



Araştırma Makalesi/Research Article

Termal enerji depolamalı parabolik güneş kolektörünün termodinamik incelenmesi

Pervin Alptekin¹, Reşat Selbaş²

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi., Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Enerji Sistemleri Müh. Anabilim Dalı, 32200, Türkiye

²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 32200, Isparta

Anahtar Kelimeler

Güneş Enerjisi
Enerji Verimliliği
Ekserji verimliliği
Yenilenebilir Enerji Kaynağı
Termal Depolama

Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 03.07.2024
Kabul Tarihi: 25.12.2024

Öz: Günümüzde artan enerji ihtiyacını çevreye zarar vermeden karşılamak için yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi hızla artmaktadır. Bu çalışmada, Isparta ilinde kurulması planlanan bir parabolik güneş kolektörünün (PTC) enerji ve ekserji performansları incelenmiştir. Güneş enerjisinin kesintili yapısını dengelemek amacıyla sisteme bir termal enerji depolama (TES) birimi entegre edilmiştir. Matematiksel modelleme ve termodinamik analizler ile enerji ve ekserji verimlilikleri değerlendirilmiştir. Çalışmada, 2023 yılı Temmuz ayının 23. günü seçilmiş ve bu günde maksimum ışınlam şiddeti 1050 W/m^2 olarak belirlenmiştir. Enerji verimliliği %47.1 ve ekserji verimliliği ise %16.68 olarak hesaplanmıştır. Tank hacminin de en iyi performansı 2 m^3 hacimde gösterdiği ve tank sıcaklığının $135.3 \text{ }^\circ\text{C}$ olduğu tespit edilmiştir. Işınlam şiddetinin enerji verimliliği üzerindeki etkisi grafiklerle desteklenmiş ve önerilen sistemin Isparta ili için uygun bir çözüm sunduğu ortaya konulmuştur.

Atıf için/To Cite:

Alptekin, P. Selbaş, R. Termal enerji depolamalı parabolik güneş kolektörünün termodinamik incelenmesi. Ulusallararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 16(2), 53-61, 2024.

Thermodynamic investigation of parabolic solar collector with thermal energy storage

Keywords

Solar Energy
Energy Efficiency
Exergy Efficiency
Renewable Energy Source
Thermal Storage

Article history:

Received: 03.07.2024
Accepted: 25.12.2024

Abstract: Nowadays, the interest in renewable energy sources is rapidly increasing in order to meet the increasing energy demand without harming the environment. In this study, the energy and exergy performances of a parabolic solar collector (PTC) planned to be installed in Isparta province are investigated. A thermal energy storage (TES) unit is integrated into the system to compensate for the intermittent nature of solar energy. Energy and exergy efficiencies are evaluated by mathematical modeling and thermodynamic analysis. In the study, the 23rd day of July, 2023 was selected and the maximum irradiance on this day was determined as 1050 W/m^2 . Energy efficiency was calculated as 47.1% and exergy efficiency as 16.68%. It was also found that the tank volume showed the best performance at a volume of 2 m^3 and the tank temperature was $135.3 \text{ }^\circ\text{C}$. The effect of radiation intensity on energy efficiency is supported with graphs and it is shown that the proposed system offers a suitable solution for Isparta province.

1. Giriş

Ülkelerin gelişmesiyle birlikte insanların enerjiye olan ihtiyacı sürekli olarak artmaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde bu ihtiyaç daha fazladır. Öte yandan, bu ihtiyaç karşılamak için fosil yakıtların kullanılması

zorlukları da beraberinde getirmektedir [1]. Fosil yakıt rezervleri sınırlıdır ve bu kaynakların yakılması küresel ısınma gibi çeşitli çevresel sorunlara yol açmaktadır [2].

Enerjinin ekonomik büyüme, kamu politikası, ulusal güvenlik ve devlet gelirleri gibi çeşitli hususlar

* İlgili yazar/Corresponding author: prvnalptekin@gmail.com

üzerindeki tartışmasız etkisi iyi bilinmektedir [3]. Günümüzde, Dünyadaki enerji üretiminin önemli bir kısmı fosil yakıtlardan kaynaklanmaktadır ve bu en ideal senaryo değildir. Bu durum, küresel ısınmayı sanayi öncesi döneme kıyasla 2 °C 'nin altında bir seviyede sınırlama hedefini öngören Paris İklim Anlaşması ile birlikte sıcaklık artışını aynı ölçütün üzerinde 1.5 °C ile daha da sınırlamaya odaklanır [4]. Fosil kaynaklar tükenmekte ve tüketimden kaynaklanan karbon emisyonları da eş zamanlı olarak artmaktadır. Bu nedenle, birçok ülke sürdürülebilir bir alternatif olarak yenilenebilir enerjiyi giderek daha fazla ilgi göstermektedir. En umut verici temiz enerji kaynaklarından biri, emisyonu olmayan sınırsız bir kaynak olan güneş enerjisidir [4]. Yenilenebilir enerji kaynaklarının birçok çeşidi vardır. Ancak güneş enerjisi en çok kullanılır çünkü bulunması kolaydır ve çevre üzerinde en az etkiye sahiptir [5].

Güneş enerjisi, güneş PV ve güneş termal olmak üzere iki teknolojiye ayrılmaktadır. Birincisi önemli ölçüde ilgi çekmesine rağmen ikincisinin yaygınlaşmasında kayda değer bir artış olmuştur [4]. Yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş enerjisi, kullanım ömrü boyunca enerji sağlama potansiyeline sahiptir. Güneş enerjisi teknolojilerinden bir olan parabolik güneş kolektörleri, yüksek sıcaklıklara ulaşarak sıcak su ve elektrik üretebilir. Parabolik oluklu güneş kolektörlerini kullanmanın potansiyel avantajı, evde ve işyerinde kullanılabilirliklerinin yanı sıra bunlardan büyük çapta elektrik üretilebilmesidir [5].

Güneş kolektörleri, soğutma, damıtma, ısıtma ve endüstriyel proseslerde enerji giderlerini azaltmak için kullanılmakta ve yüksek sıcaklık uygulamalarında geniş kullanım alanı bulunmaktadır [5]. Parabolik oluklu yoğunlaştırılmış güneş enerjileri (CSP) gelişmiş teknolojilerdir ve Güney Kaliforniya'nın Mojave Çölü'nde dokuz Güneş Enerjisi Elektrik Üretim Sisteminin (SEGS) inşa edildiği 1980'lerden beri kullanılmaktadır. Bu SEGS tesisleri toplam 354 MW kurulu güç kapasitesine sahiptir ve %10'luk bir verimlilik elde etmiştir. Bu nedenle parabolik oluk CSP sistemleri, diğer tüm CSP tesis türleriyle karşılaştırıldığında en gelişmiş ve ticari olarak kanıtlanmış teknoloji olarak kabul edilmektedir [6]. PTC sistemi, yoğunlaştırılmış güneş ışınımı ile alıcı tüpteki ısı emici akışkanı ısıtır. Elde edilen termal enerji daha sonra genellikle bir ısı transfer akışkanı (HTF) kullanılarak bir termal enerji depolama (TES) tankına aktarılır daha sonra kullanılmak üzere enerjinin depolanması sağlanır. Güneş enerjisinin yoğunlaştırılması ve TES'in birleşimi, güneş ışınlarının yoğun olmadığı bile sürekli enerji üretimine olanak

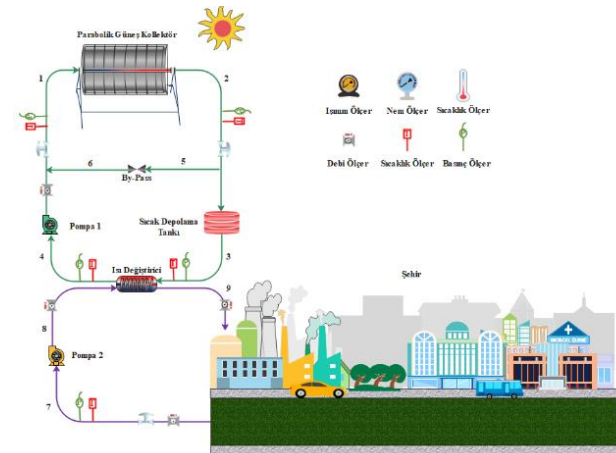
sağlar ve önerilen sistemin genel verimliliğini ve güvenilirliğini artırır [7],[8]. TES'in nasıl çalıştığına dair şu örnek verilebilir, güneş enerjisi gün boyunca akşam saatlerinde ısıtma için depolanabilirken, yaz aylarında serin hava sağlamak için kış aylarında soğuk hava depolanabilir [9].

Enerji depolama teknikleri kimyasal (örneğin; hidrojen depolama, amonyak depolama ve sentetik doğal gaz), elektriksel (örneğin; süper kapasitörler), mekanik (örneğin; volan ve sıkıştırılmış hava) ve termal (örneğin; termo-kimyasal, hissedilebilir ısı, gizli ısı) olmak üzere çeşitli yöntemlerden oluşmaktadır [10]. Bir enerji depolama seçeneği olarak, soğuk ve ısı depolamayı içeren termal enerji depolama, iklimlendirme, soğutma ve sıcak su gibi çok çeşitli uygulamalar için giderek daha popüler hale gelmektedir [11].

Önerilen bu sistemin amacı, Isparta ili için kesintisiz yenilenebilir enerji sağlamak üzere termal depolama teknolojisi kullanarak sürdürülebilir bir sistem modellemektir. Bu modelleme, meteorolojik verilere dayalı saatlik dinamik analizler ve termodinamik değerlendirmeler ile sistemin performansı üzerinde etkili olan önemli ana parametrelerin etkilerini ortaya koymaktadır.

2. Sistem Tanımı

Yapılan bu çalışmada ele alınan sistem, temiz enerji üretimi için güneş enerjisi teknolojilerinden biri olan parabolik oluk kolektörü, depolama tankı ve pompadan oluşan bir sistem modellenmiştir. Sistemin modellemesi ve performans analizleri Engineering Equation Solver programı yardımıyla yapılacaktır. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi sistemin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.1. Tasarlanan sistemin şematik gösterimi.

Güneş enerjisinden elde edilen ısı enerji, ısı depolama tankı içerisinde akışkan ile karışmadan bir ısı değiştirici vasıtasıyla transfer edilmektedir. Depolama tankından çıkan akışkan doğal sirkülasyon ile ısı değiştiriciye yönlendirilerek enerji aktarımı gerçekleştirilmektedir. Parabolik kolektörde çalışma akışkanı olarak Slytherm 800 tercih edilmiştir. Slytherm 800, -40 °C ile 400 °C arasındaki sıcaklık aralığında sıvı fazda çalışabilme özelliğine sahiptir [13]. Isı değiştiricisinden aktarılan enerji, sıcak akışkanın şehirde kullanılmasını sağlamaktadır. Enerjisini aktaran akışkan, pompa yardımıyla tekrar sisteme geri döndürülerek çevrim tamamlanmaktadır.

Sistemin enerji ve ekserji analizini gerçekleştirilmesi için bazı verilerin kabul edilmesi gerekmektedir. Çalışmada kullanılan parametreler Çizelge 2.1'de sunulmuş olup, mühendislik hesaplaması için EES programı kullanılmıştır.

Termodinamik enerji ve ekserji analizlerinin yapılırken aşağıdaki kabuller esas alınmıştır.

- Isı değiştiriciler ve pompalar adyabatik kabul edilmiştir.
- Ekserji hesabı yapılırken kinetik, potansiyel ve kimyasal enerjileri ve ekserjileri ihmal edilmiştir.
- Tüm sistem sürekli akışlı açık olarak tasarlanmıştır.
- Referans koşullarında sıcaklık değeri 25 °C ve basınç değeri 101.325 kPa olarak kabul edilmiştir.
- Her bir komponentin basınç düşümü ihmal edilmiştir.
- Türbin ve pompalar izentropik kabul edilmiştir.

Tablo 2.1'de parabolik kolektörünün tasarım parametreleri verilmiştir.

Tablo 2.1. Parabolik kolektör tasarım parametreleri [12].

Parametre	Değer
Genişlik (m)	1.788
Uzunluk (m)	6
Odak uzunluğu (m)	0.3276
Açıklık alanı (m ²)	10.73
Alıcı iç boru çapı (m)	0.034

Alıcı dış boru çapı(m)	0.038
Cam dış çapı (m)	0.01
Cam iç çapı (m)	0.016
Cam ışınlama yayma oranı	0.86
Cam ışınlama geçirme oranı	0.935
Absorber ışınlama yutma oranı	0.96
Açıklık alan yansıtma oranı	0.826
Absorber ışınlama yayma katsayısı	0.097
Maksimum optik verim	0.75

3. Matematiksel Modelleme

Bu bölümde, Isparta koşullarında Meteonorm [18] veri tabanından elde edilen verileri kullanarak parabolik oluk kolektörünün dinamik modellenmesi gerçekleştirilecek ve tasarlanan çevrimin termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarına dayalı enerji ve ekserji analizi gerçekleştirilecektir. Modellemede kullanılan diferansiyel denklemler, ısı verimlilik gibi önemli parametreler ise detaylı bir şekilde sunulacaktır.

Yatay düzleme gelen toplam güneş radyasyonu, yalnızca direkt güneş radyasyonunun parabolik oluk kolektörünün alıcı yüzeyine düşen bileşenidir. Bundan dolayı yoğunlaştırıcı üzerine gelen güneş radyasyonu miktarı (W/m²) Denklem (1) ile hesaplanmaktadır [12].

$$Q_s = A_a \cdot G_b \quad (1)$$

Burada, G_b (W/m²) olarak gelen eğik yüzeye gelen direkt güneş radyasyon değeridir. A_a (m²) parabolik açıklık alanıdır. Güneş radyasyonu miktarı ile güneş enerjisi faydalı ısı miktarı oranı ile ısı verim aşağıdaki denklem (2) ile hesaplanmaktadır [12].

$$\eta_{th} = \frac{Q_u}{Q_s} \quad (2)$$

Isıl verim hesaplanması için gerekli deneysel verilerden elde edilen parametreler kullanılarak hesaplamalar yapılmaktadır. Denklem (3) ile termal verimlilik (ısı verim) hesaplanmaktadır.

$$\eta_{th} = 0.7408 \cdot K(\theta) - 0.0432 \cdot \left(\frac{T_g - T_{ort}}{G_b} \right) \quad (3)$$

Burada, $K(\theta)$ direk ışınım geliş açısına bağlı olarak kaynaklanan hataları içeren geliş açısı düzeltme ile bağlantılı denklem (4) ile hesaplanır [12].

$$K(\theta) = \cos(\theta) - 5.25097.10^{-4} \cdot \theta - 2.859621.10^{-5} \cdot \theta^2 \quad (4)$$

Geliş açısı hesaplanması denklem (5) ile bulunmaktadır [12].

$$\cos(\theta) = \sqrt{\cos^2(\theta_z) + \cos^2(\delta) \cdot \sin^2(\omega)} \quad (5)$$

Geliş açısı hesaplanması için denklikasyon açısı hesaplanması gereken parametrelerden biridir. Denklem (6) ile bulunmaktadır. DD yıl içindeki numarasıdır. Örneğin DD=1 Ocak şeklindedir [12].

$$\delta = 23.45 \cdot \sin(2\pi \frac{284+DD}{365}) \quad (6)$$

Geliş açısı hesaplanmasında bir diğer parametre güneş zenit açısıdır. Denklem (7) ile hesaplanabilmektedir [12].

$$\cos(\theta_z) = \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) \quad (7)$$

Güneş açısı, saat cinsinden güneş zamanı (t_h) kullanılarak aşağıdaki denklem (8) ile belirlenmektedir [12].

$$\omega = 15 \cdot (t_h - 12) \quad (8)$$

Faydalı ısı miktarını bulmak için iki yol kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi enerji dengesi denklem (9) ile hesaplanır [13].

$$Q_u = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_c - T_g) \quad (9)$$

Burada, T_c ve T_g akışkanın giriş ve çıkış sıcaklığını ifade etmektedir. Bir diğer yol ise absorber boru ile akışkan arasındaki ısı transfer kullanılarak denklem (10) ile hesaplanmaktadır [13].

$$Q_u = A_{ro} \cdot h \cdot (T_r - T_{fm}) \quad (10)$$

Burada, A_{ro} (m^2) borunun kesit alanı, T_r ($^{\circ}C$) absorber yüzey sıcaklığı, T_{fm} ($^{\circ}C$) ortalama akışkan sıcaklığıdır. Isı transfer katsayısı nusselt sayısı kullanılarak denklem (11) ile bulunmaktadır [13].

$$h = \frac{Nu \cdot k}{D_{ri}} \quad (11)$$

k ısı iletim katsayısı (W/m^2) dir. Nusselt sayısı için Reynolds sayısı (Re) belirlenir. Denklem (12) ve denklem (13) ile hesaplanır [14].

$$Re > 2300 \quad Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (12)$$

$$Re < 2300 \quad Nu = 4.364 \quad (13)$$

Reynolds sayısı (Re) denklem (14) ile hesaplanmaktadır [15].

$$Re = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot D_{ri} \cdot \mu} \quad (14)$$

Burada, μ dinamik vizkozite ($Pa \cdot s$) dir. Ortalama akışkan sıcaklığı denklem (15) ile bulunmaktadır [13].

$$T_{fm} = \frac{T_g + T_c}{2} \quad (15)$$

Kararlı durum koşullarında, emicinin cama olan termal kayıpları, camın ortama olan termal kayıplarına eşittir. Denklem (16) ile hesaplanır [13].

$$Q_{kay} = A_{co} \cdot \sigma \cdot \epsilon_c \cdot (T_c^4 - T_{çev}^4) + A_{co} \cdot h_{dış} \cdot (T_c^4 - T_{gök}^4) \quad (16)$$

Burada, σ (W/m^2K^4) Stefan-Boltzmann katsayısıdır ve değeri $5,67.10^{-8}$ dir. T_c cam yüzeyin sıcaklığı ve $h_{dış}$ (W/m^2K) cam dış yüzeyindeki ısı taşınım katsayısıdır. $T_{gök}$ ortam sıcaklığına bağlı olarak hesaplanan gökyüzü sıcaklığıdır. Denklem (17) ile hesaplanır [13].

$$T_{gök} = 0.0552 \cdot T_{çev}^{1.5} \quad (17)$$

Cam ve ortam arasındaki ısı taşınım katsayısı rüzgâr hızına bağlı olarak denklem (18) ile hesaplanır [13].

$$h_{dış} = 4 \cdot V^{0.58} \cdot D_{co}^{-0.42} \quad (18)$$

Absorber üzerindeki enerji dengesi denklem faydalı güneş enerjisi ve termal kayıpların toplamına eşittir. Denklem (19) ile bulunmaktadır [13].

$$Q_{abs} = Q_u + Q_{kay} \quad (19)$$

Ekserji verimi denklem (20) ile hesaplanmaktadır. Yararlı ekserji üretiminin (E_u), güneş ışımının ekserji akışına (E_s) oranı ile belirlenir [13].

$$\eta_{ex} = \frac{E_u}{E_s} \quad (21)$$

Yararlı ekserji üretiminin (E_u) denklem (22) ile hesaplanır. Sıcaklıklar denklemde Kelvin cinsinden yazılır [13].

$$E_u = Q_u - m \cdot cp \cdot T_o \cdot \ln \left[\frac{T_c}{T_g} \right] - \frac{m \cdot T \cdot \Delta P}{\rho \cdot T_{fm}} \quad (22)$$

Güneş ışımının ekserji akışına (E_s) denklem (23) ile hesaplanır. Sıcaklıklar denklem de Kelvin cinsinden yazılır [13].

$$E_s = Q_s \cdot \left[1 - \frac{4}{3} \cdot \frac{T_o}{T_{güneş}} + \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{T_o}{T_{güneş}} \right)^4 \right] \quad (23)$$

Referans sıcaklık (T_o) 298.15 K ve güneş dış yüzey sıcaklığı ($T_{güneş}$) 5770 K olarak seçilmiştir. Enerji verimliliği denklem (24) ile hesaplanır [13].

$$\eta_{enerji} = \frac{Q_u - \frac{W_p}{\eta_{el}}}{Q_s} \quad (24)$$

Termal enerji depolama tankından bulunan bir ısı değiştirici ile tank içerisindeki akışkanın karışmadan enerjisini aktardığı kabul edilmiştir. Termal kayıp katsayısı (U_T), yalıtım depolama tankları için tipik bir değer olan $0.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'ne eşit alınmıştır. Denklem (25) ile hesaplanır [12].

$$\frac{\rho.V}{n} \cdot c_p \cdot \frac{dT_s}{dt} = m \cdot c_p \cdot (T_\zeta - T_s) - U_T \cdot A_T \cdot (T_s - T_{ort}) \quad (25)$$

Kararlı durum tankta depolanan enerji ($\dot{Q}_{depolanan}$) sıfıra eşit olur. Tanktan dış ortama olan ısı kaybı denklem (26) ile hesaplanmaktadır [12].

$$\dot{Q}_{kay,tank} = U_T \cdot A_T \cdot (T_s - T_{ort}) \quad (26)$$

Tankın yüzey alan hesabı denklem (27) ile hesaplanır [12].

$$A_T = \frac{\pi \cdot D_T^2}{4} + \pi \cdot D_T \cdot L_T \quad (27)$$

Burada, D_T tank çapı, L_T tank uzunluğunu ifade etmektedir. Depolama tankı hacmi boyutları ile ilişkilendiren denklem (28) ile bulunmaktadır [12].

$$V = \frac{\pi \cdot D_T^2}{4} \cdot L_T \quad (28)$$

Sıcak akışkan ısı miktarı denklem (29) ile hesaplanır. Soğuk akışkan ısı miktarı denklem (30) ile hesaplanır. Ortalama ısı miktarı denklem (31) ile hesaplanmaktadır [16].

$$\dot{Q}_h = \dot{m}_h \cdot c_{ph} \cdot (T_{h,g} - T_{h,\zeta}) \quad (29)$$

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_c \cdot c_{pc} \cdot (T_{c,\zeta} - T_{c,g}) \quad (30)$$

$$\dot{Q}_{ort} = (\dot{Q}_h + \dot{Q}_c) / 2 \quad (31)$$

Burada, $T_{h,g}$ ve $T_{h,\zeta}$ sıcaklıkları, sırasıyla sıcak akışkanın ısı transferi gerçekleştiren sistemdeki giriş ve çıkış sıcaklıklarını temsil etmektedir. $T_{c,g}$ ve $T_{c,\zeta}$ soğuk akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıklarını, \dot{Q}_h sıcak akışkan tarafından taşınan ısı miktarını, \dot{Q}_c soğuk akışkan tarafından alınan ısı miktarını ifade etmektedir. Ayrıca \dot{Q}_{ort} ortalama ısı miktarını ve \dot{Q}_{maks} ise üretilebilecek maksimum ısı miktarını ifade etmektedir. Denklem (32) ile belirlenmektedir [17].

$$\dot{Q}_{maks} = c_{min} \cdot (T_{h,g} - T_{c,g}) \quad (32)$$

Burada, ısı kapasitelerinin hangisi küçük ise onun kullanılması ile \dot{Q}_{maks} bulunur. Isıl kapasitelerin hesabı aşağıdaki denklem (33) ve denklem (34) ile bulunur [17].

$$C_{ph} = \dot{m}_h \cdot c_{ph} \quad (33)$$

$$C_{pc} = \dot{m}_c \cdot c_{pc} \quad (34)$$

Toplam ısı transfer miktarı (U) aşağıdaki denklem (35) ile hesaplanır [16].

$$U = \frac{\dot{Q}_{ort}}{ALMTD} \quad (35)$$

Burada, LMTD logaritmik ortalama sıcaklık farkını temsil eder. Bu çalışmada ters akışlı plakalı ısı değiştiricinin ortalama logaritmik sıcaklık değeri (ΔT_m) denklem (36) ile hesaplanır [16].

$$LMTD = \frac{\Delta T_{maks} - \Delta T_{min}}{\ln \frac{\Delta T_{maks}}{\Delta T_{min}}} \quad (36)$$

$$LMTD = \frac{(T_{h,\zeta} - T_{c,g}) - (T_{h,g} - T_{c,\zeta})}{\ln \frac{(T_{h,\zeta} - T_{c,g})}{(T_{h,g} - T_{c,\zeta})}} \quad (37)$$

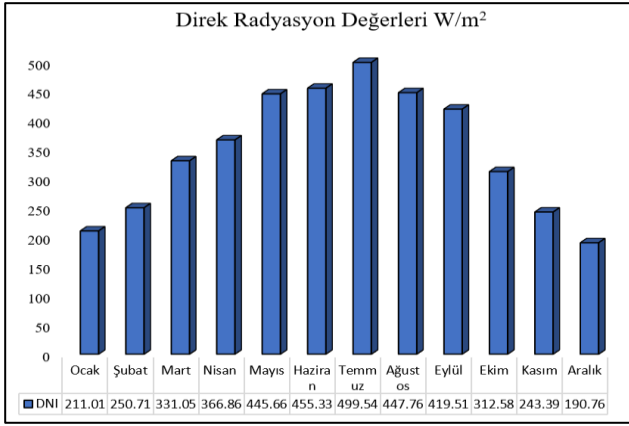
Isı değiştiricinin etkenliği, ortalama ısı miktarı ile maksimum ısı miktarı oranı şeklinde denklem (38) ile hesaplanır [17].

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}_{ort}}{\dot{Q}_{maks}} \quad (38)$$

4. Araştırma Bulguları

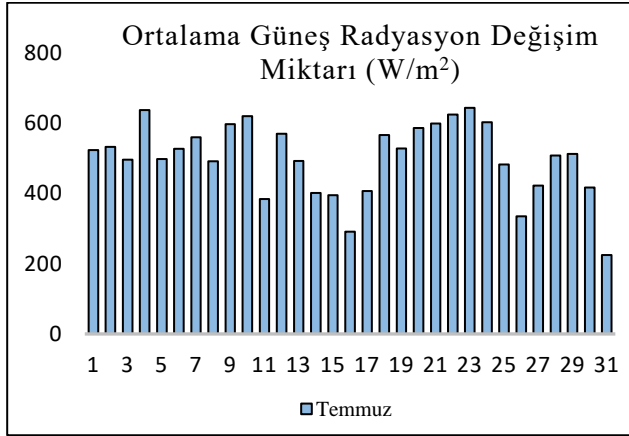
Isparta ili koşullarında enerji talebini karşılamak amacıyla tasarlanan güneş enerjisi destekli termal enerji depolama sisteminin matematiksel modellemesi yapılmış ve sistem termodinamik performans açıdan detaylı incelenmiştir. Parabolik güneş kolektöründen elde edilen enerji, üretildikten sonra şehirdeki enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılabilir. İhtiyacı karşılamak için kullanılabilir.

Tasarlanan sistemin temel çalışma parametreleri belirlenirken 2023 yılına ait Temmuz 23 günü seçilmiştir. 23 Temmuz'un seçilme nedeni, güneş ışınımının en yüksek seviyelere ulaştığı ve yazın en sıcak, güneş ışınımının en yoğun olduğu dönemi temsil etmektedir. Temmuz 23 gününe ait güneş ışınım şiddeti, güneşlenme süresi, çevre sıcaklığı ve rüzgâr hızı verileri faydalanılmıştır. Isparta ilinin 2023 yılına ait aylık ortalama güneş ışınım şiddeti değişimi şekil 4.1'de sunulmuştur [18].



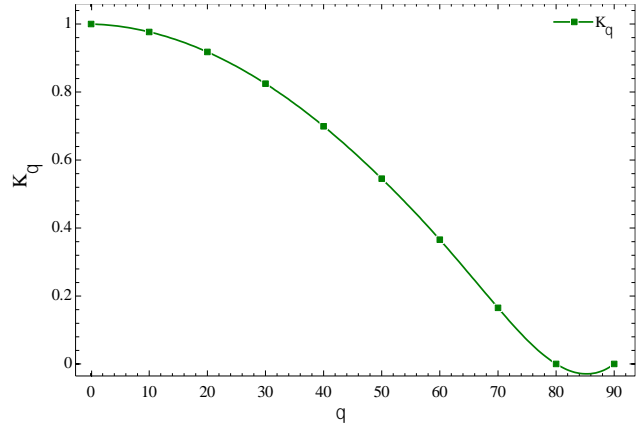
Şekil 4.1. 2023 yılı Isparta koşullarında aylık ortalama güneş ışınım şiddeti değişimi [18].

Şekil 4.2'de Isparta iline ait 2023 yılı Temmuz ayına ilişkin ortalama güneş ışınımındaki dağılımı gösterilmektedir.



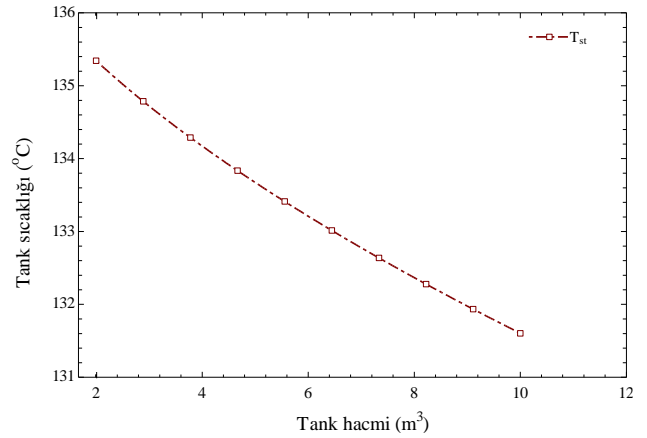
Şekil 4.2. 2023 yılı Temmuz ayının ortalama güneş ışınımı dağılımı [18].

Şekil 4.3. Çeşitli geliş açıları için kolektörün giriş açısındaki değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde, 40°'den sonra geliş açısının parabolik bir şekilde azaldığı görülmektedir. 90°'de ise $K(\theta)$ sıfır değerine ulaşmıştır. Geliş açısındaki değerlerin kademeli olarak düşmesi, düşük termal ve ekserjetik verimliliklere yol açtığı gözlemlenmiştir.



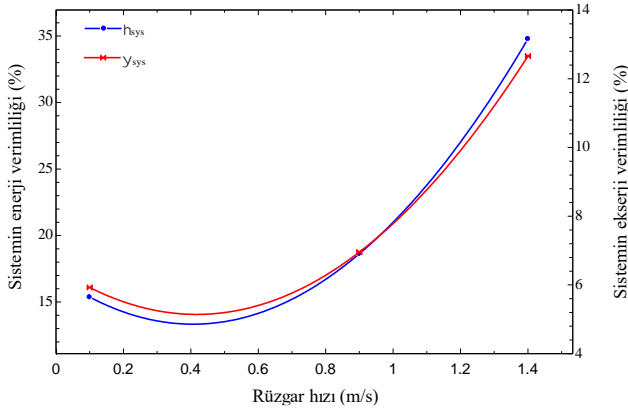
Şekil 4.3. Çeşitli geliş açıları için kolektörün giriş açısındaki değişim.

Şekil 4.4'de Tank hacminin değişimine bağlı olarak tank sıcaklığında meydana gelen değişim sunulmuştur. Daha küçük depolama tankı hacimlerinde, daha yüksek tank sıcaklıklarının elde edildiği tespit edilmiştir. 2 ile 12 m³ tank hacimleri aralığında en yüksek tank sıcaklığı 2 m³ de olduğu grafik göstermektedir. 2 m³ de tank sıcaklığı 135.3 °C iken 12 m³ de 131.6 °C sıcaklıklar elde edilmiştir.



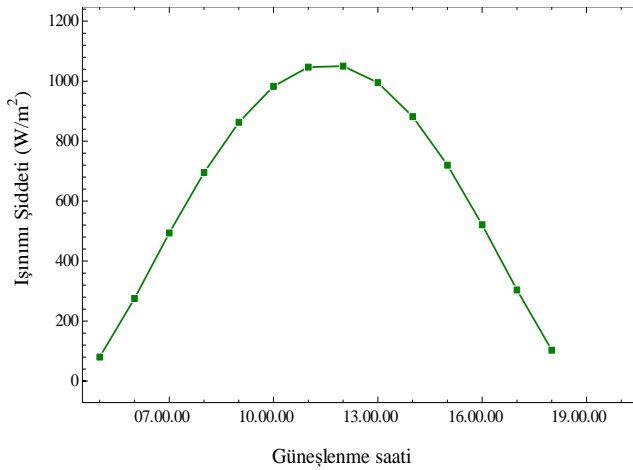
Şekil 4.4. Tank hacminin değişimine bağlı olarak tank sıcaklığının değişimi.

Rüzgâr hızının değişimine göre sistemin enerji ve ekserji verimliliği üzerindeki etkisi şekil 4.5'de gösterilmektedir. Grafikten elde edilen sonuca göre rüzgâr hızının artması, sistemin enerji ve ekserji verimliliği üzerinde olumlu etkisi olduğunu göstermektedir. Bunun sebebi, yazın sıcak havalar da rüzgârın hava akışını sağlayarak ortam sıcaklığında meydana gelen azalmadan dolayı güneş kolektörünün ısınmasını engellemesinden kaynaklanmaktadır.



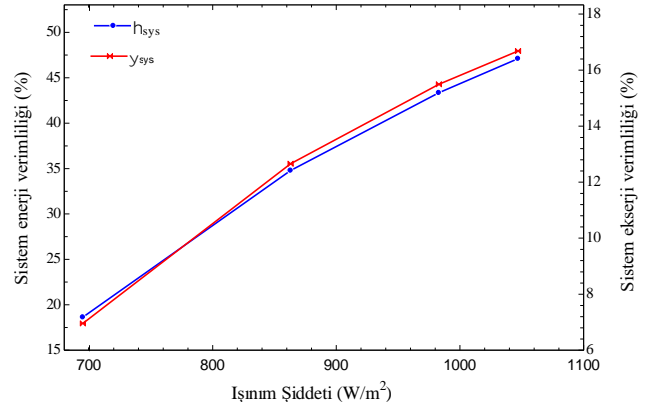
Şekil 4.5. Rüzgâr hızının değişimine göre sistemin enerji ve ekserji verimliliği üzerindeki etkisi.

Şekil 4.6'da 2023 yılının Temmuz 23 gününde saatlik olarak güneş ışınım şiddetinin değişim miktarı verilmiştir. En düşük ışınım şiddeti 06:00'da 80 W/m^2 , en yüksek ışınım şiddeti 13:00'de 1050 W/m^2 olarak belirlenmiştir.



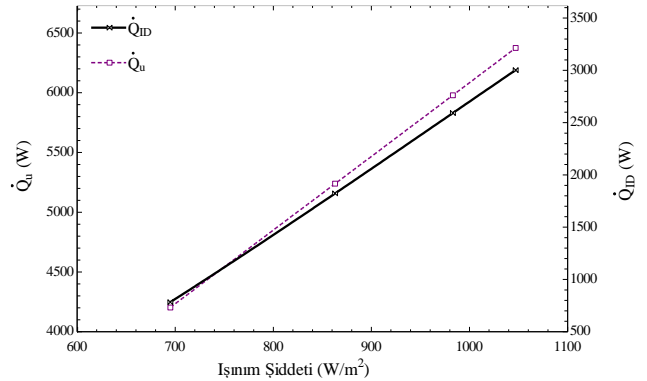
Şekil 4.6. Güneşlenme saatine bağlı olarak güneş radyasyon miktarının değişimi.

Şekil 4.7'de görüldüğü gibi ışınım şiddetinin değişimi ile sistemin enerji ve ekserji verimliliklerin değişimi verilmiştir. Işınım şiddeti arttıkça doğru orantılı olarak enerji ve ekserji verimliliği de artmıştır. Güneş ışınım şiddetinin artması ile enerji verimliliği %18.63'ten %47.1'e artış gösterdiği tespit edilmiştir. Ekserji verimliliği %6.95'den %16.68'e çıkmıştır.



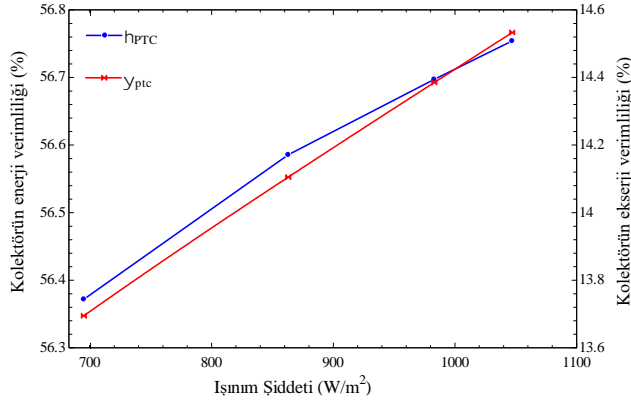
Şekil 4.7. Işınım şiddetinin değişimine göre sistemin enerji ve ekserji verimliliği üzerindeki etkisi.

Farklı ışınım şiddetine göre sistemin elemanlarının kapasitelerindeki değişimi şekil 4.8'de gösterilmiştir. Güneş radyasyon miktarı arttıkça sistem kapasitelerinin üzerinde olumlu etkisi olmuştur ve güneş radyasyon miktarı arttıkça elemanların kapasitelerinin arttığı görülmüştür. Güneş radyasyonu artması ile faydalı enerji miktarı 4203 W 'dan 6375 W 'a bir artış göstermiştir. Isı değiştirici miktarı 783.1 W 'dan 3003 W 'lık bir artış meydana geldiği belirlenmiştir.



Şekil 4.8. Işınım şiddetinin değişiminin yararlı enerji ve ısı değiştirici üzerindeki etkisi.

Şekil 4.9'de parabolik güneş kolektörünün enerji ve ekserji verimliliğinin ışınım şiddetine göre değişimi verilmiştir. Işınım şiddeti arttıkça parabolik güneş kolektörünün enerji ve ekserji verimliliği lineer olarak artış göstermiştir. Işınım şiddetinin değişimi ile enerji verimliliği ve ekserji verimliliği sırasıyla %56.75, %14.53 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.9. Kolektörün enerji ve ekserji verimliliğinin ışınım şiddetine göre değişimi.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada güneş enerjisi kaynaklı PTC sisteminin modellenmesi ile sistemin enerji ve ekserji analizi incelenmiştir. Meteororm'dan alınan verileri göre, saat 13:00'da 1050 W/m² ile en yüksek ışınım şiddetinin elde edildiği gözlemlenmiştir. Meteorolojik verileri kullanılarak, ışınım şiddeti, ortam sıcaklığı, rüzgar hızı gibi faktörler ile analizler yapılmıştır. PTC sistemin enerji ve ekserji verimliliği sırasıyla %56.75 ve %14.53 olarak belirlenmiştir. Yararlı enerji miktarı 6375 W, ısı değiştiricinin ürettiği ısı miktarı 3003 W olarak hesaplanırken, genel enerji verimliliği %47.1, ekserji verimliliği %16.68 olarak tespit edilmiştir. Tank haminin 4 m³ olduğu ve tank sıcaklığının 134.2 °C olarak belirlendiği gözlemlenmiştir.

Çalışmada, PTC destekli bir sistemin Isparta ilinde kurulabilirliği ve uygulanabilirliğine yer verilmiştir. Kesintili güneş enerjisinin fazla enerji üretildiği zamanlarda, termal depolama ünitesi ile uzun süreli kullanım sağlanmaması hedeflenmiştir. Yapılan analizlerde, Isparta ilinin saatlik ışınım verileri incelenmiş ve bölgenin yüksek ışınım şiddeti potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir. Parametrik çalışmalar yapılarak sistem üzerindeki etkiler detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile sera gazı salınımının büyük oranda azaltılması, sistem verimliliğinin artırılması hedeflenmiştir. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin gelişimiyle birlikte sistemin gelecekteki potansiyelini artırabileceğini vurgulanmıştır. Modellen geliştirilmesi durumunda, sisteme Organik rankine çevrimi (ORC) entegre edilerek elektrik üretimi yapılabilmesi mümkün olabileceği düşünülmektedir.

Teşekkür: 2022-YL1-0183 numaralı 'Termal enerji depolamalı parabolik güneş kolektörünün termodinamik incelenmesi' adlı proje ile makalemin

maddi olarak destekleyen Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Kaynaklar

- [1] Mohseni M, Hajinezhad A, Moosavian SF. Thermodynamic analysis and multi-objective optimization of an ORC-based solar-natural gas driven trigeneration system for a residential area. *Case Studies in Thermal Engineering*. 59(104513), 2024.
- [2] Murugan S, Horák B. Tri and polygeneration systems-A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1032-1051, 2016.
- [3] Heidari A, Aslani A, Hajinezhad A, Tayyar SH. Strategic analysis of Iran's energy system. *Strategic Planning for Energy and the Environment*, 37(1), 56-79, 2017.
- [4] Zaharil HA, Yang H. Thermodynamic analysis of a parabolic trough power plant integrating supercritical carbon dioxide Brayton cycle and direct contact membrane distillation. *Applied Thermal Engineering*, 123637, 2024.
- [5] Cetiner C. Thermal analysis of operating a solar-powered diffusion absorption refrigerator with a parabolic collector. *Case Studies in Thermal Engineering*, 53(103893), 2024.
- [6] AlZahrani AA, Dincer I. Energy and exergy analyses of a parabolic trough solar power plant using carbon dioxide power cycle. *Energy conversion and management*, 158, 476-488, 2018.
- [7] Achkari O, El Fadar A. Latest developments on TES and CSP technologies – energy and environmental issues, applications and research trends, *Applied Thermal Engineering*, 167 (114806), 1-31, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114806>
- [8] Shabgard H, Rahimi H, Naghashnejad M, Acosta PM, Sharifi N, Mahdavi M, Faghri A. Thermal energy storage in desalination systems: state of the art, challenges and opportunities. *J. Energy Storage* 52 (104799), 1-30, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104799>.
- [9] Batgi SU, Dincer I. Design of a two-renewable energy source-based system with thermal energy storage and hydrogen storage for sustainable development. *Journal of Energy Storage*, 89(111742), 2024.
- [10] Erdemir D, Dincer I. A new solar energy-based system integrated with hydrogen storage and heat recovery for sustainable community. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52(102355), 2022. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102355>.
- [11] Powell KM, Edgar TF. Modeling and control of a solar thermal power plant with thermal energy

- storage. Chem. Eng. Sci. 71 138–145, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2011.12.009>.
- [12] Bellos E, Tzivanidis C, Belessiotis V. Daily performance of parabolic trough solar collectors. Solar Energy, 158, 663-678, 2017.
- [13] Bellos, E, Tzivanidis C. Enhancing the performance of evacuated and non-evacuated parabolic trough collectors using twisted tape inserts, perforated plate inserts and internally finned absorber. Energies, 11(5), 1-28, 2018.
- [14] Kizilkan O, Khanmohammadi S, Saadat-Targhi M. Solar based CO₂ power cycle employing thermoelectric generator and absorption refrigeration: Thermodynamic assessment and multi-objective optimization. Energy conversion and management, 200(112072), 2019.
- [15] Bellos E, Tzivanidis C. Parametric analysis and optimization of an Organic Rankine Cycle with nanofluid based solar parabolic trough collectors. Renewable Energy, 114, 1376-1393, 2017.
- [16] Zheng D, Wang J, Chen Z, Baleta J, Sundén B. Performance analysis of a plate heat exchanger using various nanofluids. International Journal of Heat and Mass Transfer, 158(119993), 2020.
- [17] Islam MS, Xu F, Saha SC. Thermal performance investigation in a novel corrugated plate heat exchanger. International journal of heat and mass transfer, 148(119095), 2020.
- [18] Meteonorm. <https://meteonorm.com>, (Erişim Tarihi: 31.12.2023).