



Parabolik Oluk Güneş Toplayıcılarının Simülasyonu ve Anlık Isıl Performanslarının İncelenmesi

Abdulvahap Yiğit¹, Nurullah Arslanoğlu^{2*}

ÖZ

Dünyada küresel ısınma nedeniyle fosil enerji kaynaklarına bağlı enerji üretim sistemleri gittikçe azalmaktadır. Buna bağlı olarak da yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı artmaktadır. Güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları içinde en önemlilerden birisidir. Artan enerji ihtiyacını karşılamak üzere güneş enerjisinin fotovoltaik sistemlerde kullanımı hızla artmaktadır. Güneş enerjisinin ısı sistemlerde kullanımı için çalışmalar da artarak devam etmektedir. Isıl enerji uygulamaları içinde parabolik güneş toplayıcısı öne çıkmaktadır. Bu toplayıcılarla 300 °C sıcaklıklara varan ısı enerjisi üretimi yapılabilmektedir. Bu sıcaklıkta ısı enerjisi ile elektrik üretilebilmektedir. Diğer taraftan soğutma enerjisine çok ihtiyaç duyulan yaz aylarında, bol olan güneş enerjisi kullanılarak, absorpsiyonlu soğutma sistemleriyle soğutma da yapılabilmektedir. Yüksek sıcaklıkta ısı enerjisi ile çift kademeli absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde yüksek soğutma tesir katsayıları elde edilebilmektedir. Bu çalışmada parabolik oluk tipi güneş toplayıcılarının modellenmesi yapılarak anlık ısı performansları incelenmiştir. Bunun için MATLAB programlama dilinde bir simülasyon programı yazılmıştır. Bu programda anlık direkt güneş ışınımı değerini hesaplamak için Daneshyar-Paltridge-Proctor (DPP) modeli kullanılmıştır. Bu model kullanılarak yapılan hesaplamalarla, tek boyutlu olarak güneşi takip eden bu tür toplayıcıların daha fazla enerji üretebilmesi için Kuzey-Güney doğrultusunda yerleştirmesinin uygun olacağı gösterilmiştir.

Örnek bir toplayıcı özellikleri ve boyutları kullanılarak, anlık verim ve faydalı ısı hesaplamaları yapılmıştır. Bu anlık değerlerin toplamı ile günlük, aylık ve yıllık ısı güç değerleri ve verim hesapları yapılmıştır. Örnek olarak seçilen bölgeler için çevresel parametrelere bağlı olarak yıllık ısı güç değerleri bulunarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu tür sistemlerin kurulumu için ideal çevresel parametreler belirlenmiş ve tartışması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, parabolik oluk toplayıcılar, simülasyon, anlık ısı analiz

* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 25.05.2022

Kabul/Accepted : 05.12.2022

¹ Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa
avahap@uludag.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9183-0098

² Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa
narslanoglu@uludag.edu.tr, ORCID: 0000-0003-4970-4490



Simulation of Parabolic Trough Solar Collectors and Investigation of Instant Thermal Performance

ABSTRACT

Due to global warming in the world, energy production systems connected to fossil energy sources are gradually decreasing. Due to this, the use of renewable energy sources is increasing. Solar energy is one of the most important renewable energy sources. In order to meet the increasing energy needs, the use of solar energy in photovoltaic systems is increasing rapidly. Studies for the use of solar energy in thermal systems are also continuing to increase. The parabolic solar collector stands out among the thermal energy applications. With these collectors, it is possible to produce heat energy up to 300 oC temperatures. At this temperature, electricity can be generated by heat energy. On the other hand, in summer, when cooling energy is very much needed, cooling can also be done with absorption cooling systems using abundant solar energy.. High coefficient of performance(COP) can be obtained in double-stage absorption cooling systems with high temperature heat energy.

In this study, the instantaneous thermal performance of parabolic trough type solar collectors was investigated by modeling. For this, a simulation program has been written in the MATLAB programming language. In this program, the DPP model was used to calculate the instantaneous direct solar radiation value(DNI). With the calculations made using this model, it has been shown that it would be appropriate to place such collectors, which follow the sun in one dimension, in a North-South direction so that they can produce more energy.Using the characteristics and dimensions of a sample collector, instantaneous efficiency and useful heat calculations were performed. Daily, monthly and annual thermal power values and efficiency calculations were made with the sum of these instantaneous values. For the regions selected as an example, comparisons were made by finding annual thermal power values depending on environmental parameters. The ideal environmental parameters for the installation of such systems have been determined and discussed.

Keywords: Solar energy, parabolic trough collector, simulation, instant thermal analysis



EXTENDED ABSTRACT

Introduction/ Background

The demand for renewable energy is increasing daily, where energy gains great importance and climate change comes to the fore due to global warming. The most striking type of energy among renewable energy sources is solar energy. With the increase in studies on solar energy, solar energy investments are also increasing. Many countries are working on solar energy in order to reduce their carbon emission values in the coming years. Significant investment and R&D activities are carried out in this regard in our country, which is among the many countries that signed the Paris Agreement. Today, thermal energy is needed as much as electrical energy. Thermal energy is needed in many areas, especially heating and cooling. Considering that solar energy is abundant especially in summer, the importance of using solar energy in cooling systems emerges. Cooling with solar energy is also among the prominent topics today. In absorption cooling systems; It is possible to cool at high COP values by using parabolic trough solar collectors that can generate heat energy at high temperatures. With double-stage absorption cooling systems, the COP value can exceed 1.

Objectives/ Research Purpose

In this study, first of all, a suitable model was chosen for instantaneous direct radiation calculations. By using this model, instantaneous all, direct and diffuse radiation calculations were made during a day. In order to examine the effect of the axis direction of the collector solar tracking system on the amount of radiation incident on the parabolic trough collector. Monthly incoming radiation amounts were calculated and comparisons were made with similar studies. Instantaneous thermal analyzes of the collector were made using the selected instantaneous direct radiation model. By taking the sum of the instant values for one day and making the sum for 365 days of the year; daily, monthly and annual thermal performance values were calculated and analyzed.

Methods/ Methodology

The important factor for the thermal analysis of parabolic trough solar collectors is instantaneous direct solar radiation calculations. There are many models for instantaneous solar radiation. The ASHRAE model is generally preferred. However, since the coefficients of the empirical correlation for our country are not available in the literature, they were not preferred in this study. Among these models, one of the models that gives the best results is the Daneshyar-Paltridge-Proctor (DPP) model [3]. All calculations are instantaneous. The instantaneous solar radiation values from the sun were calculated and transferred to the POT model equations, and the instantaneous POT efficiency and useful heat values were calculated by solving the model equations. In this simulation study, instantaneous ambient temperatures were calculated by using the daily maximum and minimum temperature values for the determined region. Instantaneous values were used for ambient temperatures. The flow rate of the fluid passing through the collector, the temperature of the fluid inlet to the collector and the wind speed are taken as constant. Daily, monthly and annual values were also calculated using the instantaneous calculated values. First of all, to show the accuracy of the model, the same collector dimensions and features were compared with the experimental study results. For this, the same environmental conditions were accepted and the instantaneous direct radiation value was taken as 900W/m², the wind speed as 3 m/s and the fluid flow rate as 5 m³/h. The results of the experimental study on a collector with the same characteristics were compared with the simulation results obtained using the model, and it was shown that there was a very good agreement.



Results/ Findings

It is important to determine the tracking axis correctly. In this study, instantaneous direct solar radiation amounts coming to the surface were calculated and compared in the case of North-South and East-West axis placement. When the results obtained are examined, it is seen that more radiation energy comes to the surface in the case of North-South axis placement. Although the radiation coming to the surfaces with East-West axis tracking system is slightly higher in winter, 1649 kW/m² radiation energy comes to the North-South axis surface annually, while it is calculated that 1540 kW/m² radiation energy comes to the East-West axis surface. It has been found that the values obtained for the Şanlıurfa region with the DPP model used for direct solar radiation calculation are close to the values obtained in the calculations for the Gela region of Italy using another model. When the monthly thermal power and efficiency values are examined, it is seen that April-August is the time period in which the highest thermal power is obtained with the highest efficiency. It is known that the need for cooling also increases during these months. Therefore, it is possible to conclude that POT systems are very suitable for solar energy based absorption cooling systems.

Discussion and Conclusions

An important result obtained in this study is the effect of ambient temperature on the thermal efficiency and therefore on the thermal power value. Increasing ambient temperature causes an increase in thermal efficiency as it reduces thermal losses. This effect is clearly seen in the calculations made for Konya and Şanlıurfa. It has been determined that the power and efficiency values produced in Şanlıurfa province, where warmer environmental temperature is observed, are higher. Therefore, it would be appropriate to install these systems in areas where environmental temperature and radiation intensity are high. On the other hand, it has been observed that wind speed, which is another environmental factor, reduces power and efficiency values. Therefore, it is necessary to pay attention to the selection of regions with low prevailing wind speeds.



1. GİRİŞ

Enerjinin çok önem kazandığı ve küresel ısınmaya bağlı olarak iklim değişikliğinin öne çıktığı günümüzde yenilenebilir enerjiye olan talep gittikçe artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları içinde öne çıkan enerji türü ise güneş enerjisidir. Güneş enerjisi üzerinde yapılan çalışmalar hızla artarken güneş enerjisi yatırımları da giderek artmaktadır. Birçok ülke önümüzdeki yıllar içinde karbon emisyon değerlerini düşürmek için, güneş enerjisi ile ilgili planlama ve yatırımlar yapmaktadır. Paris anlaşmasına imza atan birçok ülke içinde yer alan ülkemizde de bu konuda önemli yatırım ve Ar-Ge faaliyetleri yapılmaktadır. Günümüzde ağırlıklı olarak güneş PV sistemleri üzerinde yatırımlar artmaktadır. Ancak güneşten elektrik üretmenin en çok öne çıkan diğer yolu ise parabolik toplayıcılarla buhar üretilmesi ve bu buharın Rankin çevriminde kullanılması ile elektrik üretilmesidir.

Günümüzde elektrik enerjisi kadar ısı enerjisi de ihtiyaç duyulmaktadır. Isıtma soğutma başta olmak üzere birçok alanda ısı enerjisi ihtiyaç vardır. Özellikle yazın güneş enerjisinin çok bol olduğu düşünüldüğünde, soğutma sistemlerinde güneş enerjisinin kullanımının önemi ortaya çıkmaktadır. Güneş enerjisi ile soğutma konusu da günümüzde öne çıkan konular arasında yer almaktadır. Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde; yüksek sıcaklıklarda ısı enerjisi üretebilen parabolik oluk güneş toplayıcılarının kullanılması ile yüksek COP değerlerinde soğutma yapmak mümkün olabilmektedir. Çift kademeli absorpsiyonlu soğutma sistemleri ile COP değeri 1'in üzerine çıkabilmektedir. Parabolik oluk tip güneş toplayıcıları ile bu yüksek sıcaklıklara kolaylıkla çıkılabilmektedir.

Parabolik güneş toplayıcıları (POT) ile PV sistemlerin çevresel parametrelere bağlı performans değerlerinin değişimi farklılık göstermektedir. Anlık ışınım değerlerinin artmasıyla verim değerleri ve faydalı enerji değerleri her iki sistemde artmaktadır [1]. Ancak artan çevre sıcaklığı PV sistemlerinin verimini düşürürken, parabolik güneş toplayıcılarında verimi artırmaktadır. Diğer taraftan artan rüzgar hızı bu tür toplayıcılarda ısı verimi düşürürken, PV sistemlerinde verimi artırmaktadır. Dolayısıyla bu tür güneş enerjisi ısı sistemlerinin güneş ışınımının bol, hava sıcaklığının yüksek ve rüzgarın az olduğu bölgelerde kurulması daha uygun olacaktır [2].

Isıl analiz için gerekli olan anlık güneş ışınım değerinin hesaplanması için kullanılan birçok eşitlikler bulunmaktadır. Bir başka yapılan çalışmada farklı anlık ışınım modellerinin karşılaştırmasını yapmıştır. Bu çalışmada, bu eşitlikler içinde deneysel verilere en yakın olan model seçilerek hesaplamalarda kullanılmıştır [3]. Parabolik oluk toplayıcıların yerleştirilmesinde yön de önemli bir parametredir. Bu konuda yapılan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Desideri ve ark [4] tarafından yapılan çalışmada, parabolik oluk tipi toplayıcıların Kuzey-Güney veya Doğu-Batı eksenli yerleştirilmeleri durumunda aylık toplanan ışınım enerjisi değerleri hesaplanmış ve bunların karşılaştırılması yapılmıştır. Akba ve ark. [5] yaptıkları bir simülasyon çalışmasında

TRNSYS programını kullanarak iki farklı bölge için, ısı depolamalı sistemin geçici rejim ısı performansını incelemiş ve ekonomik analizini yapmışlardır. Mouaky ve ark. [6] yaptıkları deneysel çalışmada parabolik oluk toplayıcıların anlık ısı performansını farklı zamanlar için incelemişlerdir. Bu çalışmada ayrıca kirliliğin etkisi de incelenmiştir. Bellos ve ark. [7] Bir depolama tankına bağlı toplayıcının ısı performansı anlık, saatlik ve günlük olarak incelemişlerdir. Depo içinde ısı tabakalaşma dikkate alınarak saatlik sıcaklık değişimleri ve depo hacmi ve depodan çekilen akışkan hacmine bağlı olarak ısı performans incelenmiştir. Fasquelle ve ark. [8] geçici rejim ısı analiz modeli geliştirerek modelin doğruluğunu deneysel çalışma ile göstermişlerdir. Bu model kullanılarak geçici rejimde toplayıcıda dolaşan akışkan debisinin ve akışkan giriş çıkış sıcaklıklarının değişimi incelenmiştir. Rathod ve ark. [9] parabolik toplayıcı ile absorpsiyonlu soğutma sisteminin geçici rejim ısı analizlerini yapmışlardır.

Yapılan bu çalışmada ise öncelikle anlık direkt ışıınım hesaplamaları için uygun bir model seçilmiştir. Bu model kullanılarak bir gün boyunca anlık tüm, direkt ve yayılı ışıınım hesaplamaları yapılmıştır. Toplayıcı güneş takip sistemi eksen yönünün parabolik oluk toplayıcı üzerine gelen ışıınım miktarına etkisini incelemek üzere aylık gelen ışıınım miktarları hesaplanmış ve benzer çalışmalar ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Seçilen anlık direkt ışıınım modeli kullanılarak toplayıcının anlık ısı analizleri yapılmıştır. Anlık değerlerin bir gün boyunca toplamaları alınarak yılın 365 günü için toplamı yapılır; günlük, aylık ve yıllık ısı performans değerleri hesaplanmış ve analizler yapılmıştır.

2. MODEL VE GÜNEŞ İŞİNİMİ HESAPLAMALARI

Güneş enerjisi direkt normal ışıınım hesapları için kullanılan model bu kısımda açıklanmıştır. Farklı eksenel doğrultuda yerleştirme durumunda yüzeye gelen ışıınım miktarlarını bulmak için kullanılacak eşitlikler verilmiştir. Toplayıcının Isıl modellemesinde kullanılan eşitlikler verilmiş ve örnek olarak seçilen toplayıcı özellikleri tablo olarak belirlenmiştir.

2.1 Anlık Direkt Güneş İşıınımı Modeli ve Güneş İşıınımı Hesaplamaları

Parabolik oluk tipi güneş toplayıcılarının ısı analizi için önemli büyüklük anlık direkt güneş ışıınımı hesaplamalarıdır. Anlık güneş ışıınımı için çok sayıda model bulunmaktadır. ASHRAE modeli genelde tercih edilen bir modeldir. Ancak ülkemiz için ampirik bağıntının katsayıları literatürde bulunmadığı için bu çalışmada tercih edilmemiştir. Bu modeller içinde en iyi sonuçları veren modellerden birisi de Daneshyar-Paltridge-Proctor (DPP) modelidir [3]. Bu çalışmada bu model kullanılmıştır. Bu modele göre yatay birim yüzeye düşen anlık direkt güneş ışıınımı(DNI)(W/m²) şu eşitlikten bulunabilir:



$$DNI = 950.2\{1 - \exp[-0.075(90^\circ - \Theta_z)]\}\cos\Theta_z \quad (1)$$

Burada θ_z zenit açısıdır ve yatay yüzeyler için güneş geliş açısına eşit olarak şu eşitlikte tanımlanmıştır[10]:

$$\cos\Theta_z = \cos\delta\cos\phi\cos w + \sin\delta\sin\phi \quad (2)$$

Burada δ deklinasyon açısı, ϕ enlem açısı ve w saat açısıdır.

Parabolik güneş toplayıcıları güneşi tek eksenli olarak takip ederler. Takip sisteminin hangi eksenler doğrultusunda konumlandırılacağı önemlidir. Daha fazla enerji topladığı için genelde Kuzey-Güney eksenli olarak takip mekanizması konumlandırılır. Farklı yönlerde konumlandırılan güneş takip sistemleri durumunda (1) nolu eşitlikteki $\cos\theta_z$ yerine $\cos\theta$ kullanılmalıdır. Bu değer için şu eşitlikler kullanılır [4] :

Doğu-Batı:

$$\cos\Theta = (1 - \cos^2\delta\sin^2 w)^{(1/2)} \quad (3)$$

Kuzey-Güney:

$$\cos\Theta = [(\sin\phi\sin\delta + \cos\phi\cos\delta\cos w)^2 + \cos^2\delta\sin^2 w]^2 \quad (4)$$

2.2 Parabolik Oluk Toplayıcı Isıl Modellemesi

Parabolik oluk tipi güneş toplayıcıları tek eksenli olarak güneş takip sistemi ile birlikte kullanılırlar. Kuzey yarımkürede, daha fazla enerji topladığı için, Kuzey-Güney eksenli yerleştirilirler. Toplayıcı üzerine gelen ışınım yatay düzleme gelen toplam güneş ışınımının sadece direkt ışınım kısmıdır. Burada ışınım enerjisi (W) şu eşitlikten bulunur [11]:

$$Q_s = DNIA_a \quad (5)$$

Maksimum optik verim (η_{opt}) ile toplayıcı üzerine düşen ışınım çarpılarak toplayıcı açıklık alanı tarafından yutulan ısı aşağıdaki şekilde bulunur [11]:

$$Q_{yut} = Q_s \eta_{opt} \quad (6)$$

Burada η_{opt} optik verim;

$$\eta_{opt} = \alpha\tau\rho\gamma K(\theta) \quad (7)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Burada ($\alpha\tau$); yutma-geçirme çarpımı, ρ açıklık alanının yansıtma oranıdır. Düşüş açısı düzeltme değeri ($K(\theta)$) ile intercept faktör (γ) değeri genel olarak 1.0 olarak alınmaktadır.

Toplayıcı faydalı ısı (W); aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır;

$$Q_u = \dot{m}c_p(T_c - T_g) \quad (8)$$

şeklinde yazılabilir [11]. Bu eşitlikte, alıcı (receiver) borusu içinden akan akışkan debisi \dot{m} (kg/s), çıkış sıcaklığı ve giriş sıcaklıkları sırasıyla T_c (K) ve T_g (K) ve c_p (J/kgK) akışkanın özgül ısıdır. Buradaki faydalı ısı, yutucu yüzeyden akışkana taşınımıyla transfer olan ısıya eşittir. Bundan dolayı faydalı ısı miktarı, aşağıdaki şekilde de yazılabilir:

$$Q_u = h_m A_{ri} (T_r - T_{ort}) \quad (9)$$

Burada h_m (W/m²K) boru içinde ortalama ısı taşınım katsayısı, T_{ort} ise akışkan giriş ve çıkış sıcaklıklarının aritmetik ortalaması, A_{ri} alıcı iç yüzey alanı ve T_r ise yutucu yüzey ortalama sıcaklığıdır.

Açıklık alanı tarafından yutulan ısı, faydalı ısı ile kayıp ısı (Q_{kay}) toplamına eşit olarak şu şekilde yazılabilir:

$$Q_{yut} = Q_u + Q_{kay} \quad (10)$$

Alıcı yüzey olan boru içinden akış genelde türbülanslı akıştır. Bu durumda boyutsuz Nusselt ve Reynolds sayısına bağlı olarak şu bağıntılar kullanılmıştır:

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (11)$$

$$Nu = \frac{h_m D_{ri}}{k} \quad (12)$$

$$Re = \frac{4 \dot{m}}{\pi D_{ri} \mu} \quad (13)$$

Bu eşitliklerde D_{ri} (m) alıcı boru iç yarıçapı, Pr ise boyutsuz Prandtl sayıdır.

Syltherm 800 sentetik yağın termofiziksel özelliklerini bulmak için, T (°C) akışkan ortalama sıcaklığı olmak üzere, şu eşitlikler kullanılmıştır [12]:

$$\rho \left(\frac{kg}{m^3} \right) = -1.671 \times 10^{-6} T^3 + 4.216 \times 10^{-4} T^2 - 0.917 T + 953.17 \quad (14)$$

$$v \left(\frac{m^2}{s} \right) = -2.106 \times 10^{-18} T^5 + 3.322 \times 10^{-15} T^4 - 2.125 \times 10^{-12} T^3 - 10^{-10} T^2 - 1.274 \times 10^{-7} T + 1.095 \times 10^{-5} \quad (15)$$

$$c_p \left(\frac{kJ}{kgK} \right) = 1.706 \times 10^{-3} T + 1.574 \quad (16)$$

$$k \left(\frac{W}{mK} \right) = -1.881 \times 10^{-4} T + 0.139 \quad (17)$$



Yutucu yüzeyden dış cam yüzeye, arada vakum olduğundan, sadece ışınlama ısı transferi gerçekleşir. Sürekli rejim durumunda ışınlama ısı transferi için,

$$Q_{kay} = \frac{A_{ro} \sigma (T_r^4 - T_c^4)}{\frac{1}{\varepsilon_r} + \frac{1 - \varepsilon_c}{\varepsilon_c} \frac{A_{ro}}{A_{ci}}} \quad (18)$$

eşitliği yazılır [13]. Cam yüzey ile çevre havası arasında taşınım ve ışınlama ısı geçişi gerçekleşmektedir. Cam yüzeyden ışınlım ve taşınım olan ısı transferinin toplamı sürekli rejimde yutucu yüzeyden cam yüzeye olan ışınlama ısı transferine eşit alınır. Bunun sebebi vakum ortamında taşınım ısı transferi gerçekleşmez. Dolayısıyla şu eşitlik yazılabilir [13].

$$Q_{kay} = A_{co} h_{dış} (T_c - T_{çev}) + A_{co} \sigma \varepsilon_c (T_c^4 - T_{çev}^4) \quad (19)$$

Burada $T_{çev}$ (K) çevre sıcaklığı, σ ($W/m^2 K^4$) Stefan-Boltzmann katsayısıdır ve değeri $5.67.10^{-8}$ dir. T_c (K) cam yüzey sıcaklığı, A_{co} alıcı yüzey dışındaki cam borunun dış yüzey alanı (m^2) ve $h_{dış}$ ($W/m^2 K$) cam dış yüzeyindeki ısı taşınım katsayısıdır ve rüzgar hızına, V (m/s), bağlı olarak şu eşitlikten hesaplanır [13]:

$$h_{dış} = 4V^{0.58} D_{co}^{-0.42} \quad (20)$$

Isıl verim faydalı ışınlımın yutulan ısıya oranı olarak şu şekilde tanımlanır [13]:

$$\eta_{th} = \frac{Q_u}{Q_s} \quad (21)$$

2.3 Toplayıcı Özellikleri

Parabolik oluk tip bir güneş toplayıcısı parabol şeklinde bir yansıtıcı yüzey (açıklık alanı) ve bu parabolün merkezine yerleştirilen alıcı yüzeyden oluşur. Alıcı yüzey ise, akışkanın aktığı boru ile bunu kuşatan cam bir koruyucu silindirden oluşur. Boru ile cam silindir arasında vakum oluşturulur. Böylece sıcak akışkanın aktığı borudan ısı kayıpları azaltılmış olur. Tüm bu toplayıcı yatay eksenli olarak tek boyutlu güneşi takip eder. Genelde Kuzey-Güney eksenli olarak güneşi takip eden POT üzerine güneşten gelen direkt ışınlımlar düşer. Bu çalışmada kullanılan POT ölçüleri ve bazı özellikleri Tablo1'de verilmiştir.

3. SİMÜLASYON VE BULGULAR

Bu çalışmada yukarıda verilen model eşitlikleri kullanılarak MATLAB programlama

Table 1. POT Ölçüleri ve Özellikleri

Parametre	Sembol	Büyükük
Genişlik	W	5.0 m
Uzunluk	L	7.8 m
Odak Uzunluğu	f	1.71 m
Açıklık alanı	A_a	39 m ²
Yoğunlaştırma Oranı	C	22.74
Alıcı boru iç çapı	D_{fi}	66.10 ⁻³ m
Alıcı boru dış çapı	D_{fo}	70.10-3 m
Cam silindir iç çapı	D_{ci}	109.10-3 m
Cam silindir dış çapı	D_{co}	115.10-3 m
Cam ışınım yayma oranı	ϵ_c	0.9
Cam ışınım geçirme oranı	τ	0.95
Absorber ışınım yutma oranı	α	0.96
Açıklık alanı yansıtma oranı	ρ_c	0.83
Absorber ışınım yayma kat.	ϵ_r	0.2
Maksimum optik verim	η_{opt}	0.75

dilinde bir program yazılmış ve simülasyon çalışması yapılmıştır. Tüm hesaplamalar anlık yapılmıştır. Güneşten gelen anlık güneş ışınımı değerleri hesaplanarak POT model denklemlerine taşınmış ve model denklemlerinin çözümü ile anlık POT verimi ve faydalı ısı değerleri hesaplanmıştır. Bu simülasyon çalışmasında belirlenen bölge için günlük maksimum ve minimum sıcaklık değerleri kullanılarak anlık çevre sıcaklıkları hesaplanmıştır. Çevre sıcaklıkları için anlık değerler kullanılmıştır. Toplayıcıda geçen akışkan debisi, toplayıcıya akışkan giriş sıcaklığı ve rüzgar hızı sabit alınmıştır. Anlık hesaplanan değerler kullanılarak günlük, aylık ve yıllık değerler de hesaplanmıştır.

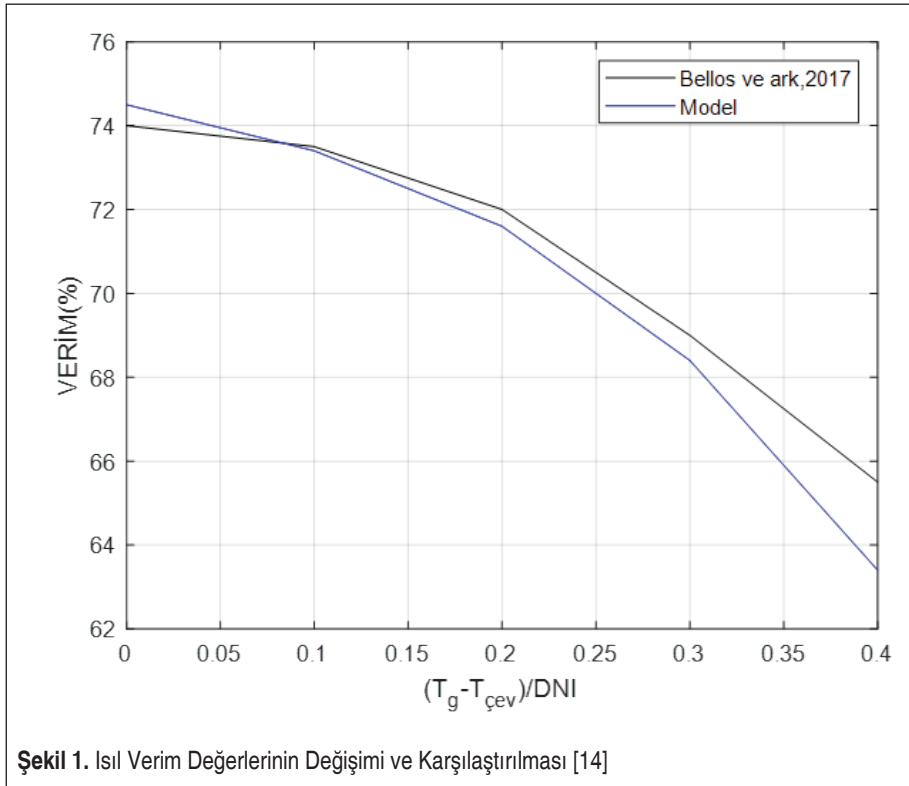
Öncelikle modelin doğruluğu göstermek için aynı toplayıcı boyut ve özellikleri kullanılarak deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırma yapılmıştır. Bunun için aynı çevresel şartlar kabul edilmiş ve anlık direkt ışınım değeri 900W/m², rüzgar hızı 3 m/s ve akışkan debisi 5 m³/h olarak alınmıştır. Aynı özelliklere sahip bir toplayıcı üzerinde yapılan deneysel çalışma sonuçları ile model kullanılarak elde edilen simülasyon sonuçları Şekil 1’de karşılaştırılmış ve oldukça iyi bir uyumun olduğu gösterilmiştir.

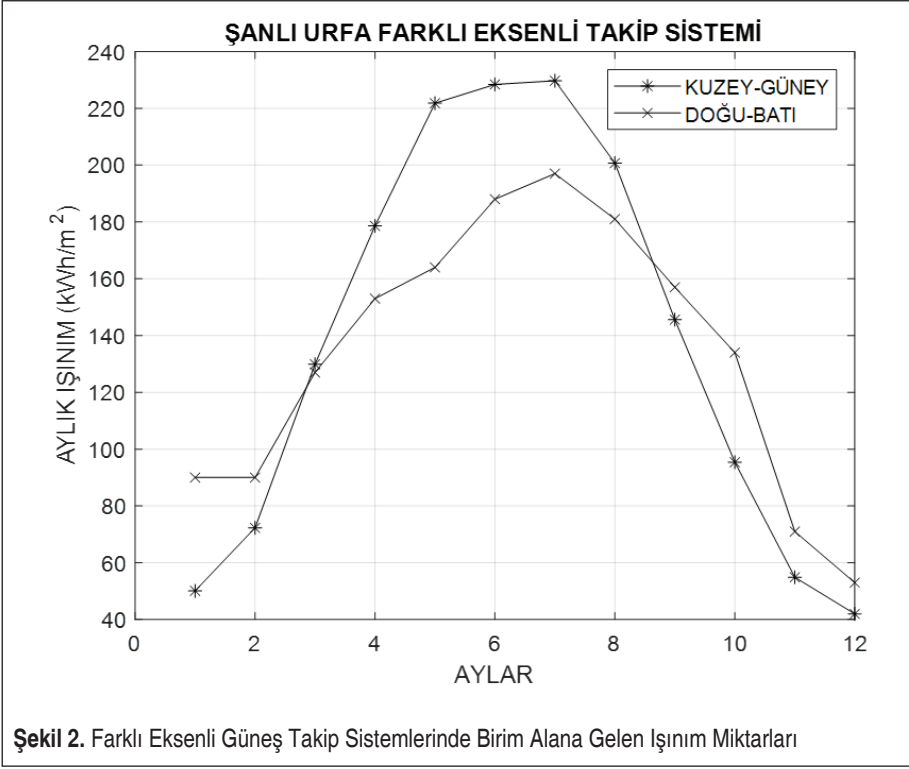
Direkt anlık yatay ışınım hesabı için kullanılan DPP modeli ile birim yatay düzleme gelen anlık güneş ışınımı hesaplamaları yapılmıştır. Ayrıca farklı eksenli olarak gü-

neşi takip eden sistemlerde birim yüzeye gelen güneş ışınımı hesaplamaları da yapılmış ve Kuzey-Güney eksensli güneş takip sistemlerinin kullanılmasının uygun olduğu gösterilmiştir. Şekil 2’de Kuzey-Güney ve Doğu-Batı eksensli takip sistemi için birim alana gelen aylık güneş ışınımı miktarlarının karşılaştırılması görülmektedir.

Çalışmada kullanılan modelden elde edilen değerlerin doğruluğunu göstermek amacıyla yakın enlem derecesinde yer alan bir bölge için yapılan modelleme çalışması ile (İtalya) karşılaştırma Şekil 3’de görülmektedir. Kullanılan modelin yaz ayları için biraz daha yüksek ışınım değerleri verdiği bu şekilden görülmektedir. Ancak her iki bölgenin enlem dereceleri yakın olmakla birlikte, Şanlıurfa ilinin kurak bölgede yer alması Gela bölgesinin de deniz kıyısında olması sebebiyle bu farkın olabileceği değerlendirilmektedir.

Ülkemizde güneş ışınımının bol olduğu bölgeler seçilerek parabolik oluk tipi toplayıcının ısıl performansı incelenmiştir. Anlık çevre sıcaklığı, direkt güneş ışınımı, faydalı ısıl güç ve verim hesapları yapılarak öncelikle aylık ortalama değerler elde edilmiştir. Aylık ortalama günlük POT ısıl güç değeri ile verim değerleri de Şekil 4’ de görülmektedir. Beklenildiği gibi yaz aylarında yani güneş ışınımının bol olduğu zamanlarda

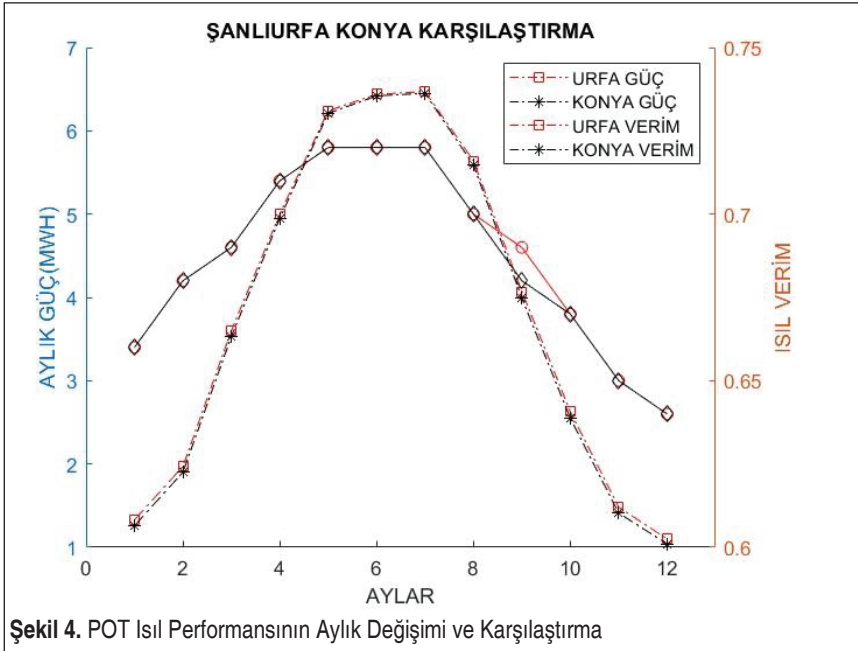
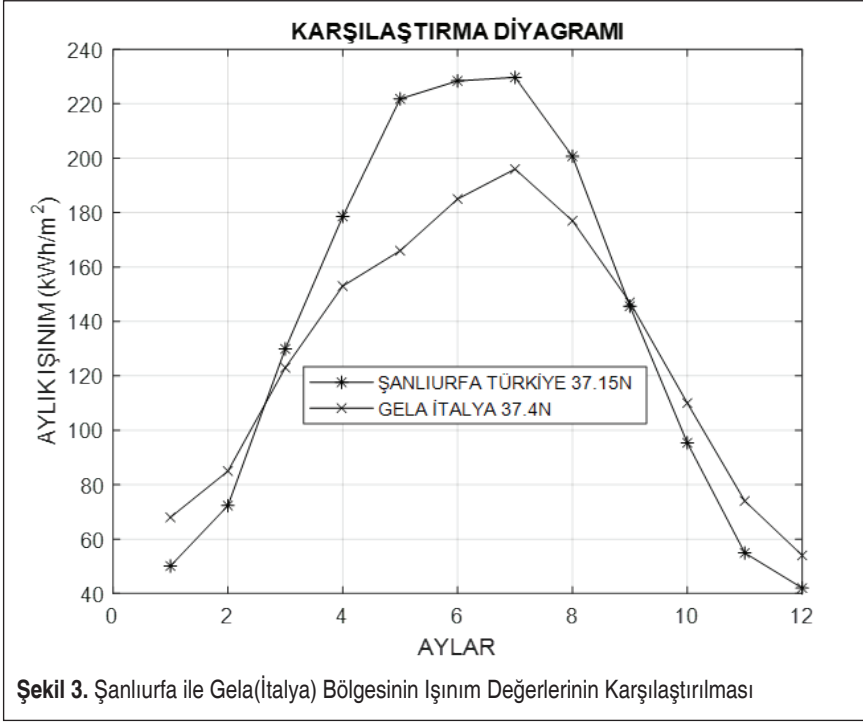


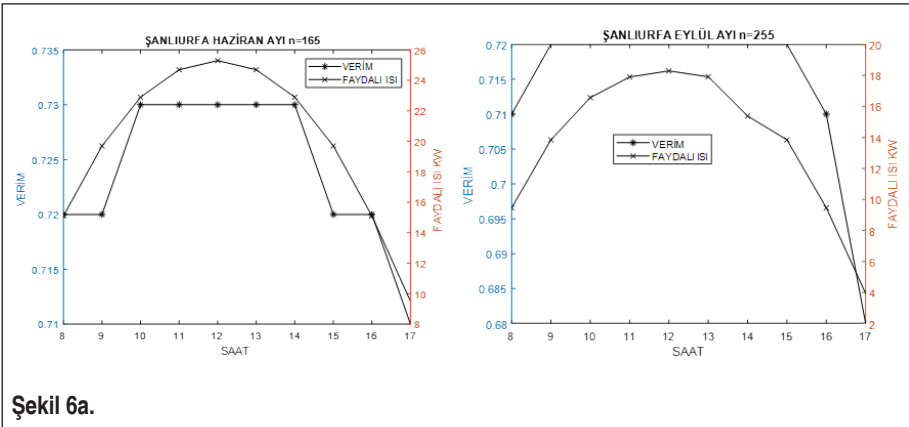
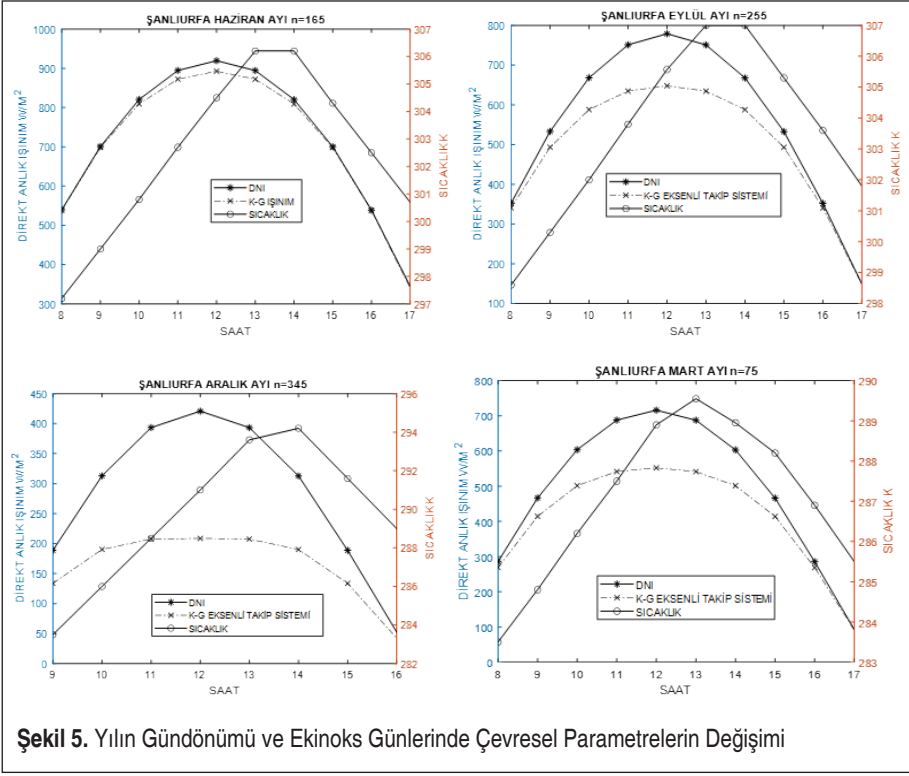


verim ve güç değerleri artmaktadır. Birbirine yakı olan iki bölgenin karşılaştırması da bu şekilden görülmektedir. Çevre sıcaklığı ve ışıınım değerlerinin daha yüksek olduğu Şanlıurfa ilinde verim güç değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir.

POT ısı performansının saatlik değişim değerleri ise yılın ekinoks ve gündönümü günleri için hesaplanmıştır. Seçilen günler için güneşin doğuşundan itibaren saatlik değerler hesaplanmış ve diyagramlar şeklinde verilmiştir. Şekil 5’ de saatlik; çevre sıcaklığı, anlık yatay düzleme gelen direkt ışıınım ve kuzey-güney eksenli takip sistemli birim düzleme gelen ışıınım değerlerinin değişimi görülmektedir. Şekil 6’da ise yılın aynı günleri için saatlik verim ve faydalı ısı ısı değerlerinin değişimi verilmiştir.

Çalışmada güneş ışıınımı yüksek olan, İç Anadolu ve Güney-Doğu Anadolu bölgesinde yer alan iki ayrı şehir için “case study” çalışması yapılmıştır. Güneş ışıınımı değerleri birbirine yakın olan bu iki bölgenin çevre sıcaklık değerleri farklıdır. Çevresel şartların ısı performansına etkisi Tablo 2’de görülmektedir. Işıınım şiddeti ve çevre sıcaklığının yüksek olduğu bölgede bir miktar daha fazla ısı güç elde edilmektedir. Yıllık bazda değerlendirildiğinde %2 civarında daha fazla ısı güç üretildiği görülmektedir.





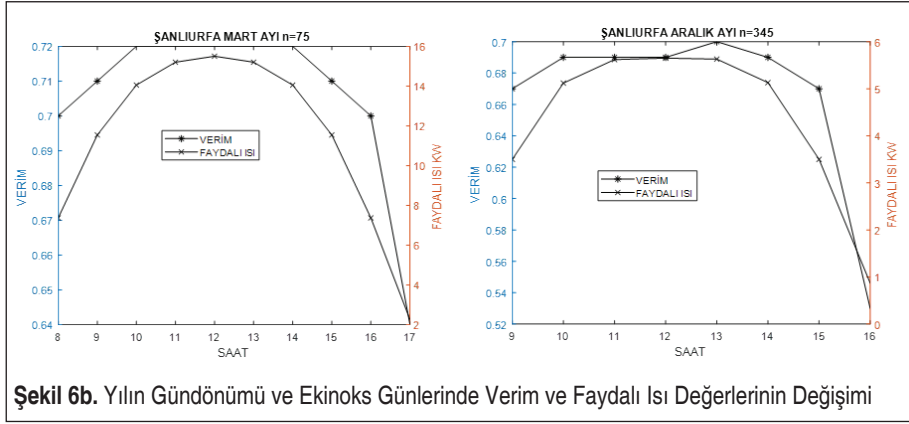


Table 2. İki Farklı Bölgenin Isıl Performans Değerlerinin Karşılaştırılması

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	YILLIK
Verim Şanlıurfa	0.66	0.68	0.69	0.71	0.72	0.72	0.72	0.70	0.69	0.67	0.65	0.65	0.69
Verim Konya	0.66	0.68	0.69	0.71	0.72	0.72	0.72	0.70	0.68	0.67	0.65	0.64	0.68
Isıl Güç (MWh) Şanlıurfa	1.33	1.97	3.61	5.01	6.24	6.44	6.47	5.64	4.07	2.63	1.48	1.11	46.0
Isıl Güç (MWh) Konya	1.26	1.90	3.53	4.95	6.21	6.42	6.45	5.59	3.99	2.55	1.41	1.04	45.3

3. SONUÇ VE TARTIŞMA

Güneş enerjisi ısıl uygulamalarında ön plana çıkan, güneşten buhar üretimi ve soğutma sistemlerinde kullanılan parabolik oluk tipi toplayıcılar güneş takip sistemi ile kullanılmaktadırlar. Takip ekseninin doğru tespit edilmesi önemlidir. Yapılan bu çalışmada K-G ve D-B eksenli yerleştirme durumunda yüzeye gelen anlık direkt güneş ışınımı miktarları hesaplanmış ve karşılaştırması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, K-G eksenli yerleştirme durumunda daha fazla ışınım enerjisi yüzeye geldiği görülmüştür. Kış aylarında D-B eksenli takip sistemli yüzeylere gelen ışınım bir miktar daha fazla olmakla birlikte, yıllık olarak K-G eksenli yüzeye 1649 kW/m² ışınım enerjisi gelirken, D-B eksenli yüzeye 1540 kW/m² ışınım enerjisi geldiği hesaplanmıştır. Direkt güneş ışınımı hesabı için kullanılan DPP modeli ile Şanlıurfa bölgesi için elde edilen değerlerin, başka bir model kullanılarak İtalya'nın Gela bölgesi için yapılan hesaplamalarda elde edilen değerlerle yakın olduğu bulunmuştur.



Aylık ısı güç ve verim değerleri incelendiğinde Nisan-Ağustos aylarının en yüksek verimle en fazla ısı gücünü elde edildiği zaman aralığı olduğu görülmektedir. Bu aylarda soğutma ihtiyacının da arttığı bilinmektedir. Dolayısıyla POT sistemlerinin güneş enerjisi kaynaklı absorpsiyonlu soğutma sistemleri için çok uygun olduğu sonucuna varmak mümkündür.

Yatay birim düzleme gelen direkt güneş ışınımı ile K-G eksenli birim düzleme gelen güneş ışınımını yılın dört farklı gününde saatlik değişimleri incelenmiştir. Kış aylarında güneş geliş açısına bağlı olarak takip sistemli birim yüzeye gelen ışınımın, yatay düzleme gelen ışınımından düşük değerlerde olduğu bulunmuştur. Yaz aylarında iki değer arasındaki makasın azaldığı ve her iki değer birbirine oldukça yaklaştığı belirlenmiştir.

Bu çalışmada elde edilen bir diğer önemli sonuç ise çevre sıcaklığının ısı verim ve dolayısıyla da ısı güç değeri üzerindeki etkisidir. Artan çevre sıcaklığı ısı kayıpları azalttığı için ısı verimin artmasına sebep olmaktadır. Konya ve Şanlıurfa için yapılan hesaplamalar da bu etki açık olarak görülmektedir. Daha sıcak çevre sıcaklığının görüldüğü Şanlıurfa ilinde üretilen güç ve verim değerlerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla bu sistemlerin çevresel faktörlerden çevre sıcaklığı ve ışınım şiddetinin yüksek olduğu bölgelere kurulması uygun olacaktır. Diğer taraftan bir diğer çevresel faktör olan rüzgar hızının ise güç ve verim değerlerini düşürdüğü görülmüştür. Dolayısıyla hakim rüzgar hızlarının düşük olduğu bölgelerin seçilmesine dikkat edilmesi gerekir.

KAYNAKÇA

1. **Yiğit A., Arslanoğlu N.** (2021). Anlık ışınım şiddeti ve çevresel faktörlere bağlı optimum PV panel açısı, verim ve güç üretiminin incelenmesi. *Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering*, 26, 301-313.
2. **Yiğit A., Arslanoğlu N.** (2021). Parabolik oluk tipi güneş kolektörlerinin ısı analizi ve parametrik incelenmesi. *Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering*, 26, 777-786.
3. **Behar O., Khellaf A., Mohammedi K.** (2015). Comparison of solar radiation models and their validation under Algerian climate- The case of direct irradiance. *Energy Conversion and Management* 98, 236-251.
4. **Desideri U., Campana P. E.** (2014). Analysis and comparison between a concentrating solar and photovoltaic power plant. *Applied Energy*, 113, 422-433.
5. **Akba T., Baker D., Yazıcıoğlu A. G.** (2020). Modeling, transient simulations and parametric studies of parabolic trough collectors with thermal energy storage. *Solar Energy*, 199, 497-509.



6. **Mouaky A., Merrouni A. A., Laadel N. E., Bennouna E. G.** (2019). Simulation and experimental validation of a parabolic trough plant for solar thermal applications under the semi-arid climate conditions, *Solar Energy*, 194, 969-985.
7. **Bellos E., Tzivanidis C., Belessiotis V.** (2017). Daily performance of parabolic trough solar collectors. *Solar Energy*, 158, 663-678.
8. **Fasquelle T., Q. Falcoz, P. Neveu, F. Lecat, G.** (2017). Flamant, A thermal model to predict the dynamic performances of parabolic trough lines. *Energy*, 141, 1187-1203.
9. **Rathod N., Bella A. L., Puleo, G., Scattolini R., Rossetti A., Sandroni C.** (2019). Modelling and predictive control of a solar cooling plant with flexible configuration. *Journal of Process Control*, 76, 74-86.
10. **Duffie J.A., Beckman, W.A.** (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes Solar Engineering*, fourth ed.
11. **Kalogirou S. A.** (2012). A detailed thermal model of a parabolic trough collector receiver. *Energy*, 48, 298-306.
12. **Peiro G., Gasia J., Miro L., Prieto C., Cabeza L.F.** (2017) . Influence of the heat transfer fluid in a CSP plant molten salts charging process. *Renewable Energy*, 113, 148-158.
13. **Evangelos B., Christos T., Kimon A. Antonopoulos, K.A.** (2017). A detailed working fluid investigation for solar parabolic trough collectors. *Applied Thermal Engineering*, 114, 374-386.
14. **Evangelos B., Tzivanidis C., Belessiotis V.** (2017). Daily performance of parabolic trough solar collectors *Solar Energy*, 158, 663-678.