akışkanı olarak Syltherm 800+CeO₂ nanoakışkan kullanılmasının kolektör verimini %0,15'e, GEASS'nin COP değerini ve ekserji verimini aynı oranda olmak üzere %0,13'e kadar arttırdığı ve Syltherm 800+TiO₂ nanoakışkan olarak kullanılmasının ise kolektör ekserji verimini %0,08'e kadar arttırdığı hesaplanmıştır.

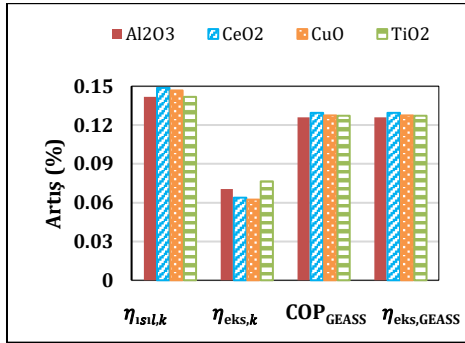
POTK'ye giren akışkanın giriş sıcaklığının değişiminin kolektör ve sistem performansına etkisi incelenmiştir. LiBr-su çözeltisi ile çalışan ASS'nin ve LiBr-su çözeltisinin termodinamik özelliklerini belirlemek için kullanılan eşitliklerin çalışma aralıkları dikkate alınarak akışkanın kolektöre giriş sıcaklığının 95 °C ile 115 °C aralığında değiştiği durum incelenmiştir. Akışkanın kolektöre giriş sıcaklığı her bir adımda 0,2 °C artırılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu analizlerde akışkanın kolektöre giriş hacimsel debisi 0,0025 m³/s ve buharlaştırıcı sıcaklığı 5

°C'de sabit tutulmuştur. Şekil 5'de POTK'ye giren akışkan sıcaklığının değişimine bağlı olarak POTK ısı veriminin, POTK ekserji veriminin, GEASS'nin COP değerinin ve ekserji veriminin değişimi görülmektedir. POTK'ye giren akışkan sıcaklığının artırılması kolektörden olan ısı kayıplarının artmasına ve buna bağlı olarak kolektörden elde edilen yararlı ısının azalmasına sebebiyet vermektedir. POTK'den elde edilen yararlı ısının azalması ise kolektör ısı verimini azaltmaktadır. POTK'ye giren akışkan sıcaklığının artmasının diğer bir sonucu kolektörden elde edilen ekserjinin artması ve buna bağlı olarak kolektörün ekserji veriminin artmasıdır. Ayrıca POTK'ye giren akışkan sıcaklığının artırılması akışkanın POTK'den çıkış sıcaklığının artmasına sebebiyet vermektedir. Sistem sürekli koşullarda çalıştığı durumda POTK'den çıkan akışkanın sıcaklığının artması tank içerisinde bulunan akışkanın sıcaklığının artmasına ve buna bağlı olarak da generatör sıcaklığının artmasına sebebiyet vermektedir. Generatör sıcaklığının artması ise buharlaştırıcıdan elde edilen soğutma yükünün artmasını ve böylece GEASS'nin COP değerinin artmasını sağlamaktadır. Ayrıca soğutma yükünün artması buharlaştırıcıdan ekserji çıkışının artmasını ve buna bağlı olarak GEASS'nin ekserji veriminin artmasını sağlamaktadır. Isı transfer akışkanı olarak saf haldeki Syltherm 800'ün kullanıldığı durumda kolektöre giren akışkan sıcaklığının 95 °C'den 115 °C'ye yükseltilmesi kolektörün ısı verimini %0,20 oranında azaltmakta, kolektörün ekserji verimini %20,61 oranında arttırmakta ve GEASS'nin COP değeri ile ekserji verimini aynı miktarda olmak üzere %23,13 oranında arttırmaktadır.



Şekil 3. Temel akışkanın ve nanoakışkanların hacimsel debi değerlerinin değişiminin a) kolektörün ısı verimine, b) kolektörün ekserji verimine, c) GEASS'nin COP değerine ve d) GEASS'nin ekserji verimine etkisi.

Figure 3. The effect of changing the volumetric flow rates of the basic fluid and nanofluids on a) thermal efficiency of the collector, b) exergy efficiency of the collector, c) COP of SACS, and d) exergy efficiency of SACS.



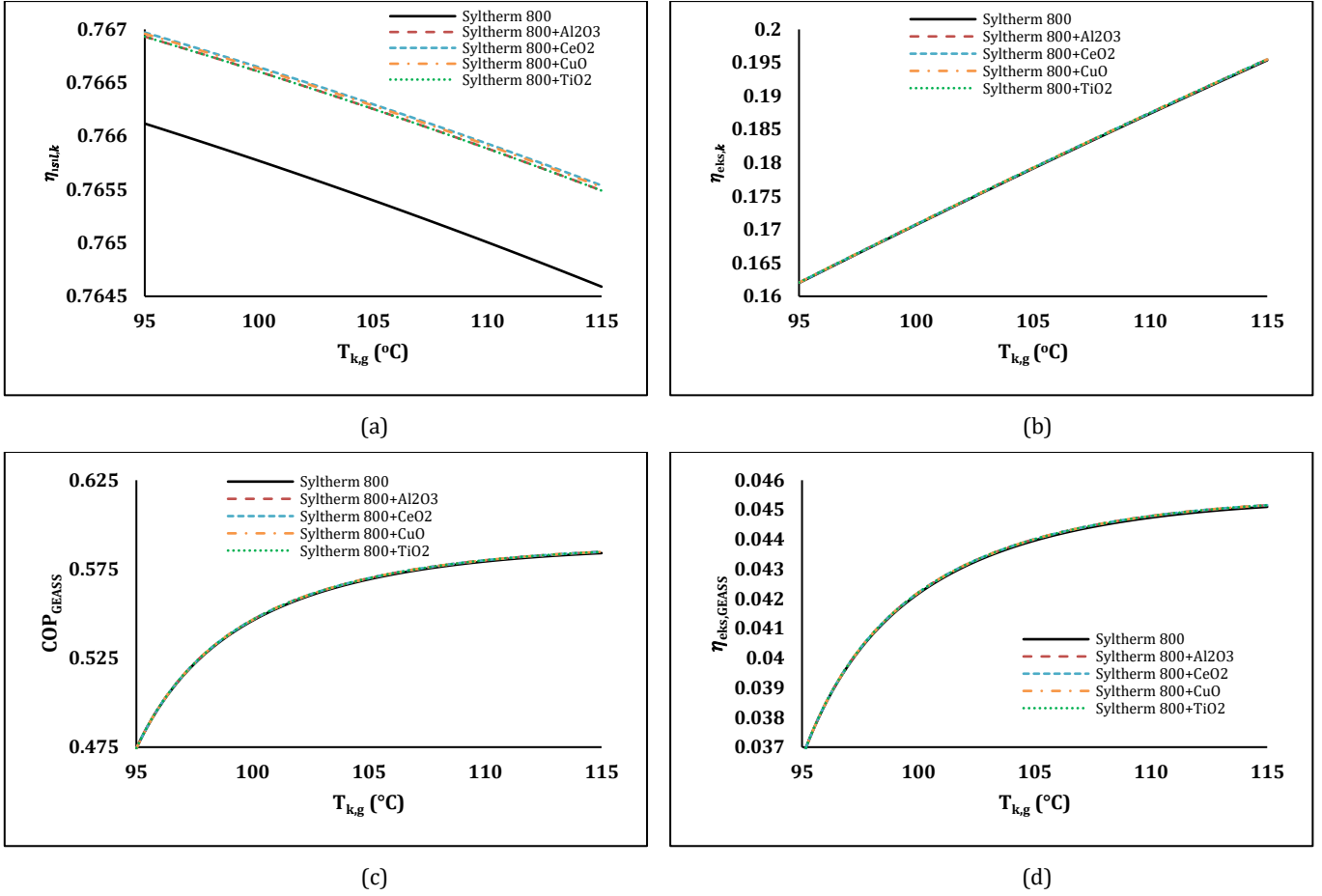
Şekil 4. Hacimsel debi değerinin 0,002-0,006 m^3/s aralığında değiştirildiği durum için yapılan analizlerde temel akışkan Syltherm 800'ün yerine nanoakışkan kullanımının sistem verimlilik değerlerine etkisi.

Figure 4. The effect of using nanofluid instead of the basic fluid Syltherm 800 on the system efficiency values in the analyses made for the case where the volumetric flow rate is changed between 0.002-0.006 m^3/s .

POTK'ye giren akışkan sıcaklığının artırıldığı durumda yapılan analizlerde kolektörde temel akışkan Syltherm 800'ün yerine nanoakışkan kullanıldığı durumda kolektörün ısı verimi, ekserji verimi, GEASS'nin COP değeri ve ekserji veriminde artış olduğu belirlenmiştir. Şekil 6'da görüldüğü üzere, kolektöre giren akışkan sıcaklığının artırıldığı durumda yapılan analizlerde kolektör verimi ile GEASS'nin COP değeri ve ekserji

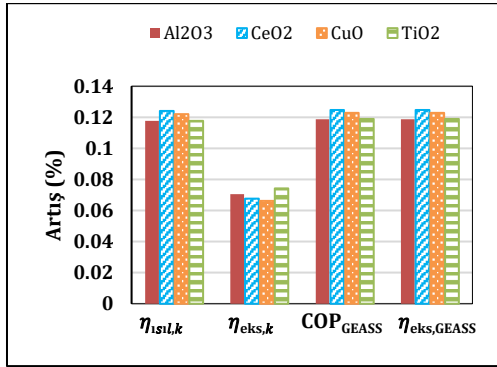
verimlerindeki en yüksek artış ısı transfer akışkanı olarak Syltherm 800+CeO₂ nanoakışkanın kullanıldığı durumda, kolektörün ekserji verimindeki en yüksek artış ise Syltherm 800+TiO₂ nanoakışkanın kullanıldığı durumda olduğu belirlenmiştir. Akışkan sıcaklığının artırıldığı durumdaki analizlerin tümü dikkate alındığında kolektörde ısı transfer akışkanı olarak Syltherm 800+CeO₂ nanoakışkan kullanılması kolektör verimi ile GEASS'nin COP değeri ve ekserji verimini %0,12'ye kadar arttırdığı ve Syltherm 800+TiO₂ nanoakışkan olarak kullanılmasının ise kolektör ekserji verimini %0,07'e kadar arttırdığı hesaplanmıştır.

Buharlaştırıcı sıcaklığının GEASS'nin COP değeri ve ekserji verimine olan etkisi de incelenmiştir. Yapılan analizlerde buharlaştırıcı sıcaklığının 2 °C ile 12 °C arasındaki değişiminin GEASS'nin COP değerine ve ekserji verimine olan etkisi incelenmiştir. Analizler gerçekleştirilirken buharlaştırıcı sıcaklığı her bir adımda 0,1 °C artırılmış, kolektöre giren akışkanın hacimsel debi değeri ve sıcaklığı sırasıyla 0,0025 m^3/s ve 100 °C'de sabit tutulmuştur. Buharlaştırıcı sıcaklığının artması ile soğutulmak istenen ortamdan çekilen ısı artmakta, fakat aynı zamanda buharlaştırıcıdan ekserji çıkışı azalmaktadır. Bu sebeplerden dolayı Şekil 7'de görüleceği üzere buharlaştırıcı sıcaklığının artırılması ile GEASS'nin COP değeri artarken ekserji verimi azalmaktadır. Yapılan analizler sonucunda ısı transfer akışkanı olarak temel akışkan Syltherm 800'ün kullanıldığı durumda buharlaştırıcı sıcaklığının 2 °C'den 12 °C'ye yükseltilmesi GEASS'nin COP değerini %25,75 oranında arttırırken, ekserji verimini %31,42 oranında azaltmıştır.



Şekil 5. Temel akışkanın ve nanoakışkanların POTK'ye giriş sıcaklığı değişiminin a) kolektörün ısı verimine, b) kolektörün ekserji verimine, c) GEASS'nin COP değerine ve d) GEASS'nin ekserji verimine etkisi.

Figure 5. Effect of the change in the inlet temperature of the base fluid and nanofluids to the PTC on a) thermal efficiency of the collector, b) exergy efficiency of the collector, c) COP of SACS, and d) exergy efficiency of SACS.



Şekil 6. Kolektöre giren akışkan sıcaklığının 95-115 °C aralığında değiştirildiği durum için yapılan analizlerde temel akışkan Syltherm 800'ün yerine nanoakışkan kullanımının sistem verimlilik değerlerine etkisi.

Figure 6. The effect of using nanofluid instead of the basic fluid Syltherm 800 on the system efficiency values in the analyses made for the situation where the temperature of the fluid inlet the collector is changed between 95-115 °C.

Buharlaştırıcı sıcaklığının değiştirildiği durumda yapılan analizlerde kolektörde ısı transfer akışkanı olarak temel akışkan Syltherm 800'ün yerine nanoakışkan kullanıldığı durumda GEASS'nin COP değeri ve ekserji veriminde artış olduğu belirlenmiştir. Şekil 8'de görüldüğü üzere, buharlaştırıcı

sıcaklığının artırıldığı durumda yapılan analizlerde GEASS'nin COP değeri ile ekserji verimindeki en yüksek artış kolektörde temel akışkan Syltherm 800'ün yerine ısı transfer akışkanı olarak Syltherm 800+CeO₂ nanoakışkan kullanıldığı durumda olmaktadır. Buharlaştırıcı sıcaklığının değiştirildiği durumdaki analizlerin tümü dikkate alındığında temel akışkan Syltherm 800'ün yerine ısı transfer akışkanı olarak Syltherm 800+CeO₂ nanoakışkanın kullanılmasının GEASS'nin COP değeri ile ekserji verimini aynı miktarda olmak üzere %0,11'e kadar arttırdığı hesaplanmıştır.

6. Sonuç

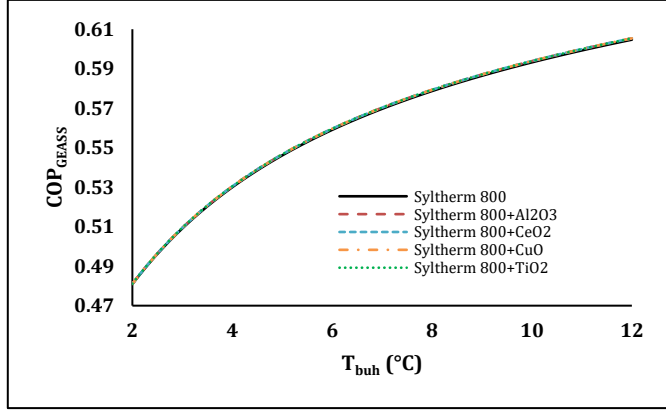
Bu çalışmada incelenen GEASS'de yer alan ve güneş enerjisinden ısı enerji elde etmek için kullanılan POTK'de ısı transfer akışkanı olarak nanoakışkan kullanılmasının sistem verimlilik değerlerine etkisi incelenmiştir. İncelenen nanoakışkanlar, temel akışkan Syltherm 800'e %2 hacimsel oranda farklı nanopartiküllerin (Al₂O₃, CeO₂, CuO, TiO₂) eklenmesi ile oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında, kolektöre giren akışkan sıcaklığı ile hacimsel debisinin ve buharlaştırıcı sıcaklığının değişiminin POTK'nin ısı ve ekserji verimi ile GEASS'nin COP değeri ile ekserji verimine olan etkisi araştırılmıştır.

Yapılan tüm analizler dikkate alındığında POTK'de temel akışkan Syltherm 800 yerine nanoakışkan kullanıldığı durumda POTK'nin ısı ve ekserji verimi ile GEASS'nin COP değeri ve ekserji veriminde artış olduğu belirlenmiştir. POTK'de temel akışkan Syltherm 800'ün yerine, incelenen nanoakışkanlar içerisinde

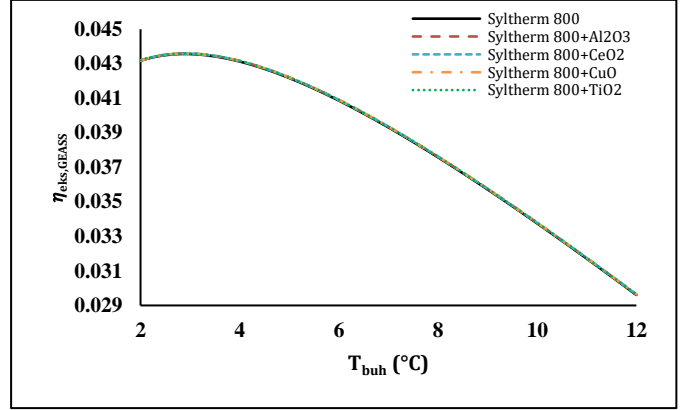
Syltherm 800+CeO₂ nanoakışkanın kullanılması durumunda kolektör veriminde %0,15, GEASS'nin COP değeri ve ekserji veriminde ise aynı miktarda olmak üzere %0,13'lük en yüksek artış oranları olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca POTK'nin ekserji veriminde en yüksek artış oranı Syltherm 800+TiO₂ nanoakışkanının kullanıldığı durumda ve %0,08 oranında olduğu hesaplanmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının son derece önemli olması nedeniyle gelecekte yapılacak çalışmalarda, güneş enerjili sistemlerin geliştirilmesi ve bu sistemlerin verimlerinin

arttırılmasına yönelik çözümlerin araştırılması önem arz etmektedir. Özellikle soğutma ihtiyacı ile güneş enerjisinin en fazla olduğu yaz aylarında çalışacak ve bu çalışmada incelenen GEASS gibi soğutma ihtiyacını güneş enerjisinden sağlayacak sistemlerin ve verimliliklerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmalıdır. Bu kapsamda kolektörde ısı transfer akışkanı olarak kullanılan temel akışkan yerine kolektörden elde edilen yararlı ısıyı arttırarak hem kolektörün ısı verimini hem de ekserji verimini arttıracak nanoakışkanların ve hibrit akışkanların araştırılmasına devam edilmelidir.



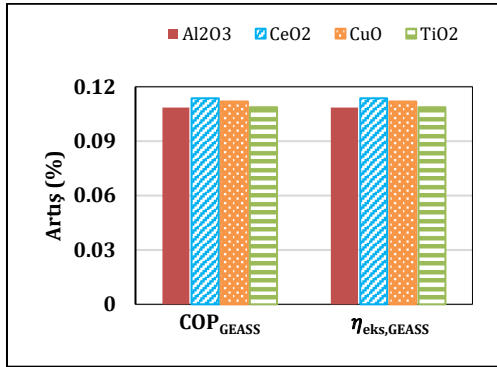
(a)



(b)

Şekil 7. Buharlaştırıcı sıcaklığı değişiminin a) GEASS'nin COP değerine ve d) GEASS'nin ekserji verimine etkisi.

Figure 7. Effect of evaporator temperature change on a) COP of SACS and d) exergy efficiency of SACS.



Şekil 8. Buharlaştırıcı sıcaklığının 2-12 °C aralığında değiştirildiği durum için yapılan analizlerde temel akışkan Syltherm 800'ün yerine nanoakışkan kullanımının sistem verimlilik değerlerine etkisi.

Figure 8. The effect of using nanofluid instead of the base fluid Syltherm 800 on the system efficiency values in the analyses made for the situation where the evaporator temperature is changed between 2-12 °C.

Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur. Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Semboller ve Kısaltmalar

A_a	Yansıtıcı yüzey açıklık alanı [m ²]
A_r	Silindirik alıcı yüzey alanı [m ²]
A_t	Tankın yüzey alanı [m ²]
ASS	Absorpsiyonlu soğutma sistemi
c_p	Sabit basınçta özgül ısı kapasitesi [J/kgK]
D	Çap [m]
F'	Kolektör verim faktörü [-]

F''	Kolektör akış faktörü [-]
F_R	Isı kazanım faktörü [-]
G_b	Anlık direkt güneş ışınımı [W/m ²]
GEASS	Güneş enerjili absorpsiyonlu soğutma sistemi
h	Isı taşınım katsayısı [W/m ² K], Entalpi [J/kg]
k	Isı iletim katsayısı [W/mK]
k_{eff}	Etkin ısı iletim katsayısı [W/mK]
$K(\theta)$	Geliş açısı düzeltme çarpanı [-]
L	Uzunluk [m]
\dot{m}	Kütleli debi [kg/s]
Nu	Nusselt sayısı [-]
Pr	Prandtl sayısı [-]
POTK	Parabolik oluk tipi kolektör
\dot{Q}	Isı [W]
\dot{Q}_u	Yararlı ısı [W]
Re	Reynolds sayısı [-]
S	Yutulmuş ışınım akısı [W/m ²]
T	Sıcaklık [K]
U_L	Isı kayıp katsayısı [W/m ² K]
\dot{W}_p	Pompa gücü [W]
\dot{X}	Ekserji akışı [W]

Yunan Harfleri

α	Yutma oranı [-]
ε	Yüzey yayma oranı [-]
$\eta_{ısıl}$	Isıl verim [%]
η_{eks}	Ekserji Verimi [%]
μ	Dinamik viskozite [Pa.s]
ρ	Yoğunluk [kg/m ³]
σ	Stefan-Boltzmann sabiti [W/m ² K ⁴]
τ	Geçirgenlik oranı [-]
\emptyset	Nanopartikül hacimsel oranı [-]

Alt İndisler

a	Çevre
abs	Absorber

buh Buharlaştırıcı
 c Cam örtü
 ç Çıkış
 f Temel akışkan
 g Giriş
 gen Generatör
 gün Güneş
 id Isı değiştirici
 i İç
 k Kolektör
 nf Nanoakışkan
 np Nanopartikül
 o Dış
 r Silindirik alıcı
 t Tank
 yoğ Yoğuşturucu

Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur.

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- [1] Hamada, M.A., Khalil, H., Al-Sood, M.M.A., Sharshir, S.W. 2023. An experimental investigation of nanofluid, nanocoating, and energy storage materials on the performance of parabolic trough collector, *Applied Thermal Engineering*, Cilt. 219, 119450. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2022.119450
- [2] Zafar, M.F., Ali, M., Akhter, J., Kaleem, M., Sheikh, N.A. 2022. Characterization and performance investigation of metallic oxides based nanofluids in compound parabolic concentrating solar collector, *Sustainable Energy Technologies and Assessments* Cilt. 54, 102786. DOI: 10.1016/j.seta.2022.102786
- [3] Mazloumi, M., Naghashzadegan, M., Javaherdeh, K. 2008. Simulation of solar lithium bromide-water absorption cooling system with parabolic trough collector, *Energy Conversion and Management*, Cilt. 49,s.2820–2832. DOI:10.1016/j.enconman.2008.03.014
- [4] Bellos, E., Tzivanidis, C., Pavlovic, S., Stefanovic, V. 2017. Thermodynamic investigation of LiCl-H₂O working pair in a double effect absorption chiller driven by parabolic trough collectors, *Thermal Science and Engineering Progress*, Cilt. 3, s. 75–87. DOI: 10.1016/j.tsep.2017.06.005
- [5] Asadi, J., Amani, P., Amani, M., Kasaeian, A. And Bahiraei, M. 2018. Thermo-economic analysis and multi-objective optimization of absorption cooling system driven by various solar collectors, *Energy Conversion and Management*, Cilt. 173, s. 715–727. DOI: 10.1016/j.enconman.2018.08.013
- [6] Bellos, E., Tzivanidis, C. 2018. Parametric analysis and optimization of a cooling system with ejector-absorption chiller powered by solar parabolic trough collectors, *Energy Conversion and Management*, Cilt. 168,s.329–342. DOI:10.1016/j.enconman.2018.05.024
- [7] Bellos, E., Tzivanidis, C. 2018. Performance analysis and optimization of an absorption chiller driven by nanofluid based solar flat plate collector, *Journal of Cleaner Production*, Cilt. 174, s. 256-272. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.10.313
- [8] Gogoi, T.K., Saikia, S. 2019. Performance analysis of a solar heat driven organic Rankine cycle and absorption cooling system, *Thermal Science and Engineering Progress*, Cilt. 13, 100372. DOI: 10.1016/j.tsep.2019.100372
- [9] Wu, W. Leung, M., Ding, Z., Huang, H., Bai, Y., Deng, L. 2020. Comparative analysis of conventional and low-GWP refrigerants with ionic liquid used for compression-assisted absorption cooling cycles, *Applied Thermal Engineering*, Cilt. 172, 115145. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2020.115145
- [10] Alirahmi, S.M., Dabbagh, S.R., Ahmadi, P., Wongwises, S. 2020. Multi-objective design optimization of a multi-generation energy system based on geothermal and solar energy, *Energy Conversion and Management*, Cilt. 205, 112426. DOI: 10.1016/j.enconman.2019.112426
- [11] Valles, M., Bourouis, M., Boer D. 2020. Solar-driven absorption cycle for space heating and cooling, *Applied Thermal Engineering*, Cilt. 168, 114836. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2019.114836
- [12] Bamisile, O., Huang, Q., Hu W., Dagbasi, M., Kemena, A.D. 2020. Performance analysis of a novel solar PTC integrated system for multi-generation with hydrogen production, *International Journal of Hydrogen Energy*, Cilt. 45, s. 190-206. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2019.10.234
- [13] Abid, M., Khan M.S., Ratlamwala, T.A.H., Malik, M.N., Ali H.M., Cheok, Q. 2021. Thermodynamic analysis and comparison of different absorption cycles driven by evacuated tube solar collector utilizing hybrid nanofluids, *Energy Conversion and Management*, Cilt. 246, 114673. DOI: 10.1016/j.enconman.2021.114673
- [14] Abed, A.M., Majdi, H.S., Sopian K, Ali, F.H., Al-Bahrani, M., Al-Amir, Q.R., Yakoub, A.K. 2022. Techno-Economic Analysis of dual ejectors solar assisted combined absorption cooling cycle, *Case Studies in Thermal Engineering*, Cilt. 39, 102423. DOI: 10.1016/j.csite.2022.102423
- [15] Duffie, J.A., Beckman, W.A., Blair, N. 2020. *Solar Engineering of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind*. 5nd edition. John Wiley and Sons, 905s.
- [16] Kirtepe, E., Yılmaz, R., Özbalt, N., 2019. Parabolik Yoğunlaştırın Toplayıcıların Teorik Modellenmesi ve Farklı Sistem Parametrelerinin Verime Etkisinin İncelenmesi. 22. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 11-14 Eylül, Kocaeli, 781-790.
- [17] FORRİSTALL, R. 2003. Heat Transfer Analysis and Modelling of A Parabolic Trough Solar Receiver Implemented in Engineering Equation Solver. National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-550-34169.
- [18] Lamrani, B., Khouya, A., Zeghamati, B., Draoui, A. 2018. Mathematical modeling and numerical simulation of a parabolic trough collector: A case study in thermal engineering, *Thermal Science and Engineering Progress*, Cilt. 8, s. 47–54. DOI: 10.1016/j.tsep.2018.07.015
- [19] Bellos, E., Tzivanidis, C. 2017. Parametric investigation of nanofluids utilization in parabolic trough collectors, *Thermal Science and Engineering Progress*, Cilt. 2, s. 71–79. DOI: 10.1016/j.tsep.2017.05.001
- [20] Al-Oran, O., Lezsovits, F., Aljawabrah, A. 2020. Exergy and energy amelioration for parabolic trough collector using mono and hybrid nanofluids, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, Cilt. 140, s. 1579–1596. DOI: 10.1007/s10973-020-09371-x
- [21] Bellos, E., Tzivanidis, C. 2018. Thermal analysis of parabolic trough collector operating with mono and hybrid nanofluids, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Cilt. 26, s. 105–115. DOI: 10.1016/j.seta.2017.10.005
- [22] Pak, B.C., Cho, Y.I. 1998. Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles, *Experimental Heat Transfer*, Cilt. 11, s. 151-170, DOI: 10.1080/08916159808946559
- [23] Bellos, E., Tzivanidis, C. 2019. Thermal efficiency enhancement of nanofluid-based parabolic trough collectors, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, Cilt. 135, s. 597–608. DOI: 10.1007/s10973-018-7056-7
- [24] Abubakr, M., Amein, H., Akoush, B.M., El-Bakry M.M., Hassan, M.A. 2020. An intuitive framework for optimizing energetic and exergetic performances of parabolic trough solar collectors operating with nanofluids, *Renewable Energy*, Cilt. 157, s. 130-149. DOI: 10.1016/j.renene.2020.04.160
- [25] Bellos, E., Tzivanidis, C. 2017. Parametric analysis and optimization of an Organic Rankine Cycle with nanofluid based solar parabolic trough collectors, *Renewable Energy*, Cilt. 114, s. 1376-1393. DOI: 10.1016/j.renene.2017.06.055
- [26] Sharafeldin, M.A., Grof, G. 2018. Evacuated tube solar collector performance using CeO₂/water nanofluid, *Journal of Cleaner Production*, Cilt. 185, s. 347-356. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.03.054
- [27] Basbous, N., Taqi, M., Janan, M.A. 2016. Thermal Performances Analysis of a Parabolic Trough Solar Collector Using Different Nanofluids, *International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*, 14-17 Kasım, Marrakech, Morocco. DOI: 10.1109/IRSEC.2016.7984006
- [28] Bellos, E., Tzivanidis, C., Antonopoulos, K.A. 2016. Exergetic, energetic and financial evaluation of a solar driven absorption cooling system with various collector types, *Applied Thermal Engineering*, Cilt. 102, s. 749–759. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2016.04.032
- [29] Bellos, E., Tzivanidis, C., Symeou, C., Antonopoulos, K.A. 2017. Energetic, exergetic and financial evaluation of a solar driven absorption chiller – A dynamic approach, *Energy Conversion and Management*, Cilt. 137, s. 34–48. DOI: 10.1016/j.enconman.2017.01.041
- [30] ASHRAE. 2009 ASHRAE Handbook—Fundamentals (SI Edition). Chapter 30, Thermophysical Properties Of Refrigerants, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- [31] Dudley V.E., Kolb G.J., Mahoney A.R., Mancini T.R., Matthews C.W., Sloan M., Kearney D. 1994. Test Results: SEGS LS-2 Solar Collector, Report of Sandia National Laboratories (SANDIA-94-1884), 140s.
- [32] Herold, K.E., Radermacher, R., Klein, S.A. 2016. *Absorption Chillers and Heat Pumps*, 2nd edition. CRC Press, Taylor & Francis Group, 346s.