

Isı ve elektrik enerjisi üretimi için doğal gazı yeşil bir çözüm: Güneş enerjisi uygulamalarıyla bir örnek olay incelemesi

A green solution to natural gas for heat and electric power generation: A case study with solar energy applications

Mert ÖKTEN *¹ 

¹Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 45100, Manisa

• Geliş tarihi / Received: 10.01.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 13.06.2023

Öz

Enerji, ekonomik, endüstriyel ve toplumsal kalkınma için hayati öneme sahiptir. Enerji tüketimindeki artış istikrarlı bir şekilde artmaktadır. Sera gazı emisyonlarına, hava, su ve toprak kirliliğine neden olan fosil kökenli yakıtların yerini sürdürülebilir ve çevre dostu yenilenebilir enerji kaynakları almaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının temelini oluşturan güneş enerjisi, hem elektrik enerjisi üretiminde hem de termal enerji üretiminde kullanılabilir. Bu çalışmada güneş enerjisi uygulamaları ile Ankara ili iklim şartlarında, iki kişilik bir evin elektrik ve ısınma ihtiyacının karşılanması incelenmiş, çevresel analizi yapılmıştır. Çalışmada fotovoltaiik paneller, vakum tüplü U-borulu güneş kolektörü ve fotovoltaiik termal panellerin ayrı ayrı ve birlikte kullanımı ile elde edilecek enerji miktarı hesaplanmıştır. Ayrıca fotovoltaiik termal panellerde çalışma akışkanı olarak su ile birlikte Al_2O_3+CuO hibrit nanoakışkanı da kullanılarak, nanoakışkan kullanımının termal enerji transferine etkisi de araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, sadece fotovoltaiik panel kullanımı ile enerji ihtiyacının karşılanması için 11 adet 325 W gücünde panele, sadece fotovoltaiik termal panel kullanımı ile karşılanması durumunda ise 7 adet 300 W elektrik, 600 W termal güce sahip panel gerektirdiği hesaplanmıştır. Ayrıca fotovoltaiik termal sistemde Al_2O_3-CuO hibrit nanoakışkanının saf su yerine kullanılması ile verimde %19.41 oranında artış sağladığı görülmüştür. Enerji ihtiyacını karşılamak için güneş enerjisi kullanımının dünyada artan doğal gaz sorununa hem yerli enerji kaynağı kullanılarak ekonomiye hem de sera gazı emisyonlarını azaltarak çevresel çözüm olacağı önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: Doğal gaz, Güneş enerjisi, PV, PV/T, Vakum tüplü U borulu güneş kolektörü, Yenilenebilir enerji.

Abstract

Energy is crucial for economic, industrial, and social development. The increase in energy consumption is steadily rising. Fossil fuels, which cause greenhouse gas emissions, air, water, and soil pollution, are being replaced by sustainable and environmentally friendly renewable energy sources. Solar energy, which is the basis of renewable energy sources, can be used in both electricity and thermal energy production. In this study, the use of solar energy applications for meeting the electricity and heating needs of a two-person household under Ankara's climate conditions was examined, and an environmental analysis was conducted. The amount of energy that will be obtained by using photovoltaic panels, vacuum tube U-pipe solar collectors, and photovoltaic thermal panels separately and together was calculated. In addition, the effect of using Al_2O_3+CuO hybrid nanofluid in photovoltaic thermal panels as a working fluid on thermal energy transfer was investigated. As a result of the study, it was calculated that 11 panels with a power of 325 W would be required for meeting the energy demand with only photovoltaic panel use, and 7 panels with 300 W electricity and 600 W thermal power would be required for meeting the energy demand with only photovoltaic thermal panel use. Moreover, it was observed that using Al_2O_3-CuO hybrid nanofluid in photovoltaic thermal systems instead of pure water increased efficiency by 19.41%. It is recommended that the use of solar energy to meet energy needs will be both an economic solution by using a domestic energy source and an environmental solution by reducing greenhouse gas emissions, addressing the increasing natural gas problem in the world.

Keywords: Natural gas, Solar energy, PV, PV/T, Vacuum tube U-pipe solar collector, Renewable energy.

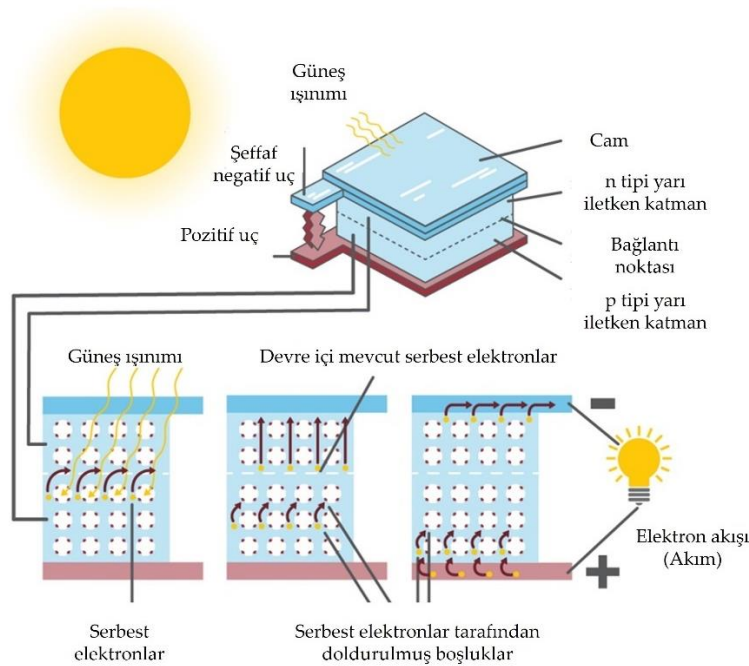
* Mert ÖKTEN; mert.okten@cbu.edu.tr

1. Giriş

1. Introduction

Enerji, iktisadi gelişmenin en önemli unsurudur. Dünyada istikrarlı bir şekilde artmakta olan enerji tüketimi ağırlıklı olarak doğal gaz, kömür, petrol gibi fosil kökenli yakıtlarla giderilmektedir. Fosil kökenli yakıtların rezerv kısıtlılığı ile çevreye ve atmosfere olan zararları göz önüne alındığında alternatif, sürdürülebilir, yeşil bir yol bulunması elzem olmuştur. Yenilenebilir enerji denilen bu kaynaklar güneş, rüzgar, hidrolik, biyokütle gibi çevreyi kirletmeyen, sera gazı emisyonuna sebebiyet vermeyen yeşil yakıtlardır. Ayrıca karbon ayak izinin minimize edilmesinde büyük rol oynamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının ve karasal yaşamın temelini oluşturan elektromanyetik enerji (güneş radyasyonu), güneşteki hidrojen elementinin füzyon tepkimesi ile helyuma dönüşmesi sırasında açığa çıkmaktadır. Güneş enerjisinden güneş ısısını veya güneş ışığını yakalayarak yararlanılmaktadır (Bellos vd., 2015; Tuncer vd., 2023; Khanlari vd., 2023.).

Güneş enerjisinden fotovoltaik (PV) hücreler vasıtasıyla elektrik enerjisi elde edilmektedir (Şekil 1) (EIA, 2022).



Şekil 1. Fotovoltaik (PV) hücre (EIA, 2022)

Figure 1. Photovoltaic (PV) cell (EIA, 2022)

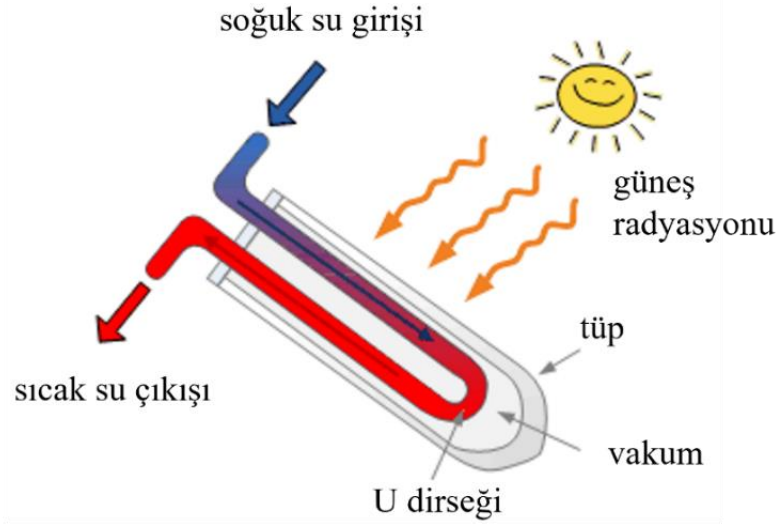
PV hücrelerin birleşiminden oluşan PV paneller, monokristal (η =%13-16), polikristal (η =%11-16), ince film (η =%7-11) ve esnek (η =%4-8) olmak dört çeşittir (Solimpeks, 2022).

Sıfır karbon emisyonlu binalar konsepti doğrultusunda PV paneller ile elektrik ihtiyacının karşılanmasına yönelik araştırmalar son yıllarda artmıştır. Albadry vd. (2017) Mısır'da, Tavares vd. (2022) Portekiz'de, Krarti (2021) ABD'de, Mohammed vd. (2022) Suudi Arabistan'da, Sim & Suh (2021) G.Kore'de, Bhuvad & Udayraj (2022) Hindistan'da ve Türkiye'de Bakır (2022) ve Er (2023) PV paneller kullanarak binalarda enerji tasarrufu sağlamaya çalışmışlardır. Tarragona vd. (2022) yaptığı çalışmada PV panel kullanımının Helsinki, Strasburg ve Atina'da elektrik şebekesi tüketiminde sırasıyla %34, %54 ve %90'a varan düşümlere katkıda bulunduğu görülmüştür. Ayrıca 30 kWp'lik bir çatı üstü fotovoltaik güneş enerji santralinin modellendiği çalışmada da geri ödeme süresinin 6 yıl olarak bulunmuştur (Ateş, 2023).

Güneş enerjisi uygulamalarından biri de güneş kolektörleridir. Genellikle kullanım suyu ısıtmak için kullanılan bu cihazlar güneş radyasyonunu toplar veya yoğunlaştırır (Boyle, 2004). Düz plakalı (\mathcal{N} = 30 – 80 °C), vakum tüplü (\mathcal{N} = 50 – 200 °C), bileşik parabolik yoğunlaştırıcı (CPC) (\mathcal{N} = 60 – 240°C), parabolik oluklu toplayıcılar (PTC) (\mathcal{N} = 60 – 300 °C), doğrusal Fresnel reflektör (LFR) (\mathcal{N} = 60 – 250 °C), parabolik çanak

($\lambda = 100 - 500 \text{ }^\circ\text{C}$) ve güneş kulesi ($\lambda = 150 - 2000 \text{ }^\circ\text{C}$) olmak üzere yedi tip güneş kolektörü mevcuttur (Wang vd., 2016).

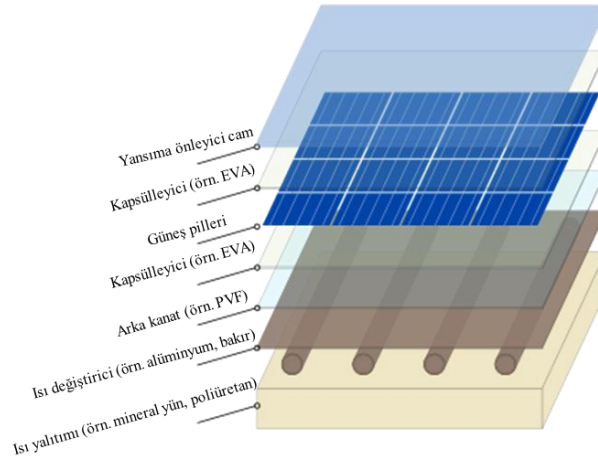
Popüler güneş kolektörü tiplerinden biri U tipi vakum tüplü güneş kolektörüdür (Şekil 2) (Alternative Energy Tutorials, 2022). Bu kolektörde dış cam tüpün dış yüzeyine gelen güneş radyasyonu, iç cam tüpün dış yüzeyine aktarılır ve daha sonra kanatçık malzemesi tarafından emilerek U şeklindeki bakır borunun içindeki çalışma sıvısına aktarılır.



Şekil 2. Vakum tüplü U borulu güneş kolektörü (Alternative Energy Tutorials, 2022)
Figure 2. U-pipe solar collector with vacuum tube (Alternative Energy Tutorials, 2022)

Güneş simülatöründe vakum tüplü U-borulu güneş kolektörü test edildiği bir çalışmada absorber alanına göre verimin %38-56 arası değiştiği, akışkan debisindeki artışın verimi artırdığı görülmüştür (Özsoy & Galip, 2018). U borulu güneş kolektörlerinde performans iyileştirmesine yönelik yapılan çalışmalarda faz değiştiren malzemeler (Lim & Sobhansarbandi, 2022; Li vd., 2022) ve nanoakışkanlar (Kim vd., 2017; Kaya vd., 2020) da kullanılmaktadır.

Fotovoltaik modüller ile güneş kolektörlerinin bir sistemde birleşmesiyle meydana gelen fotovoltaik termal (PV/T) güneş kolektörleri, hem ısı hem de elektrik üretimi eldesinde kullanılan hibrit güneş enerjisi uygulamasıdır (Şekil 3) (Ramos vd., 2019). Fotovoltaik pillerin $25 \text{ }^\circ\text{C}$ olan çalışma sıcaklıklarının üstünde oluşan sıcaklık değerlerinde, sistem soğutularak elektrik enerjisi verimi artırılırken, ortaya çıkan atık ısıdan da faydalanılmaktadır.



Şekil 3. Fotovoltaik termal (PV/T) güneş kolektörü (Ramos vd., 2019)
Figure 3. Photovoltaic thermal (PV/T) solar collector (Ramos vd., 2019)

[Strebkov & Filippchenkova \(2021\)](#) ANSYS Fluent yazılım paketini kullanarak PV/T modülünün bir CFD modeli geliştirdikleri çalışmada, hesaplanan değerlerin analitik ve deneysel olarak elde edilen verilerle karşılaştırılabilir olduğu sonucuna ulaşmışlardır. [Özakın & Kaya \(2019\)](#) hava akışkanlı PV/T sisteminin iyileştirilmesi için kanatçık ilavesi kullanmışlar ve %55-70 oranında ısı verim artışı elde etmişlerdir. Madrid’de yapılan bir çalışmada, PV/T panelin kullanılması yalnızca bir PV hücre performansına göre daha verimli olduğu belirtilmiş ve özellikle kullanım suyu için çıkış suyu sıcaklığı aşırı yüksek olmadığında kullanımı önerilmiştir ([Morena vd., 2017](#)). Kanada’da müstakil evlerde alan ve kullanım sıcak suyu ısıtması için yapılan çalışmada PV tabanlı sistemler ile güneş kolektörü tabanlı sistemler karşılaştırılmış, PV tabanlı sistemin uygulanmasının, düşük maliyet, yüksek çıkış gücü, esneklik ve kolay kurulum dikkate alındığında oldukça uygun olacağı sonucuna ulaşmışlardır ([Rahaman & Iqbal, 2019](#)). St. Petersburg şehrinde bir binanın tatlı su, elektrik ve ısıtma ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla PV/T ve PTC güneş enerjisi sistemi önerilmiş, bu senaryonun çevresel ve ekonomik olarak sürdürülebilir olduğunu belirtmişlerdir ([Deymi-Dashtebayaz vd., 2022](#)). PV panellerin elektrik üretimini artırmak için yapılan çalışmada, fotovoltaiik hücre üretiminde kullanılan diyotlara Mn nano parçacık katkısının diyotların ışığa duyarlılığını geliştirdiği sonucuna ulaşmışlardır ([Demirbilek vd., 2023](#)). PV panellerin soğutma işlemlerinde [Şen & Çeliktaş \(2022\)](#) faz değiştiren malzeme, [Ökten \(2022\)](#) faz değiştiren malzeme ve nanoparçacıkları beraber kullanmış ve çalışmalarında verim artırıcı sonuçlar elde etmişlerdir. Manyetik nanoakışkanlar kullanılarak, PV sisteminin soğutulması ve PV/T sisteminin termal ısı transferinin artırılması ile çift yönlü performans artışı sağlanmıştır ([Swese & Hançerlioğulları, 2022](#)). Al₂O₃-ZnO su nanoakışkanı ile çalışılan bir PV/T panelde %91’lik bir genel tepe termal verim elde edilmiş, bu verim su ile karşılaştırıldığında toplayıcının performansında %34’lük bir artışa denk gelmiştir ([Wole-Osho vd., 2020](#)).

Bu çalışmada, Ankara ili meteorolojik şartlarında iki kişilik bir dairenin, elektrik ve ısı enerjisi ihtiyacını doğal gaza alternatif olarak güneş enerjisi uygulamaları ile (PV panel + vakum tüplü U-borulu güneş kolektörü ile PV/T panel) karşılanması incelenecektir. Çalışmada kullanılan sıvı akışkanlı PV/T panellerde akışkan olarak su ve Al₂O₃+CuO hibrit nanoakışkanı da kullanılarak, termal enerji transferinde artış sağlanması beklenilmektedir. Dünyada artan doğal gaz sorununa yerli ve yenilenebilir enerji kaynağı kullanılarak enerji ve çevre sorunlarının çözümüne katkı sağlanması hedeflenmektedir.

2. Gereç ve yöntem

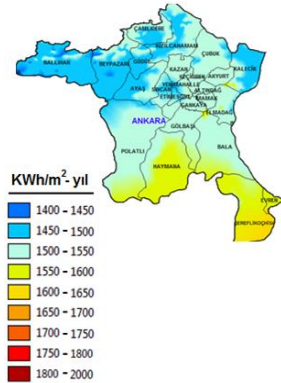
2. Equipment and method

Türkiye, güneş enerjisi potansiyeli açısından Avrupa ülkelerine göre oldukça elverişlidir ([Bahar & Ökten, 2021](#)). Coğrafi konumu 39.91° kuzey enlemi, 32.92° doğu boylamı olan Ankara’nın, yıllık ortalama güneşlenme süresi 2,506 saat, yıllık ortalama güneş radyasyonu miktarı ise 1,389 Wh/m²’dir ([Ökten, 2021](#)). Tablo 1’de Ankara ili için meteorolojik veriler belirtilmiştir ([MGM, 2022](#) ; [ETKB, 2022](#)).

Tablo 1. Ankara ili meteorolojik verileri

Table 1. Ankara province meteorological data

Ay	Sıcaklık (°C)	Güneşlenme süresi (h)	Radyasyon miktarı (kWh/m ²)
Ocak	0.20	2.60	1.69
Şubat	1.70	3.80	2.47
Mart	5.70	5.10	3.75
Nisan	11.20	6.50	4.74
Mayıs	16.10	8.40	6.01
Haziran	20.00	10.00	6.35
Temmuz	23.40	11.20	6.32
Ağustos	23.40	10.60	5.71
Eylül	18.90	9.10	4.70
Ekim	13.20	6.70	3.26
Kasım	7.30	4.60	1.97
Aralık	2.50	2.50	1.47



1 ve 2 arasında kararlı durum sürecinden geçen kapalı sistemler için termodinamiğin 1.yasası (enerjinin korunumu) matematiksel olarak denklem 1 ifade edilir ([Moran & Shapiro, 2006](#)).

$$\int_1^2 \delta Q - \int_1^2 \delta W = E_2 - E_1 \quad (1)$$

Güneş kolektörlerinde uniform toplayıcı plaka sıcaklığı için, akışkan tarafından emilen faydalı ısı oranı denklem 2’de gösterildiği şekildedir (Hottel & Woertz, 1942; Jafarkazemi & Ahmadifard, 2013).

$$\dot{Q}_f = \dot{m}c_p(T_c - T_g) \quad (2)$$

Uniform olmayan toplayıcı plaka sıcaklığı yerine genellikle ısı giderme faktörü (denklem 3) kullanılır.

$$\dot{Q}_f = F_R A_k [(\tau\alpha)_{ef} G - U_k (T_g - T_o)] \quad (3)$$

Hem konveksiyon hem de radyasyon yoluyla kolektörden atmosfere ısı transferi kayıplarını hesaba katılmasında ısı kayıp katsayısı (U_k) (denklem 4) kullanılır.

$$\dot{Q}_K = U_K A_k (T_k - T_o) \quad (4)$$

Isı giderme faktörü (F_R) denklem 5’teki gibi tanımlanır ve burada F' kolektör verimlilik faktörüdür.

$$F_R = \frac{\dot{m}c_p}{U_K A_k} \left[1 - \exp\left(\frac{-F' U_K A_k}{\dot{m}c_p}\right) \right] \quad (5)$$

Denklem 6’da termal güneş kolektörünün enerji verimliliği gösterilmiştir.

$$\eta_K = \frac{\dot{Q}_K}{G A_k} \quad (6)$$

Fotovoltaik panellerde genel ısı kaybı katsayısı, hem konveksiyon hem de radyasyondan kaynaklanan kayıpları içerir (denklem 7-10) (Sarhaddi vd., 2010; Kalogirou vd., 2016).

$$U_K = h_{kv} + h_{rad} \quad (7)$$

$$h_{kv} = 2,8 + 3v_R \quad (8)$$

$$h_{rad} = \varepsilon_{hücre} \sigma (T_{atm} + T_{hücre})(T_{atm}^2 + T_{hücre}^2) \quad (9)$$

$$T_{atm} = 0,0552 T_o^{3/2} \quad (10)$$

PV hücrelerinin enerji verimliliği için maksimum değer denklem 11’de verilmiştir.

$$\eta_{PV} = \frac{V_{oc} I_{sc}}{G A_{hücre}} \quad (11)$$

Fotovoltaik termal paneller, hem güneş kolektörlerinin hem de fotovoltaik panellerin kombinasyonu ile çalışmaktadır (denklem 12-14) (Lupu vd., 2019).

$$\dot{Q}_f = \dot{m}c_p(T_c - T_g) = F_R A_{PV/T} [(\tau\alpha)_{ef} G - U_k (T_g - T_o)] \quad (12)$$

$$F_R = \frac{\dot{m}c_p}{U_K A_{PV/T}} \left[1 - \exp\left(\frac{-F' U_K A_{PV/T}}{\dot{m}c_p}\right) \right] \quad (13)$$

$$\eta_{PV/T, tr} = \frac{\dot{Q}_K}{G A_{PV/T}} = F_R [(\tau\alpha)_{ef} - \frac{U_k (T_g - T_o)}{G}] \quad (14)$$

PV/T paneli için termal verimlilik, elektrik verimliliği ile birleştirilir (denklem 15,16). Burada su sirkülasyon pompası tarafından tüketilen elektrik gücünün analizde dikkate alınması gerekir.

$$\dot{E}_p = \frac{\dot{m}\Delta P}{\rho\eta_p} \quad (15)$$

$$\eta_{PVT,el} = \frac{V_{mp}I_{mp} - \dot{E}_p}{G A_{PV/T}} \quad (16)$$

Bu çalışmada PV/T panellerde akışkan olarak suyun dışında Al_2O_3 -CuO hibrit nanoakışkanı da kullanılacaktır. Hazırlanan nanoakışkanın partikül hacim konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak termofiziksel özellikleri hesaplanmalıdır. Bu bağlamda, nanoakışkanın yoğunluğu denklem 17'den, özgül ısı değeri denklem 18'den, ısı iletkenlik katsayısı denklem 19'dan ve dinamik viskozite değeri denklem 20'den hesaplanmaktadır (Gürbüz vd., 2021). Bu denklemlerde “n” alt indisi nanoakışkanı, “p” alt indisi nano partikülü, “ts” alt indisi ise temel sıvı akışkanı temsil etmektedir.

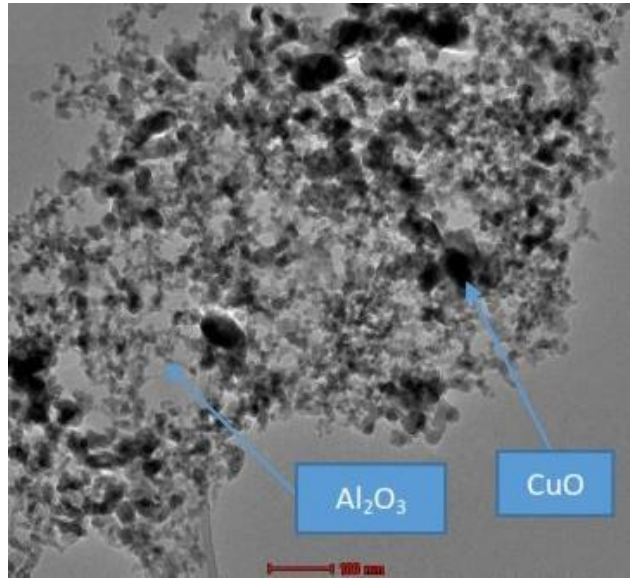
$$\rho_n = \phi\rho_p - (1 - \phi)\rho_{ts} \quad (17)$$

$$c_{p,n} = \phi c_{p,p} - (1 - \phi)c_{p,ts} \quad (18)$$

$$k_n = k_{ts} \frac{k_p + 2k_{ts} + 2\phi(k_p - k_{ts})}{k_p + 2k_{ts} - 2\phi(k_p - k_{ts})} \quad (19)$$

$$\mu_n = \mu_{ts}(1 + 2.5\phi) \quad (20)$$

Şekil 4'te Al_2O_3 -CuO hibrit nanoakışkanının geçirimli elektron mikroskobu (TEM) görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4. Al_2O_3 -CuO TEM görüntüsü (50:50)

Figure 4. Al_2O_3 -CuO TEM image (50:50)

3. Bulgular

3. Results

Ankara ilinde bulunan ve ısınma ile sıcak su ihtiyacını doğal gaz ile karşılayan evin 15 Kasım- 15 Nisan arasını kapsayan 5 aylık dönemde ortalama 15 m^3 , kalan 7 aylık dönemde de ortalama 5 m^3 doğal gaz kullanımı olmakla beraber toplamda 110 m^3 doğalgaz kullanımı gerçekleşmiştir. Bu kullanım yıllık $1,170.4 \text{ kWh}$ tüketime eşdeğerdir (Ökten, 2021). Ayrıca günlük ortalama 1.93 kWh elektrik enerjisi tüketimi olan bu evin doğal gaz kullanımıyla beraber yıllık elektrik tüketimi $1,874.85 \text{ kWh}$ 'dir.

Bu çalışmada elektrik ve doğal gaz kullanımının güneş enerjisi uygulamalarından olan fotovoltaik (PV) paneller + güneş kolektörleri ve fotovoltaik termal (PV/T) paneller ile ayrı ayrı karşılanması incelenmektedir.

3.1. Fotovoltaik (PV) paneller + Güneş kolektörleri

3.1. Photovoltaic panels + Solar collectors

Fotovoltaik panel ihtiyacı hesaplanırken denklem 21'den günlük gerekli olan enerji miktarı, güneşli gün sayısı ve sistem verimine göre kurulması gereken güç değeri bulunur. Sistem verimi fotovoltaik panel, akü ve inverter verimlerine bağlıdır (denklem 22) (Alkan vd., 2014).

$$\text{Gereken enerji miktarı} \left(\frac{kWh}{\text{gün}} \right) = \text{Kurulu güç (kW)} \times \text{Güneşlenme süresi} \left(\frac{h}{\text{gün}} \right) \times \eta_{sis} \quad (21)$$

$$\eta_{sis} = \eta_{PV} \times \eta_{akü} \times \eta_{inv} \quad (22)$$

Kullanılacak panel sayısı denklem 23 ile bulunur.

$$\text{Panel sayısı} = \frac{\text{Kurulu güç}}{\text{Panel gücü}} \quad (23)$$

Günlük 5.14 kWh gerekli enerji miktarı, 2.5 saat güneşlenme süresi (Aralık ayı) ve %58 sistem verimi değerlerine göre yapılan hesaplama sonucunda 3,545 kW kurulu güç gerektiği saptanmıştır. Bu değer 325 W gücünde 11 adet fotovoltaik paneller sağlanabilmektedir. Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerde bulunan temel elemanlar fotovoltaik panel, şarj kontrol cihazı, inverterdir. Şebekeye bağlı sistemlerde akü grubuna gerek yoktur. İnverter, yükün çekilebileceği maksimum gücü kaldırabilir düzeyde olmalıdır ve bir ev için hesaplanırken buzdolabı, aydınlatma, televizyon ve bilgisayar gibi cihazların aynı anda çalıştığı andaki toplam yük değerini karşılamalıdır.

Ortalama piyasa değeri 3,850 ₺ olan 325 W gücünde fotovoltaik panel, şarj kontrol cihazı, inverter ve sistem kurulum elemanları ile birlikte toplam fotovoltaik panel sistemi maliyeti 62,810 ₺'dir (morfikirler.com, 2022). 2022 yılı EPDK konutlarda elektrik birim tarifesi 1.7346 ₺/kWh'dir (EPDK, 2022). Yıllık elektrik tüketimi 1,874.85 kWh olan dairenin elektrik tüketim maliyeti 3,251.11 ₺'dir. Enflasyon oranı 0.84 (TCMB, 2022) ve faiz oranı 0.14'tür (Gu vd., 2018). 25 yıllık ekonomik ömür süresi olan fotovoltaik panel sisteminde amortisman süresi ise yaklaşık olarak 20 yıldır. Enflasyon ve döviz kurundaki dalgalanma, geri ödeme süresinin uzamasına sebebiyet vermektedir.

Güneş kolektöründen elde edilen enerji miktarı ANSYS Fluent Solar Calculator modülü ile hesaplanmıştır (Ansys, 2016). Solar Calculator modülünde hesaplama iki yöntemle olmaktadır. Bu yöntemlerden Uygun Hava Koşulları Yöntemi (Fair Weather Conditions Method) denklem 24'te, Teorik Maksimum Yöntemi (Theoretical Maximum Method) ise denklem 25-27'de gösterilmiştir.

$$Edn = \frac{A}{B \cdot e^{\sin \beta}} \quad (24)$$

$$Edn = S_{etrn} \times S_{unprime} \quad (25)$$

$$Ed = C \times Edn \times \frac{(1 + \cos \epsilon)}{2} \quad (26)$$

$$Er = Edn \times (C + \sin \beta) \times \vartheta_g \times \frac{(1 + \cos \epsilon)}{2} \quad (27)$$

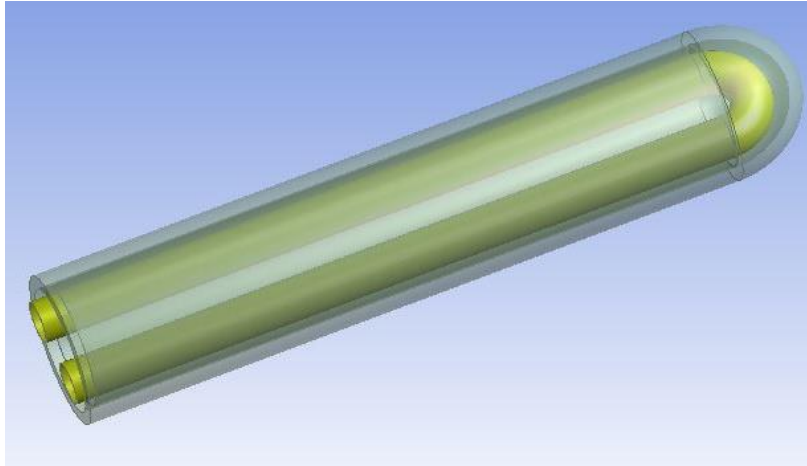
Bu eşitliklerde, Edn ; doğrudan normal ışınım miktarını, Ed ; dağınık güneş ışınım miktarını, Er ; topraktan yansıyan güneş ışınım miktarını, A, B ; görünür güneş ışınımını, β ; güneş yükseklik açısını, S_{etrn} ; atmosferin üstüne gelen doğrudan normal ışınım miktarını, $S_{unprime}$; düzeltme faktörünü, C ; sabit katsayı değerini, ϵ ; eğim açısını ve ϑ_g ; zemin yansıtma değerini belirtmektedir.

Tablo 2'de U-borulu vakum tüplü güneş kolektörünün özellikleri (Kıran Naik & Muthukumar, 2019; O'Neil & Sobhansarbandi, 2022) ve Aralık ayı için çevre ve çalışma akışkanı sıcaklık değerleri verilmiştir.

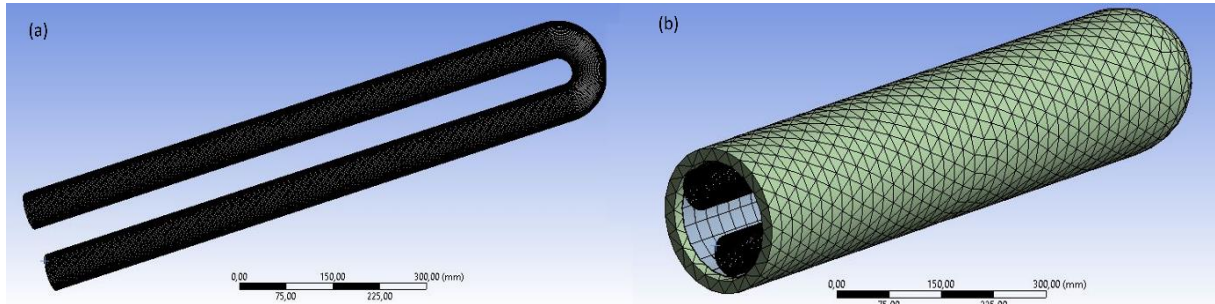
Tablo 2. U-borulu vakum tüplü güneş kolektörünün özellikleri
Table 2. Properties of U-pipe vacuum tube solar collector

Parametre	Değer
U borusu malzeme	Bakır
U borusu yarıçap (m)	0.027
U borusu kalınlık (m)	0.001
Termal iletkenlik katsayısı U borusu ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	368
Kanat tipi	Alüminyum
Kanat yarıçap (m)	0.08
Kanat kalınlık (m)	0.001
Termal iletkenlik katsayısı kanat ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	202
Cam boru yarıçap (m)	0.1
Cam boru kalınlık (m)	0.017
Termal iletkenlik katsayısı cam boru ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	0.7
Geçirgenlik katsayısı (τ)	0.907
Yutuculuk katsayısı (α)	0.93
Emicilik katsayısı (ϵ)	0.8
Çevre sıcaklığı ($^{\circ}C$)	5
Çalışma akışkanı	Su
Çalışma akışkanı giriş sıcaklığı ($^{\circ}C$)	15
Çalışma akışkanı çıkış sıcaklığı ($^{\circ}C$)	36
Çalışma akışkanı kütleli debisi ($kg \cdot s^{-1}$)	0.03
Reynolds sayısı	< 4,000

Şekil 5'te vakum tüplü U-borusunun teknik çizimi, Şekil 6'da da ağ örgüsü yapısı verilmiştir.



Şekil 5. Vakum tüplü U-borusu teknik çizimi
Figure 5. Vacuum tube U-pipe technical drawing



Şekil 6. Ağ örgüsü yapısı. (a) U-borusu ve (b) Vakum tüplü U-borusu
Figure 6. Mesh structure. (a) U-pipe and (b) Vacuum tube U-pipe

Şekil 6’da verilen ağ örgüsü yapısında 220,262 bağlantı noktası ve 114,993 ağ örgüsü elemanı bulunmaktadır. ANSYS Fluent Solar Calculator modülü ile yapılan hesap sonucunda 21 Aralık saat 13:00’da doğrudan gelen güneş ışınım miktarı 890.65 W/m^2 olarak bulunmuştur. 0.0823 m^2 absorbe alanına sahip olan U-borusunda kullanılabilir enerji miktarı 73.3 W , yıllık elde edilebilecek enerji miktarı da yaklaşık olarak 27 kW değerindedir.

Vakum tüplü U-borulu güneş kolektörünün PV panellerle birlikte kullanılmasında, gerekli PV panel sayısı 7’ye düşmektedir. Piyasa değeri ortalama $8,000 \text{ ₺}$ olan güneş kolektörü, sistemde kullanıldığı zaman sadece PV panellerin kullanıldığı sisteme göre yaklaşık $5,000 \text{ ₺}$ tasarruf sağlanmaktadır. Bu değerlere göre de sistem amortisman süresi yaklaşık 2 yıl azalarak 18 yıla düşmektedir.

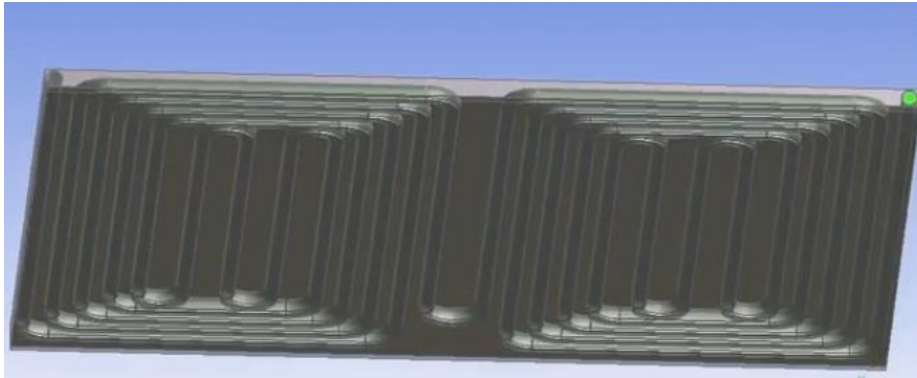
3.2. Fotovoltaik termal (PV/T) paneller

3.2. Photovoltaic thermal (PV/T) panels

Ortalama piyasa değeri $6,500 \text{ ₺}$ olan 300 W elektriksel, 600 W termal güce sahip bir su akışkanlı fotovoltaik termal panelden, günlük 5.14 kWh enerji miktarı gerekli olan eve 7 adet gerekmektedir. Sistemin amortisman süresi yaklaşık olarak 15 yıldır.

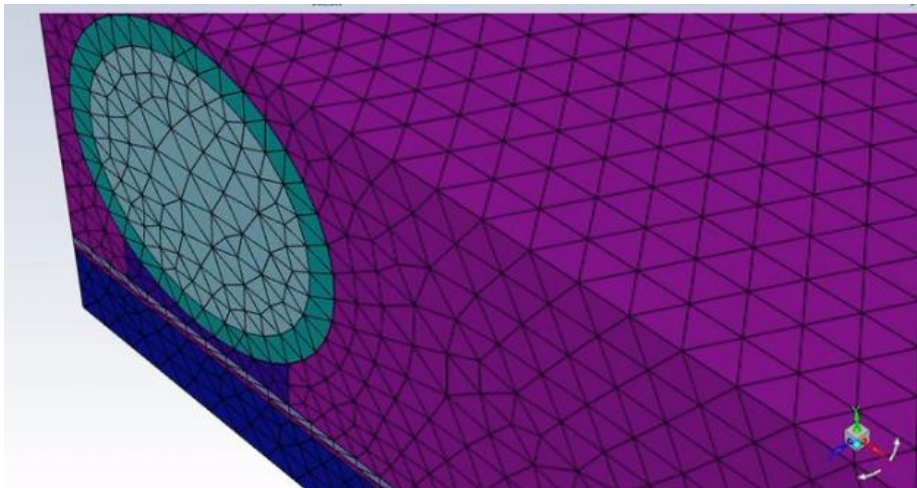
Fotovoltaik termal (PV/T) panellerde, çalışma akışkanı olarak $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CuO}$ hibrit nanoakışkanının kullanımı ANSYS Fluent yazılımı ile modellenmiştir. Sistemde kullanılan malzemeler ve termofiziksel özellikleri (Teo vd., 2012; Mercan & Yurddaş, 2019; Podder vd., 2022) ile Aralık ayı çevre ve çalışma akışkanı sıcaklık değerleri Tablo 3’te gösterilmiştir

Şekil 7’de fotovoltaik termal panelin teknik çizimi, Şekil 8’de ise ağ örgüsü yapısı verilmiştir.



Şekil 7. Fotovoltaik termal (PV/T) panel teknik çizimi

Figure 7. Photovoltaic thermal (PV/T) panel technical drawing



Şekil 8. Ağ örgüsü yapısı

Figure 8. Mesh structure

Tablo 3. PV/T sistem malzemeleri ve termofiziksel özellikleri
Table 3. PV/T system materials and thermophysical properties

Parametre	Değer
Fotovoltaik termal panel alan (m ²)	1.68
Fotovoltaik termal panel elektriksel güç (W)	300
Fotovoltaik termal panel termal güç (W)	600
Isı giderme faktörü	0.85
Cam kalınlık (m)	0.003
Termal iletkenlik katsayısı cam (W*m ⁻¹ *K ⁻¹)	0.7
Cam yoğunluk (kg*m ⁻³)	2,800
Cam özgül ısı kapasitesi (J*kg ⁻¹ *K ⁻¹)	750
EVA kalınlık (m)	0.0003
Termal iletkenlik katsayısı EVA (W*m ⁻¹ *K ⁻¹)	0.35
EVA yoğunluk (kg*m ⁻³)	960
EVA özgül ısı kapasitesi (J*kg ⁻¹ *K ⁻¹)	2,090
PV kalınlık (m)	0.013
Termal iletkenlik katsayısı PV (W*m ⁻¹ *K ⁻¹)	148
PV yoğunluk (kg*m ⁻³)	2,330
PV özgül ısı kapasitesi (J*kg ⁻¹ *K ⁻¹)	677
PVF kalınlık (m)	0.0004
Termal iletkenlik katsayısı PVF (W*m ⁻¹ *K ⁻¹)	0.2
PVF yoğunluk (kg*m ⁻³)	1,200
PVF özgül ısı kapasitesi (J*kg ⁻¹ *K ⁻¹)	1,250
Alüminyum (Al) kapak kalınlık (m)	0.003
Termal iletkenlik katsayısı Al (W*m ⁻¹ *K ⁻¹)	202
Al yoğunluk (kg*m ⁻³)	2,712
Al özgül ısı kapasitesi (J*kg ⁻¹ *K ⁻¹)	903
Bakır boru çap (m)	0.012
Termal iletkenlik katsayısı bakır (W*m ⁻¹ *K ⁻¹)	368
Bakır yoğunluk (kg*m ⁻³)	8,978
Bakır özgül ısı kapasitesi (J*kg ⁻¹ *K ⁻¹)	385
Termal iletkenlik katsayısı su (W*m ⁻¹ *K ⁻¹)	0.605
Su yoğunluk (kg*m ⁻³)	997.78
Su özgül ısı kapasitesi (J*kg ⁻¹ *K ⁻¹)	4,076.4
Termal iletkenlik katsayısı Al ₂ O ₃ (W*m ⁻¹ *K ⁻¹)	40
Al ₂ O ₃ yoğunluk (kg*m ⁻³)	3,970
Al ₂ O ₃ özgül ısı kapasitesi (J*kg ⁻¹ *K ⁻¹)	765
Termal iletkenlik katsayısı CuO (W*m ⁻¹ *K ⁻¹)	76.5
CuO yoğunluk (kg*m ⁻³)	6,320
CuO özgül ısı kapasitesi (J*kg ⁻¹ *K ⁻¹)	531.8
Çevre sıcaklığı (°C)	5
Çalışma akışkanı	Su, Al ₂ O ₃ -CuO hibrit nanoakışkanı
Çalışma akışkanı giriş sıcaklığı (°C)	15
Çalışma akışkanı giriş sıcaklığı (°C)	40
Çalışma akışkanı kütledebisi (kg*s ⁻¹)	0.03
Reynolds sayısı	< 4,000

Şekil 8'de verilen ağ örgüsü yapısında 4,268,957 ağ örgüsü elemanı bulunmaktadır. Modelleme sonucunda, Al₂O₃-CuO hibrit nanoakışkanının saf su yerine kullanılması ile verimde %19.41'lik bir iyileşme görülmüştür. Bu durumda sistemin gerekli enerji miktarının karşılanmasında 5 adet Al₂O₃-CuO hibrit nanoakışkanlı fotovoltaik termal panel kullanılması yeterli olacaktır. Sistem maliyetinde yaklaşık olarak 12,000 ₺ tasarruf sağlanacağı görülürken, sistemin amortisman süresi de yaklaşık 3 yıl azalarak 12 yıl olacağı hesaplanmıştır.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerince 1 MWh elektrik üretimi başına 0.44 ton CO₂ sera gazı emisyonu açığa çıkmaktadır. Elektrik üretimi doğal gazlı santrallerden karşılandığında bu değer 0.376 ton CO₂ olarak hesaplanmaktadır (ETKB, 2023). Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) tarafından önerilen işletim marjı emisyonu metodu kullanılarak, karbon salınım miktarı denklem 28 ile hesaplanmıştır (Carbontrexchange, 2023).

$$EF_{grid,0Msimple,y} = \frac{\sum_{i,y} FC_{i,y} \times NCV_{i,y} \times EF_{CO_2,i,y}}{EG_y} \quad (28)$$

Yıllık elektrik tüketimi 1,874.85 kWh olan bu dairenin elektrik ihtiyacının doğal gazlı santrallerden sağladığı düşünüldüğünde açığa çıkan yıllık CO₂ sera gazı miktarı 0.71 tondur.

4. Tartışma ve sonuçlar

4. Discussion and conclusions

Bu çalışmada, Ankara ili meteorolojik şartlarında iki kişilik bir dairenin, elektrik ve ısı enerjisi ihtiyacını doğal gaza alternatif olarak güneş enerjisi uygulamaları ile (PV panel + vakum tüplü U-borulu güneş kolektörü ile PV/T panel) karşılanması incelenmiş, ekonomik ve çevresel analizi yapılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar ve öneriler şöyle özetlenebilir:

- Y Referans dairenin günlük ortalama enerji tüketimi 5.14 kWh'dir.
- Y Gerekli enerji ihtiyacının sadece PV paneller ile karşılanması durumunda 11 adet 325 W gücünde PV panel gereksinimi vardır.
- Y Sadece PV paneller ile karşılanmasında 62,870 ₺ sistem kurulum maliyeti oluşmuştur. Sistemin amortisman süresi 20 yıl olarak bulunmuştur.
- Y Gerekli enerji ihtiyacı PV paneller + vakum tüplü U-borulu güneş kolektörüyle karşılanması durumunda, sadece PV paneller ile karşılanması durumuna göre yaklaşık 5,000 ₺ tasarruf sağlanmıştır. Sistemin amortisman süresi 2 yıl azalacağı hesaplanmıştır.
- Y Gerekli enerji ihtiyacının sadece su akışkanlı PV/T paneller ile karşılanması durumunda 7 adet 300 W elektrik, 600 W termal gücünde PV/T panel gereksinimi vardır.
- Y PV/T sistemde Al₂O₃-CuO hibrit nanoakışkanının saf su yerine kullanılması ile verimde %19.41'lik bir iyileşme oluşur.
- Y Gerekli enerji ihtiyacının sadece Al₂O₃-CuO hibrit nanoakışkanlı PV/T paneller ile karşılanması durumunda yaklaşık 12,000 ₺ tasarruf sağlanmıştır. Sistemin amortisman süresi 3 yıl azalacağı hesaplanmıştır.
- Y PV panel, PV panel + vakum tüplü U-borulu güneş kolektörü, su akışkanlı PV/T panel ve Al₂O₃-CuO hibrit nanoakışkanlı PV/T panel sistemlerinin kendi aralarında kıyaslanması sonucunda en verimli olanın Al₂O₃-CuO hibrit nanoakışkanlı PV/T panel sistemi olacağı görülmüştür.
- Y Sıvı akışkanlı PV/T panellerde çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanımının transfer edilen termal enerji miktarında artış meydana getirdiği görülmüştür.
- Y Elektrik üretiminin güneş enerjisi destekli sistemler ile karşılanması durumunda yıllık 0.71 ton CO₂ sera gazı miktarının çevreye salınımı durmuş olacağı hesaplanmıştır.
- Y Bu çalışma sayısal bir çalışma olduğundan, çalışmanın deneysel çalışmalar ile desteklenmesi önerilmektedir.

Semboller**Symbols**

$A_{hücre}$	PV hücre alanı	m^2
A_k	Kolektör alanı	m^2
$A_{PV/T}$	PV/T panel alanı	m^2
c_p	Özgül ısı kapasitesi	$kJ/kg^{*}^{\circ}C$
$EF_{grid,0Msimple,y}$	y yılındaki basit işletim marjının CO ₂ emisyon faktörü	tCO_2/GWh
$EF_{CO_2,i,y}$	y yılında i yakıt cinsi için CO ₂ emisyon faktörü	tCO_2/GJ
EG_y	y yılındaki sisteme hizmet veren tüm enerji kaynaklarının üretilen ve şebekeye ulaştırılan net elektrik	W
$FC_{i,y}$	y yılında sistemde tüketilen fosil yakıt cinsi i miktarı	
G	Güneş radyasyonu	W/m^2
h_{kv}	Konveksiyonla ısı kaybı katsayısı	$W/m^2^{*}^{\circ}C$
h_{rad}	Radyasyonla ısı kaybı katsayısı	$W/m^2^{*}^{\circ}C$
I_{mp}	Maksimum güç akımı	A
I_{sc}	Kısa devre akımı	A
k	Isı iletim katsayısı	$W/m^{*}^{\circ}C$
\dot{m}	Kütlesel debi	kg/s
$NCV_{i,y}$	y yılında fosil yakıt türü i'nin net ısıl değeri	
\dot{Q}_f	Faydalı ısı miktarı	kW
\dot{Q}_K	Kolektörden kaybolan ısı miktarı	kW
T_{atm}	Atmosfer (gökyüzü) sıcaklığı	$^{\circ}C$
$T_{hücre}$	PV hücre sıcaklığı	$^{\circ}C$
T_k	Kolektör sıcaklığı	$^{\circ}C$
T_o	Ortam sıcaklığı	$^{\circ}C$
T_g	Giriş sıcaklığı	$^{\circ}C$
$T_{ç}$	Çıkış sıcaklığı	$^{\circ}C$
v_R	Rüzgar hızı	m/s
V_{mp}	Maksimum güç voltajı	V
V_{oc}	Açık devre voltajı	V
ΔP	Basınç düşüşü	Pa
$\epsilon_{hücre}$	PV panel yayıcılık katsayısı	
σ	Stefan-Boltzmann sabiti	$W/m^2^{*}K^4$
ρ	Yoğunluk	kg/m^3
μ	Dinamik viskozite	$Pa*s$
$(\tau\alpha)_{ef}$	Etkin geçirgenlik soğurma katsayısı	
\aleph	Gösterge sıcaklığı	$^{\circ}C$
\emptyset	Parçacık hacim konsantrasyonu	$\%$
η_K	Kolektör enerji verimi	$\%$
η_{PV}	PV verim	$\%$
$\eta_{PV/T, tr}$	PV/T termal verim	$\%$
$\eta_{PVT, el}$	PV/T elektriksel verim	$\%$
η_P	Pompa verimi	$\%$

Yazar katkısı**Author contribution**

Yayının tüm süreçleri yazar tarafından %100 gerçekleştirilmiştir.

Etik beyanı**Declaration of ethical code**

Bu makalenin yazarı, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı**Conflicts of interest**

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar*References*

- Albadry, S., Tarabieh, K., & Sewilam, H. (2017). Achieving net zero-energy buildings through retrofitting existing residential buildings using PV panels. *Energy Procedia*, 115, 195-204. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.018>
- Alkan, S., Öztürk, A., Zavrak, S., Tosun, S., & Avcı, E. (2014). Bir evin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayacak fotovoltaiik sistemin kurulumu. *ELECO 2014 Elektrik – Elektronik – Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu* (pp. 78-82), Bursa: ELECO.
- ANSYS, Inc. (2016) *ANSYS Fluent User's Guide*, Release 17.2.
- Alternative Energy Tutorials: Evacuated Tube Collector (2022, November 21). <https://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-hot-water/evacuated-tube-collector.html>
- Ateş, A.M. (2023). 3-Years energetic and economic analysis of a 30kWp rooftop PV power plant. *Engineer and Machinery*, 64(710), 175-194. <https://doi.org/10.46399/muhendismakina.1072368>
- Bahar, E.M., & Ökten, M. (2021). Türkiye'nin bölümlerinin PVSYST programı ile analizi. *Yeni Türkiye Dergisi*, 118, 362-372.
- Bakır, H. (2022). Thermal image analysis for fault detection of PV systems in Ankara/Turkey. *European Journal of Science and Technology*, Special Issue 36, 41-44. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1098973>
- Bellos, E., Tzivanidis, C., Prassas, A., & Antonopoulos, K.A. (2015). Modelling of a solar assisted floor heating system with TRNSYS. *Global Conference on Global Warming (GCGW 2015)*, Athens.
- Bhuvad, S.S., & Udayraj. (2022). Investigation of annual performance of a building shaded by rooftop PV panels in different climate zones of India. *Renewable Energy*, 189, 1337-1357. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.03.004>
- Boyle, G. (2004). *Renewable Energy: Power for a Sustainable Future* (2nd ed.). Oxford University Press.
- Carbontradexchange. (2023, January 12). <http://www.carbontradexchange.com/knowledgecentre/case-studies.html>
- Demirbilek, N., Kaya, M., & Yakuphanoglu, F. (2023). Investigation of structural and optical properties of pure ZnO and co-doped ZnO:Al:Mnx (x=1%, 2%, 3%, 5% at.) semiconductor thin films and electrical properties of produced diodes. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38(1), 163 – 174. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.1001776>
- Deymi-Dashtebayaz, M., Nikitin, A., Norani, M., Nikitina, V., Hekmatshoar, M., & Shein, V. (2022). Comparison of two hybrid renewable energy systems for a residential building based on sustainability assessment and emergy analysis. *Journal of Cleaner Production*, 379, 134592. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134592>
- Energy Information Administration (EIA)- Photovoltaics and electricity (2022, November 20). <https://www.eia.gov/energyexplained/solar/photovoltaics-and-electricity.php>
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı- Güneş enerjisi potansiyeli atlası (2022, November 22). <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/6.aspx>
- Enerji Piyasası Denetleme Kurulu (EPDK)- Elektrik birim fiyatı (2022, November 22). www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-1/tarifeler
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı- Türkiye elektrik üretimi ve elektrik tüketim noktası emisyon faktörleri (2023, January 1). <https://enerji.gov.tr/evced-cevre-ve-iklim-elektrik-uretim-tuketim-emisyon-faktorleri>
- Er, Z. (2023). Solar radiation forecasts and a tiny house PV off-grid system. *European Journal of Science and Technology*, 47, 7-12. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1234216>
- Gu, Y., Zhang, X., Myhren, J.A., Han, M., Chen, X., & Yuan, Y. (2018). Techno-economic analysis of a solar photovoltaic/thermal concentrator for building application in Sweden using Monte Carlo method. *Energy Conversion and Management*, 165, 8-24. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.03.043>

- Gürbüz, E. Y., Variyenli, H., Sözen, A., Khanlari, A., & Ökten, M. (2021). Experimental and numerical analysis on using CuO-Al₂O₃/water hybrid nanofluid in a U-type tubular heat exchanger. *International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow*, 31(1), 519-540. <https://doi.org/10.1108/HFF-04-2020-0195>
- Hottel, H.C., & Woertz, B.B., (1942). Performance of flat-plate solar -heat collectors. *Trans ASME*, 64(91).
- Jafarkazemi, F., & Ahmadifard, E. (2013). Energetic and exergetic evaluation of flat plate solar collectors. *Renewable Energy*, 56, 55-63. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.10.031>
- Kalogirou, S.A., Karellas, S., Braimakis, K., Stanciu, C., & Badescu, V. (2016). Exergy analysis of solar thermal collectors and processes. *Progressive Energy Combustion Science*, 56, 106-137. <https://doi.org/10.1016/j.peccs.2016.05.002>
- Kaya, H., Alkasem, M., & Arslan, K. (2020). Effect of nanoparticle shape of Al₂O₃/Pure Water nanofluid on evacuated U-Tube solar collector efficiency, *Renewable Energy*, 162, 267-284. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.039>
- Khanlari, A., Tuncer, A.D., Afshari, F., & Sözen, G. (2023). Utilization of recyclable aluminum cans as fins in a vertical solar air heating system: An experimental and numerical study. *Journal of Building Engineering*, 63(A), 105446. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105446>
- Kıran Naik, B., & Muthukumar, P. (2019). Performance assessment of evacuated U-tube solar collector: A numerical study. *Sādhanā*, 44(23), <https://doi.org/10.1007/s12046-018-0974-z>
- Kim, H., Kim, J., & Cho, H. (2017). Experimental study on performance improvement of U-tube solar collector depending on nanoparticle size and concentration of Al₂O₃ nanofluid. *Energy*, 118, 1304-1312. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.11.009>
- Krarti, M. (2021). Impact of PV integrated rotating overhangs for US residential buildings. *Renewable Energy*, 174, 835-849. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.04.113>
- Li, Y., Liang, X., Song, W., Li, T., Wang, D., & Liu, Y. (2022). Optimization and thermal performance of U-type evacuated tube solar collector filled with phase change material. *Energy Reports*, 8, 6126-6138. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.04.054>
- Lim, C.S.L., & Sobhansarbandi, S. (2022). CFD modeling of an evacuated U-tube solar collector integrated with a novel heat transfer fluid. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52(A), 102051. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102051>
- Lupu, A.G., Homutescu, V.M., Balanescu, D.T., & Popescu, A. (2018). Efficiency of solar collectors – a review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 444, 082015. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/444/8/082015>
- Mercan, M., & Yurddaş, A. (2019). Numerical analysis of evacuated tube solar collectors using nanofluids. *Solar Energy*, 191, 167-179. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.08.074>
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2022, November 22). <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=undefined&m=ANKARA>
- Mohammed, A., Ghaithan, A., Al-Hanbali, A., Attia, A.M., Saleh, H., & Alsawafy, O. (2022). Performance evaluation and feasibility analysis of 10 kWp PV system for residential buildings in Saudi Arabia. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 51, 101920. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101920>
- Moran, M.J., & Shapiro, H.N. (2006). *Fundamentals of Engineering Thermodynamics* (5th. Ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons
- Morena, D., Fernandez, M., & Esquivias, P.M. (2017). A comparison of closed-form and finite-element solutions for heat transfer in a nearly horizontal, unglazed flat plate PVT water collector: Performance assessment. *Solar Energy*, 141, 11-24. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.11.015>
- Mor Fikirler- Çatılara güneş paneli kurma maliyeti (2022, Kasım 22). <https://morfikirler.com/catilara-gunes-paneli-kurmak-maliyeti/>

- O'Neil, J.E.T., & Sobhansarbandi, S. (2022). Thermal performance investigation of energy storage based U-pipe evacuated tube solar collector: An experimental study. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, 102146. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102146>
- Ökten, K. (2022). PV panel ile bütünleştirilmiş FDM-Nanopartikül karışımının 1-D matematiksel model kullanılarak incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi PART C: Tasarım ve Teknoloji*, 10(3), 532-546. <https://doi.org/10.29109/gujsc.1068074>
- Ökten, M. (2021). An investigation on provincial production & consumption of electric energy: A case analysis for Ankara. *Kocaeli Journal of Science and Engineering*, 4(1), 59-68. <https://doi.org/10.34088/kojose.800608>
- Özakın, A.N., & Kaya, F. (2019). Effect on the exergy of the PVT system of fins added to an air-cooled channel: A study on temperature and air velocity with ANSYS Fluent. *Solar Energy*, 184, 561-569. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.03.100>
- Özsoy, A., & Galip, M. (2018). Vakum tüplü U-borulu güneş kolektörünün güneş simülatöründeki test sonuçlarının analizi. *Politeknik Dergisi*, 21(1), 229-236. <https://doi.org/10.2339/politeknik.385469>
- Podder, B., Das, S., & Biswas, A. (2022). Numerical analysis of a small sized water based solar photovoltaic-thermal collector. *International Journal of Green Energy*. <https://doi.org/10.1080/15435075.2021.2023881>
- Rahaman, M.H., & Iqbal, M.T. (2019). A comparison of solar photovoltaic and solar thermal collector for residential water heating and space heating system. *Preprints*, <https://doi.org/10.20944/preprints201910.0003.v1>
- Ramos, C.A.F., Alcaso, A.N., & Cardoso, A.J.M. (2019). Photovoltaic-thermal (PVT) technology: Review and case study. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 354, 012048. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/354/1/012048>
- Sarhaddi, F., Farahat, S., Ajam, H., & Behzadmehr, A. (2010). Exergetic performance evaluation of a solar photovoltaic (PV) array. *Australian Journal Basic & Applied Science*, 4, 502-519. <https://doi.org/10.1155/2009/313561>
- Sim, M., & Suh, D. (2021). A heuristic solution and multi-objective optimization model for life-cycle cost analysis of solar PV/GSHP system: A case study of campus residential building in Korea. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47, 101490. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101490>
- Solimpeks- Güneş panelleri çeşitleri (2022, November 11). <http://solimpeksgunespaneli.com/gunespaneli-fotovoltaike-cesitleri-nelerdir/>
- Strebkov, D.S., & Filippchenkova, N.S. (2021). Results of CFD-simulation of a solar photovoltaic-thermal module. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 659, 012113. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/659/1/012113>
- Swese, E.O.E., & Haçerlioğulları A. (2022). Investigation of performance on photovoltaic/thermal (PV/T) system using magnetic nanofluids. *Politeknik Dergisi*, 25(1), 411-416. <https://doi.org/10.2339/politeknik.1076781>
- Şen, E., & Çeliktaş, M.S. (2022). A review of PV cooling and thermal energy storage in PV/T systems based phase change materials. *Beykent University Journal of Science and Engineering*, 15(1), 55-76. <https://doi.org/10.20854/bujse.1071145>
- Tarragona, J., Pisello, A.L., Fernandez, C., Cabeza, L.F., Paya, J., Marchante-Avellaneda, J., & de Garcia, A. (2022). Analysis of thermal energy storage tanks and PV panels combinations in different buildings controlled through model predictive control. *Energy*, 239, 122201. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122201>
- Tavares, I., Manfredini, R., Almeida, J., Soares, J., Ramos, S., Foroozandeh, Z., & Vale, Z. (2022). Comparison of PV power generation forecasting in a residential building using ANN and DNN. *IFAC-PapersOnLine*, 55(9), 291-296. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.07.051>
- Teo, H.G., Lee, P.S., & Hawlader, M.N.A. (2012). An active cooling system for photovoltaic modules. *Applied Energy*, 90, 309-315. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.01.017>
- Tuncer, A.D., Khanlari, A., Afshari, F., Sözen, A., Çiftçi, E., Kusun, B., & Şahinkesen, İ. (2023). Experimental and numerical analysis of a grooved hybrid photovoltaic-thermal solar drying system. *Applied Thermal Engineering*, 218, 119288. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.119288>

-
- Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası- Enflasyon hesaplayıcı (2022, Kasım 22).
<https://herkesicin.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/ekonomi/hie/icerik/enflasyon+hesaplayici>
- Wang, R.Z., Xu, Z.Y., & Ge, T.S. (2016). Introduction to solar heating and cooling systems. *Advances in Solar Heating and Cooling*, 3-12. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100301-5.00001-1>
- Wole-Osho, I., Adun, H., Adedeji, M., Okonkwo, E.C., Kavaz, D., & Dağbaşı, M. (2020). Effect of hybrid nanofluids mixture ratio on the performance of a photovoltaic thermal collector. *International Journey of Energy Research*, 1-18, <https://doi.org/10.1002/er.5619>.