



FARKLI EĞİM AÇILARINDA GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNİN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ: ERZİNCAN İLİ ÖRNEĞİ

¹Muhammet Yasin KABA , ²Aslıhan KURNUÇ SEYHAN , ³Pınar CELEN , ⁴Ali CELEN 

^{1,2,4}Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Erzincan,
TÜRKİYE

³Gümüşhane Üniversitesi/Gümüşhane Meslek Yüksekokulu/Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Gümüşhane,
TÜRKİYE

¹mykaba@yahoo.com, ²akurnuc@erzincan.edu.tr, ³pinarcelen@gumushane.edu.tr,
⁴alicelen@erzincan.edu.tr

(Geliş/Received: 03.04.2022; Kabul/Accepted in Revised Form: 05.07.2022)

ÖZ: Güneş kolektörleri kullanım suyu ısıtma uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Tasarım aşamasında güneş kolektörlerinin en uygun eğim açısında konumlandırılması güneş enerjisinden verimli faydalanılması için önemlidir. Bu çalışmada, Erzincan ilinde konumlandırılan bir güneş kolektörünün eğim açısının aylık/günlük ortalama ışınım değerlerine, su çıkış sıcaklığına, enerji ve ekserji verimlerine etkisi teorik olarak incelenmiştir. Optimum güneş kolektörü eğim açısının en yüksek ve en düşük değerlerinin Aralık ve Haziran aylarında sırasıyla 63° ve 0° olduğu görülmüştür. Erzincan için önerilen (27.14°) ve hesaplanan eğim açıları için günlük ortalama saatlik ışınım değerleri karşılaştırılmış olup en büyük değişimin Ocak ayında %26 olduğu görülmüştür. Buna ek olarak güneş kolektörünün enerji ve ekserji verimleri hesaplanmış olup optimum eğim açıları için en yüksek verimleri sırasıyla %74.2 ve %9.7 olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş kolektörü, Optimum eğim açısı, Enerji Analizi, Ekserji Analizi

Energy and Exergy Analysis of Solar Collectors Having Different Tilt Angles: Case Study of Erzincan City

ABSTRACT: Solar collectors are frequently used in domestic water heating applications. In the design stage, the positioning of solar collector with suitable title angle is important in order to utilize from sun energy efficiently. In this study, the effect of tilt angle of a solar collector located to Erzincan city on monthly/daily average radiation values, water outlet temperature, energy and exergy efficiencies are theoretically investigated. It is seen that the maximum and minimum values of optimum tilt angles are 63° ve 0° for December and June, respectively. Tilt angles which are suggested for Erzincan (27.14°) and calculated are compared for daily average hourly radiation values and it is seen that the maximum variation is 26% for January. In addition, energy and exergy efficiencies of solar collector are estimated and the maximum efficiencies are determined as 74.2% ve 9.7% for optimum tilt angles.

Keywords: Solar collector, Optimum tilt angle, Energy analysis, Exergy analysis

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Güneş enerjisi kullanımı, sürdürülebilirliği sağlamak ve konvansiyonel enerji kaynaklarının kullanımını azaltmak için hayati önem taşımaktadır. Güneş enerjisi, tüm yenilenebilir enerji kaynakları arasında en büyük potansiyele sahiptir ve bu yenilenebilir enerji kaynağının küçük bir miktarı bile

dünyanın toplam enerji talebini karşılamak için yeterlidir. Bu enerjinin %5'i kullanılabilirse, dünyanın enerji ihtiyacının 50 katı karşılanmış olacaktır (Kumar ve diğ., 2012; Kumar ve Kim, 2016; Kumar ve Kim, 2017). Türkiye bulunduğu coğrafi konum itibarıyla yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2741.07 saat olup ortalama yıllık toplam ışınlam değeri 1527.46 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Aralık 2020 sonu itibarıyla güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu güç 6.667 MW olup, toplam elektrik üretimi içerisindeki güneş enerjisi payı ise %3.6 'dır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022a; T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022b).

Güneş enerjisinden, güneş kolektörleri kullanılarak ısıtmada yararlanılabilir, binalar veya endüstriyel gereksinimler için uygun maliyetli bir şekilde sıcak su üretilebilir (Feliński ve Sekret, 2017; Sokhansefat ve diğ., 2018). Güneş enerjisinin kullanıldığı güneş kolektörlerin enerji ve ekserji analizine ait literatürdeki bazı çalışmalar şöyle özetlenmiştir:

Ge ve diğ. (2014), düz plakalı kolektörler için ortam sıcaklığı, güneş ışınlamı, akışkan giriş sıcaklığı ve akışkan kütleli debisinin faydalı ısı, faydalı ekserji ve ekserji kayıp hızları üzerindeki etkilerini incelemiştir. Maksimum faydalı ekserji hızını elde etmek için hesaplanan optimal akışkan giriş sıcaklığı 69°C'dir ve maksimum faydalı ekserji 101.6 W'dır. Ortam sıcaklığı 20°C, güneş radyasyonu 800 W/m², akışkan kütleli debisi 0.05 kg/s ve akışkan giriş sıcaklığı 50°C'ye ayarlanarak ekserji analizi gerçekleştirilmiştir. Ekserji verimi %5.96 olarak hesaplanmış ve toplam ekserjinin %72.86'sını oluşturan en büyük ekserji kaybının, soğurucu plaka yüzeyi ile güneş arasındaki sıcaklık farkından kaynaklandığı belirlenmiştir.

Moosavian ve diğ. (2021), her biri farklı bir iklimin temsilcisi olarak İran'ın 5 şehrini (Rasht, Şiraz, Tahran, Abadan ve Sanandaj) seçmiş ve bu şehirlerin her birinde parabolik güneş kolektörünün enerji, ekserji, ekonomik ve çevresel açıdan performansını belirlemiştir. Yapılan çalışma sonucunda, Akdeniz iklimine sahip olan Şiraz şehrindeki parabolik güneş kolektörlerinin %71.97 ile diğer şehirlere göre en yüksek termal enerji verimliliğine sahip olduğu görülmüştür. Öte yandan, ekserji analizine bakıldığında nemli kıta iklimine sahip Sanandaj şehri, %22 ile en yüksek ekserji verimliliğine sahip il olarak ön plana çıkmaktadır. Enerji bazlı çevresel ekonomik analiz göz önünde bulundurulduğunda ise 0.75 \$/günCO₂ maliyeti ile güneş kolektörü için en uygun iklim olarak nemli bir subtropikal iklime sahip Rasht şehri belirlenmiştir. Ekserjiye dayalı çevresel ekonomik analiz sayesinde, yine Rasht şehri 0.16 \$/günCO₂ maliyeti ile güneş kolektörü için en uygun çevresel iklim olarak seçilmiştir.

Çalışkan (2017), güneş kolektörünün enerji, ekserji, çevre, çevre ekonomik, eksergoçevresel, eksergoçevresel ekonomik analizlerini yapmıştır. Çalışmada, kolektörün enerji ve ekserji verimleri sırasıyla %25.40 ve %0.732 olarak hesaplanmıştır. Eksergoçevresel sonucu (0.0727 kg CO₂/gün), çevresel sonuçtan (0.0777 kg CO₂/gün) daha düşük iken çevresel ekonomik sonuç (0.00112 \$/gün), eksergoçevresel ekonomik sonucundan (0.00105 \$/gün) daha yüksektir. Çalışmanın sonucu olarak, güneş kolektör sistemlerinin ekserji ve ekonomi tabanlı eksergoçevresel ve eksergoçevresel ekonomik yöntemleri kullanılarak daha etkin bir şekilde değerlendirilebileceği ifade edilmiştir.

Lakhdar ve diğ. (2019), Cezayir'in Sahra bölgesinde yer alan Adrar koşullarında termosifonlu bir düz plakalı güneş kolektörün ekserji yıkımını en aza indiren hem ekserjiyi hem de enerji verimliliğini en üst düzeye çıkaran optimal çalışma parametrelerini elde etmek için ekserjetik analizini yapmışlardır. Düz plakalı güneş kolektörü 27° eğimle güneye yönlendirilmiştir. 7 Nisan 2005 tarihinde ölçülen sıcaklık ve güneş ışınlamı değerleri ile boyutsuz sıcaklıklar ilişkilerin bir fonksiyonu olarak MATLAB yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Hem ölçülen hem de hesaplanan değerler karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, optimal ekserji verimliliğinin %8.28 ve optimal kütle akış hızınının 0.06 kg/s olduğunu ortaya koymuştur.

Jafarkazemi ve Ahmadifard (2013), akışkan debisi ve sıcaklığı, çalışma akışkanı tipi ve arka yalıtım kalınlığı gibi tasarım parametrelerinin kolektörün enerji ve ekserji verimliliğine etkisini deneysel ve teorik olarak incelenmişlerdir. Düz plakalı güneş kolektörü İran'ın Tahran şehrinde bulunan İslami Azad Üniversitesi güneş enerjisi araştırma merkezinde açık bir alanda 40° eğimle güneye yönlendirilmiştir. Sonuçların analizi ve karşılaştırılması ile giriş suyu sıcaklığının ortam sıcaklığından 40°C daha fazla ve giriş suyu debisinin düşük olması durumunda sistemin genel performansının arttığını belirlemiştir.

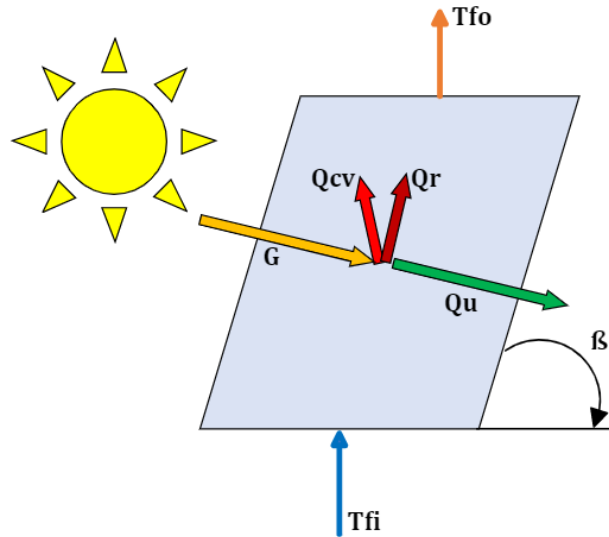
Ayrıca 5 cm'den daha kalın bir arka yalıtım kullanılmasının, kolektörün enerji ve ekserji verimliliği üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını ifade etmişlerdir. Teorik sonuçlara göre, düz plakalı güneş kolektörünün maksimum enerji ve ekserji verimliliğini sırasıyla yaklaşık %80 ve %8 olarak hesaplamışlardır.

Kouhikamali ve Hassani (2014), İran'ın kuzey kesimlerinde yüksek nem nedeniyle, dağınık radyasyon, doğrudan radyasyondan daha önemli bir rol oynadığını ve kolektörün en iyi eğim açısının değiştiğini ifade etmişler ve Rasht şehrinde düz plakalı güneş kolektörünün kullanımını araştırmışlardır. Rasht'ta her ay için en iyi eğim açıları hesaplanmış ve değerler Zahedan ve Birjand şehirleri ile karşılaştırmışlardır. Farklı uygulamalarda kolektör uzunluğunu belirlemek için İran'da üretilen tipik kolektör özelliklerini kullanmışlardır. Yatay kolektöre göre eğim açısının değiştirilmesi ile günlük, aylık, mevsimsel ve yıllık olarak verilen güneş enerjisinin sırasıyla %16.58, %15.84, %15.31 ve %10.79 oranında arttığını belirterek birkaç kolektör için eğim açısının mevsimsel olarak değiştirilmesini önermektedirler. Düşünülen düz plakalı kolektörde su sıcaklığının Aralık ve Eylül aylarında sırasıyla 60°C ve 85°C'ye çıktığını hesaplamışlardır. 10 adet seri kolektörden oluşan sistemde verimlerin birinci ve son kolektörde sırasıyla yaklaşık olarak %60'tan fazla ve %10'dan az olduğunu belirtmişlerdir.

Bu çalışmada, Erzincan ilinde konumlandırılan ve ısıtma amaçlı kullanılan bir güneş kolektörünün eğim açısının performansı teorik olarak araştırılmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen veriler kullanılarak hesaplama yönteminin geçerliliği test edilmiş olup, eğim açısının (0-90°) ortalama ışıma değerleri üzerine etkisi yılın her ayı için incelenmiştir. Yılın her ayı için belirlenen optimum ve önerilen eğim açıları kullanılarak su giriş debisinin (0.01-0.03 kg/s) su çıkış sıcaklığına etkisi belirlenmiştir. Bunlara ek olarak, yılın her ayında güneş kolektörünün optimum ve önerilen eğim açıları için enerji ve ekserji verimi değerleri hesaplanmıştır.

HESAPLAMA YÖNTEMİ (CALCULATION METHOD)

Güneş kolektörlerinin tasarımında güneşten gelen ışımdan ne kadar yararlandığı ve buna bağlı olarak sistemin veriminin belirlenmesi önemlidir. Güneş kolektörlerinde enerji ve ekserji analizleri yapabilmek için Şekil 1'de verilen güneş kolektörü ve Çizelge 1'de verilen sabit veriler göz önüne alınmıştır.



Şekil 1. Güneş kolektörünün şematik gösterimi

Figure 1. The schematic representation of solar collector

Güneş kolektörlerinde enerji ve ekserji analizleri yapabilmek için ilk önce analiz yapılmak istenen yüzeye gelen güneş ışıması miktarı hesaplanır. Yüzeye gelen toplam güneş ışıması miktarı yüzeye direkt

gelen, gökyüzünden yansıyan ve yeryüzünden yansıyan ışınımı enerjisinden oluşmakta olup şu şekilde hesaplanır (Ge ve diğ., 2014; Duffie ve diğ. 2020):

$$I_T = \overbrace{I_b * R_b}^{\text{Yüzeyle direkt gelen}} + \overbrace{I_d * \left[\frac{1 + \cos \beta}{2} \right]}^{\text{Gökyüzünden yansıyan}} + \overbrace{I * \rho_g * \left[\frac{1 - \cos \beta}{2} \right]}^{\text{Yeryüzünden yansıyan}} \quad (1)$$

Burada yüzeyle direkt gelen, gökyüzünden yansıyan ve yeryüzünden yansıyan güneş ışınımı enerjisi şu şekilde hesaplanır:

$$I_b = I * \left[1 - \frac{I_d}{I} \right] \quad (2)$$

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1 - 0.249 * k_T & 0 \leq k_T \leq 0.35 \\ 1.557 - 1.84 * k_T & 0.35 \leq k_T \leq 0.75 \\ 0.177 & k_T > 0.75 \end{cases} \quad (3)$$

$$I = I_0 * k_T \quad (4)$$

Yüzeyle direkt gelen güneş ışınımı miktarının hesaplanmasında kullanılan iki saat arasındaki ortalama geometrik faktör şu şekilde hesaplanır:

$$R_{b,ort} = \frac{a}{b} \quad (5)$$

Burada kullanılan a ve b değerleri şu şekilde hesaplanır:

$$a = (\sin \delta * \sin \varphi * \cos \beta - \sin \delta * \cos \varphi * \sin \beta * \cos \gamma) * \frac{1}{180} * (\omega_2 - \omega_1) * \pi + (\cos \delta * \cos \varphi * \cos \beta + \cos \delta * \sin \varphi * \sin \beta * \cos \gamma) * (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) - (\cos \delta * \sin \beta * \sin \gamma) * (\cos \omega_2 - \cos \omega_1) \quad (6)$$

$$b = (\cos \varphi * \cos \delta) * (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + (\sin \varphi * \sin \delta) * \frac{1}{180} * (\omega_2 - \omega_1) * \pi \quad (7)$$

Yüzeyle direkt gelen güneş ışınımı miktarının hesaplanmasında aylık geometrik faktör şu şekilde hesaplanır:

$$\overline{R_b} = \frac{\cos(\varphi - \beta) * \cos \delta * \sin \omega' + (\pi/180) * \omega' * \sin(\varphi - \beta) * \sin \delta}{\cos \varphi * \cos \delta * \omega + (\pi/180) * \omega * \sin \varphi * \sin \delta} \quad (8)$$

Burada kullanılan ω' değeri şu şekilde hesaplanır:

$$\omega' = \min \left[\cos^{-1}(-\tan \varphi * \tan \delta), \cos^{-1}(-\tan(\varphi - \beta) * \tan \delta) \right] \quad (9)$$

Güneş ışınımı enerjisi aylık ortalama günlük ışınım ve günlük ortalama saatlik ışınım olmak üzere iki farklı denklemlerle hesaplanmakta olup bu denklemler şu şekildedir:

$$I_0 = \frac{24 * 3600 * I_{gs}}{\pi} * \left[1 + 0.33 * \cos \left(\frac{360 * n}{365} \right) \right] * \left[\cos \delta * \cos \varphi * \sin \omega + \frac{\pi * \omega * \sin \delta * \sin \varphi}{180} \right] \quad (10)$$

$$I_0 = \frac{12 \cdot 3600 \cdot I_{gs}}{\pi} * \left[1 + 0.33 * \cos\left(\frac{360 \cdot n}{365}\right) \right] * \left[\cos \delta * \cos \varphi * (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{\pi * (\omega_2 - \omega_1) * \sin \delta \sin \varphi}{180} \right] \quad (11)$$

Güneş ışınımı enerjisini hesaplamak için kullanılan deklinasyon açısı, saat açısı ve herhangi bir andaki saat açısı denklemleri şu şekildedir:

$$\delta = 23.45 * \sin\left[\frac{360}{365} * (284 + n)\right] \quad (12)$$

$$\omega = \cos^{-1}[-\tan \varphi * \tan \delta] \quad (13)$$

$$\omega_{1,2} = 15 * (\text{saat} - 12) \quad (14)$$

Güneş enerjisinden elde edebileceğimiz toplam kullanılabilir enerjisi miktarı şu denklemler yardımı ile hesaplanabilir:

$$\dot{Q}_u = G - \dot{Q}_r - \dot{Q}_{cv} \quad (15)$$

$$\dot{Q}_u = \dot{m} * c_p * (T_{fo} - T_{fi}) \quad (16)$$

Güneş enerjisinden kaybedilen enerji miktarı şu şekilde hesaplanır:

$$E\dot{n}_k = \dot{Q}_r + \dot{Q}_{cv} \quad (17)$$

Enerji verimi de yüzde cinsinden şu şekilde hesaplanır:

$$\eta_i = \frac{\dot{Q}_u}{G} * 100 \quad (18)$$

Burada kullanılan kullanılabilir güneş enerjisi miktarı, ışınum ve taşınım enerji kayıpları ise şu şekilde hesaplanır:

$$G = \alpha * I_T * A \quad (19)$$

$$\dot{Q}_r = A * h_r * (T_g - T_a) \quad (20)$$

$$\dot{Q}_{cv} = A * h_{cv} * (T_g - T_a) \quad (21)$$

Işınım ve taşınım enerji kayıplarının belirlenmesinde yardımcı olan ısı transferi katsayıları ise şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$h_r = \frac{[\epsilon * \sigma * (T_g^2 + T_{sky}^2)] * (T_g + T_{sky}) * (T_g - T_{sky})}{(T_g - T_a)} \quad (22)$$

$$h_{cv} = 5.7 + 3.8 * V \quad (23)$$

Kollektöre gelen güneş ışınım ekserjisi, kollektöre giren suyun ve kollektörden çıkan suyun ekserjisi şu şekilde hesaplanır:

$$\dot{E}x_{\text{sun}} = G * \left[1 + \frac{1}{3} * \left(\frac{T_0}{T_{\text{sun}}} \right)^4 - \frac{4}{3} * \frac{T_0}{T_{\text{sun}}} \right] \quad (24)$$

$$\dot{E}x_{\text{fi}} = \dot{m} * c_p * \left[T_{\text{fi}} - T_0 - T_0 * \ln \left(\frac{T_{\text{fi}}}{T_0} \right) \right] \quad (25)$$

$$\dot{E}x_{\text{fo}} = \dot{m} * c_p * \left[T_{\text{fo}} - T_0 - T_0 * \ln \left(\frac{T_{\text{fo}}}{T_0} \right) \right] \quad (26)$$

Ekserji verimi yüzde cinsinden şu şekilde hesaplanır:

$$\eta_{ii} = \left[\frac{\dot{E}x_{\text{fo}} - \dot{E}x_{\text{fi}}}{\dot{E}x_{\text{sun}}} \right] * 100 \quad (27)$$

Güneş kolektörünün toplam ekserji kaybı şu şekilde hesaplanır:

$$\dot{E}x_k = \dot{E}x_r + \dot{E}x_{\text{cv}} \quad (28)$$

Burada ışıınım ve taşınım ekserjisi ise şu şekilde hesaplanır:

$$\dot{E}x_r = \dot{Q}_r * \left[1 - \frac{T_0}{T_{\text{sis}}} \right] \quad (29)$$

$$\dot{E}x_{\text{cv}} = \dot{Q}_{\text{cv}} * \left[1 - \frac{T_0}{T_{\text{sis}}} \right] \quad (30)$$

ışıınım ve taşınım ekserji hesaplamalarında kullanılan ortalama kolektör sıcaklığı şu şekilde hesaplanır:

$$T_{\text{sis}} = \frac{T_a + T_g}{2} \quad (31)$$

Sistemin ekserji yıkımı şu şekilde hesaplanır:

$$\dot{E}x_d = \dot{E}x_{\text{fi}} + \dot{E}x_{\text{sun}} - \dot{E}x_{\text{fo}} - \dot{E}x_k \quad (32)$$

Sistemin toplam entropi üretimi ise şu şekilde hesaplanır:

$$\dot{S}_{\text{gen}} = \frac{\dot{E}x_d}{T_0} \quad (33)$$

BULGULAR ve TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

Çizelge 1'deki kabuller, Çizelge 2'deki gün sayısı, güneş doğuş saati, güneş batış saati ve bulutsuzluk oranı değerleri ve Denklem (1)-(14) kullanılarak Erzincan ilindeki bir güneş kolektörünün yüzeyine gelen toplam ışıınım değerleri farklı aylar için hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Meteoroloji Genel Müdürlüğü Erzincan Meteoroloji İstasyonu'ndan temin edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Meteoroloji İstasyonu'ndan temin edilen rüzgar hızı, hava sıcaklığı ve ışıınım değerleri 2010 yılı için elde edilmiş olup, bu değerlerin yıllara göre ciddi oranda değişmediği göz önüne alınmıştır. Bu karşılaştırma hesaplamalar için doğrulama niteliğinde olup sonuçların büyük çoğunluğunun $\pm\%10$ hata bandı aralığında kaldığı Şekil 2'de görülmüştür.

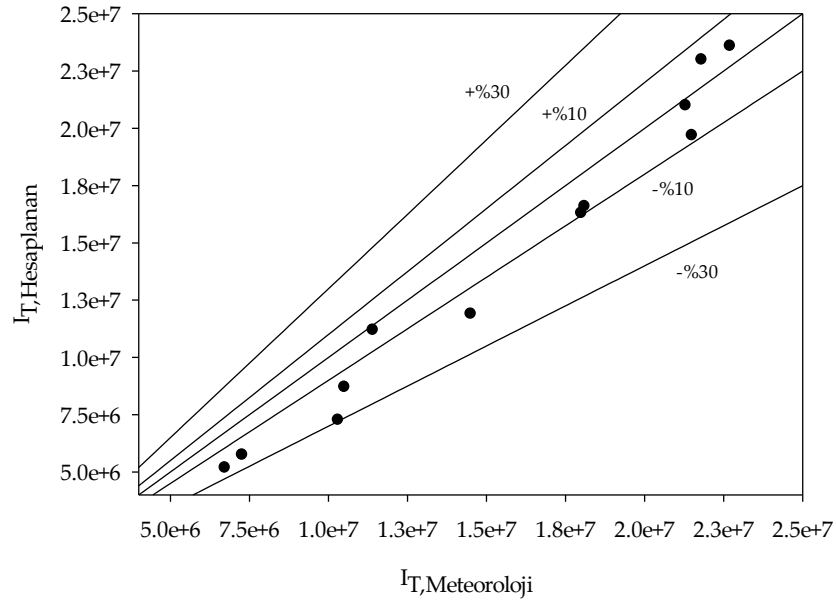
Çizelge 1. Hesaplamalarda kullanılan kabuller*Table 1. Assumptions used in the calculations*

Parametre	Değeri
Boltzman sabiti (σ)	$5.6704 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$
Enlem açısı (φ)	39.75°
Güneş sabiti (I_{gs})	1367 W/m^2
Güneş sıcaklığı (T_{sun})	5778 K
Kollektör yüzey alanı (A)	8 m^2
Kollektör yüzeyi geçirgenliği (α)	0.92
Kollektör yüzeyi yayıcılığı (ϵ)	0.92
Ölü hâl sıcaklığı (T_0)	273.15 K
Özgül ısı (C_p)	4186 J/kgK
Yeryüzü yansıtma katsayısı (ρ_g)	0.20

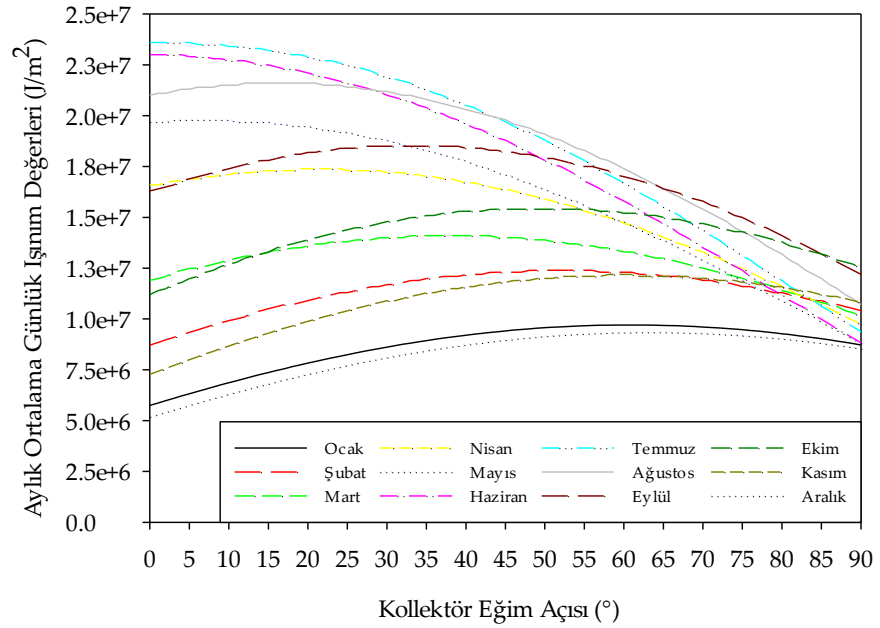
Çizelge 2. Erzincan iline ait veriler*Table 2. Data belonging to Erzincan city*

Aylar	Gün Sayısı (Klein, 1977)	Güneş Doğuş Saati (Duffie ve diğ., 2020)	Güneş Batış Saati (Duffie ve diğ., 2020)	Şebeke Suyu Sıcaklığı (K) (Ceylan, 2010)	Rüzgâr Hızı (m/s) (Erzincan Meteoroloji İstasyonu)	Hava Sıcaklığı (K) (Erzincan Meteoroloji İstasyonu)	Bulutsuzluk Oranı (Duffie ve diğ., 2020)	İşınım Değerleri (J/m^2) (Erzincan Meteoroloji İstasyonu)
Ocak	17	6:37	16:27	279.65	1.11	274.95	0.3741	7267608
Şubat	47	6:10	17:03	278.25	1.36	277.71	0.4211	10543680
Mart	75	5:28	17:34	279.25	1.33	281.61	0.4334	14535216
Nisan	105	4:41	18:04	282.55	1.37	284.28	0.4768	18125088
Mayıs	135	4:04	18:33	286.45	1.15	289.40	0.4959	21497392
Haziran	162	3:50	18:54	290.35	1.29	295.56	0.5512	21802824
Temmuz	198	4:04	18:52	293.75	1.25	298.89	0.5788	22660544
Ağustos	228	4:31	18:21	295.65	1.18	299.67	0.5736	21288192
Eylül	258	4:59	17:34	294.85	0.98	295.47	0.5403	17953544
Ekim	288	5:28	16:47	291.55	0.84	286.36	0.495	11434872
Kasım	318	6:02	16:11	286.85	0.55	280.45	0.4381	10313560
Aralık	344	6:28	16:02	282.35	1.29	277.12	0.373	6723688

Şekil 3'te kollektör eğim açısındaki değişimin aylık ortalama günlük işınım değerleri üzerindeki etkisi görülmektedir. Beklendiği üzere, tüm kollektör eğim açılarında aylık ortalama günlük işınım değerleri yaz aylarında (Haziran-Temmuz) en yüksek değerlere ulaşırken kış aylarında (Aralık-Ocak) ise en düşük değerlere ulaşmaktadır. Tüm aylarda aylık ortalama günlük işınım değerlerinin kollektör eğim açısı arttıkça önce arttığı daha sonra ise azaldığı görülmüş olup bu artışın en yüksek olduğu nokta (maksimum aylık ortalama günlük işınım değerlerine karşılık gelen) optimum kollektör eğim açısı olarak tanımlanabilir. Çizelge 3'te Erzincan ili için yıl içerisindeki tüm aylar için günlük ortalama işınım değerlerinin maksimum olduğu kollektör eğim açıları verilmiştir.



Şekil 2. Meteorolojiden alınan yüzeye gelen ışınım değerlerinin hesaplanan değerler ile karşılaştırılması
Figure 2. The comparison of calculated and obtained from Meteorology surface radiation values

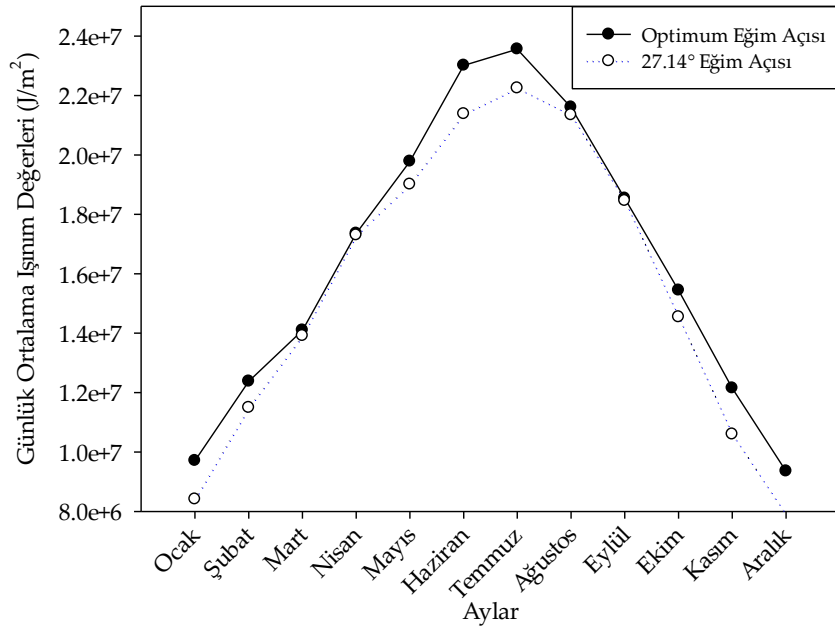


Şekil 3. Aylık ortalama günlük ışınım değerlerinin kollektör eğimi ile değişimi
Figure 3. The variation of monthly average daily radiation values with collector tilt angle

Çizelge 3. Farklı aylar için optimum kollektör eğim açıları

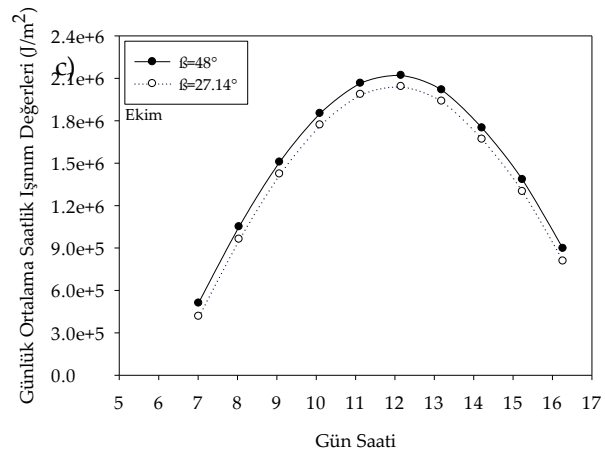
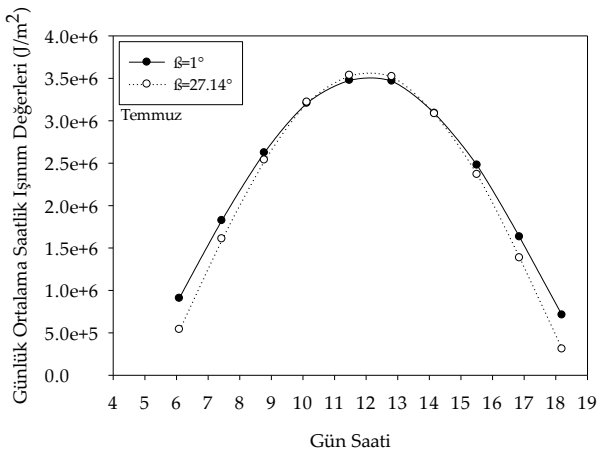
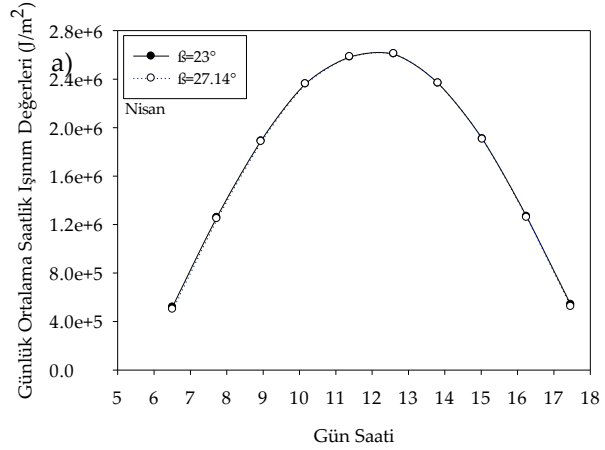
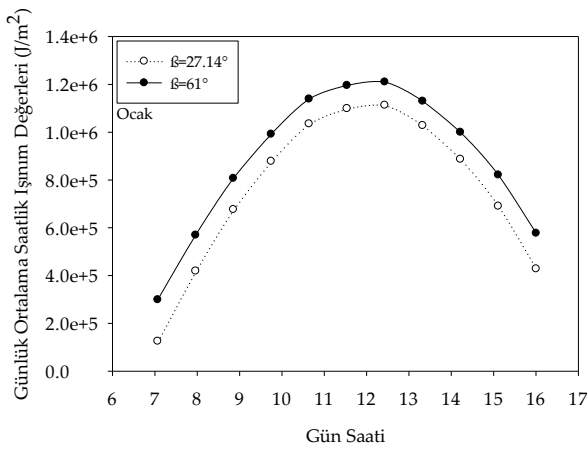
Table 3. Optimum collector tilt angles for different months

Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
61°	53°	39°	23°	7°	0°	1°	15°	32°	48°	58°	63°



Şekil 4. Aylık ortalama günlük ışınım değerlerinin optimum ve önerilen kolektör eğimi ile aylara göre değişimi

Figure 4. The variation of monthly average daily radiation values with optimum and suggested collector tilt angle according to months



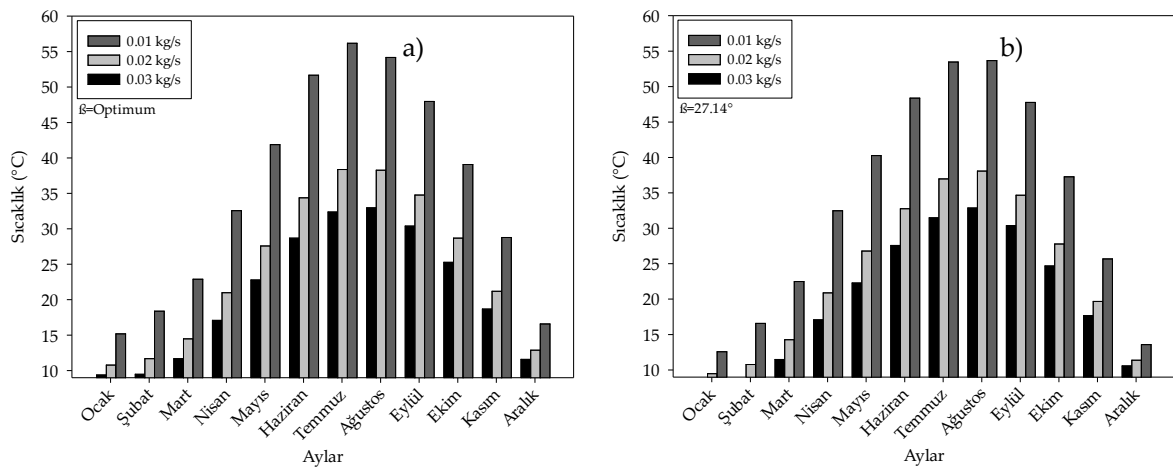
Şekil 5. Günlük ortalama saatlik ışınım değerlerinin optimum ve önerilen kolektör eğimi ile aylara göre değişimi a) Ocak, b) Nisan c) Temmuz ve d) Ekim

Figure 5. The variation of daily average hourly radiation values with optimum and suggested collector tilt angle according to months a) January, b) April, c) July and d) October

Aylık ortalama günlük ışınlam değerlerinin her bir ay için belirlenen optimum kolektör eğim açlarına göre ve yerleşimde önerilen 27.14° kolektör eğim açısına (Eren, 2019) göre değişimi Şekil 4'te verilmiştir. Mart, Nisan, Mayıs, Ağustos ve Eylül aylarında önerilen kolektör açısının kullanılması günlük ortalama ışınlam değerlerinde büyük oranda (%5'ten az) değişiklik göstermezken, Ocak, Şubat, Haziran, Temmuz, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında ise önerilen kolektör eğim açısının kullanılması sırasıyla %13.36, %7.19, %7.08, %5.56, %5.83, %12.76 ve %15.55 daha az aylık ortalama günlük ışınlam değerlerinin elde edilmesine sebep olmaktadır.

Günlük ortalama saatlik ışınlam değerlerinin gün saatine göre değişimi optimum ve önerilen kolektör eğim açıları kullanılarak mevsimlerin orta ayları olan Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim ayları için sırasıyla Şekil 5a), Şekil 5b), Şekil 5c) ve Şekil 5d)'de verilmiştir. Nisan, Temmuz ve Ekim ayları için günlük ortalama saatlik ışınlam değerlerinde önemli bir değişim olmazken (%5'ten az), Ocak ayında %8 ile %26 arasında değişmektedir.

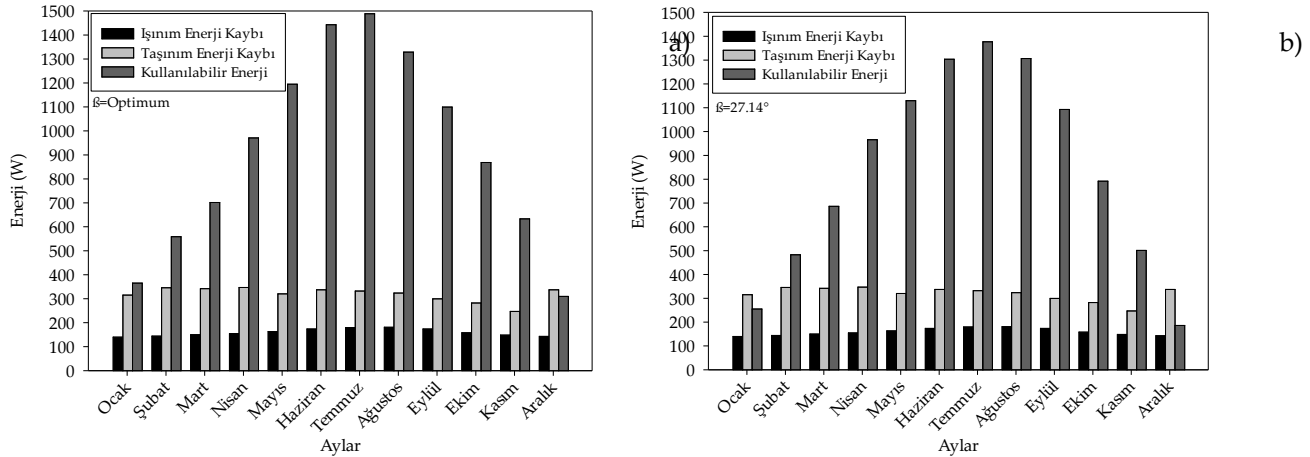
Kolektöre giren farklı debilerdeki suyun çıkış sıcaklığının aylara göre değişimi optimum ve önerilen kolektör eğim açlarına göre Denklem (16) kullanılarak hesaplanmış ve sırasıyla Şekil 6a) ve Şekil 6b)'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, su debisi arttıkça kolektör çıkış sıcaklıkları tüm aylarda düşmektedir. En yüksek su çıkış sıcaklıklarına ulaşılan Temmuz ayında 0.01 kg/s, 0.02 kg/s ve 0.03 kg/s debileri için optimum kolektör eğim açısında sırasıyla 56.25°C , 38.45°C ve 32.45°C sıcaklıkları elde edilmiştir. Ayrıca, önerilen ve optimum kolektör eğim açıları karşılaştırıldığında su çıkış sıcaklıklarında %18.02'ye varan artışlar görülmektedir.



Şekil 6. Su debisinin kolektör çıkış sıcaklığı etkisinin farklı aylar ile değişimi a) Optimum kolektör eğim açısı, b) Önerilen kolektör eğim açısı

Figure 6. The effect of water flow rate on water outlet temperature with different months a) optimum tilt angle, b) suggested collector tilt angle

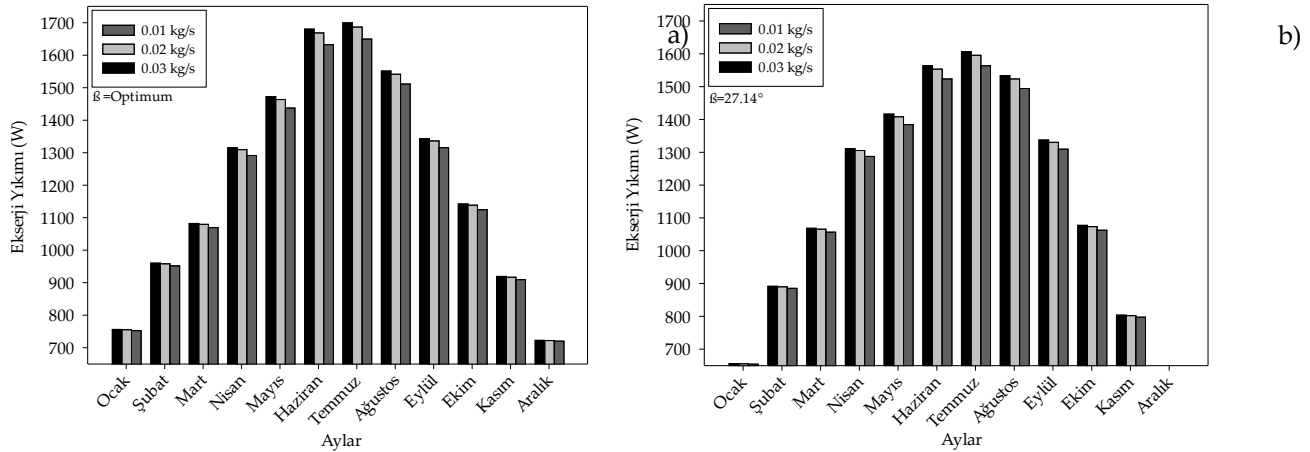
Kolektördeki toplam enerji dengesinin aylara göre değişimi optimum ve önerilen kolektör eğim açlarına göre Denklem (15) kullanılarak hesaplanmış ve sırasıyla Şekil 7a) ve Şekil 7b)'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere taşınım ile kaybedilen enerji miktarı ışınlam ile kaybedilen enerji miktarından fazla olmuştur. Ocak ve Aralık ayları dışında kullanılabilir enerji miktarı toplam kaybedilen enerji miktarı ile karşılaştırıldığında optimum ve önerilen kolektör eğim açlarına göre sırasıyla %11.91-%65.37 ve %1.86-%62.56'ya kadar fazla olduğu görülmüştür. Ocak ve Aralık aylarında ise toplam kaybedilen enerji miktarı kullanılabilir enerji miktarı ile karşılaştırıldığında optimum ve önerilen kolektör eğim açlarına göre sırasıyla %20.00-%35.62 ve %7.53-%61.18 arasında fazla olduğu görülmüştür.



Şekil 7. Kollektör enerji dengesinin aylara göre değişimi a) Optimum kollektör eğim açısı, b) Önerilen kollektör eğim açısı

Figure 7. The variation of energy balance with different months a) optimum tilt angle, b) suggested collector tilt angle

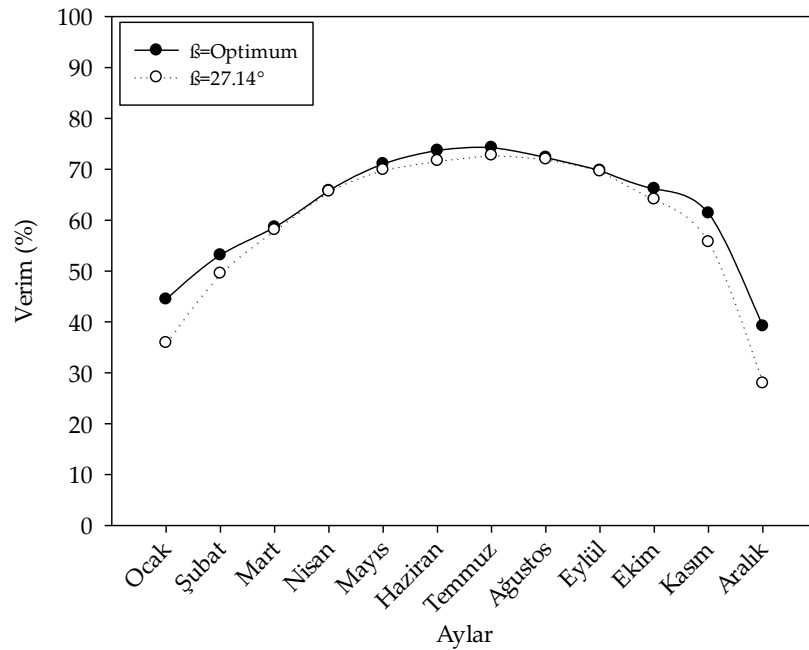
Kollektöre giren farklı debilerdeki suyun kollektördeki ekserji yıkımına etkisinin aylara göre değişimi optimum ve önerilen kollektör eğim açlarına göre Denklem (32) kullanılarak hesaplanmış ve sırasıyla Şekil 8a) ve Şekil 8b)'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, su debisi arttıkça kollektörde oluşan ekserji yıkımı tüm aylarda artmaktadır. Kollektöre giren suyun debisinin 0.03 kg/s olduğu durumlarda debinin 0.01 kg/s ve 0.02 kg/s olduğu durumlara göre ekserji yıkımında optimum kollektör açısına göre sırasıyla %0.36-%2.94 ve %0.10-%0.76 arasında, önerilen kollektör açısına göre sırasıyla %0.16-%2.67 ve %0.05-%0.68 arasında artış görülmüştür.



Şekil 8. Su debisinin kollektör ekserji yıkımına etkisinin farklı aylara göre değişimi a) Optimum kollektör eğim açısı, b) Önerilen kollektör eğim açısı

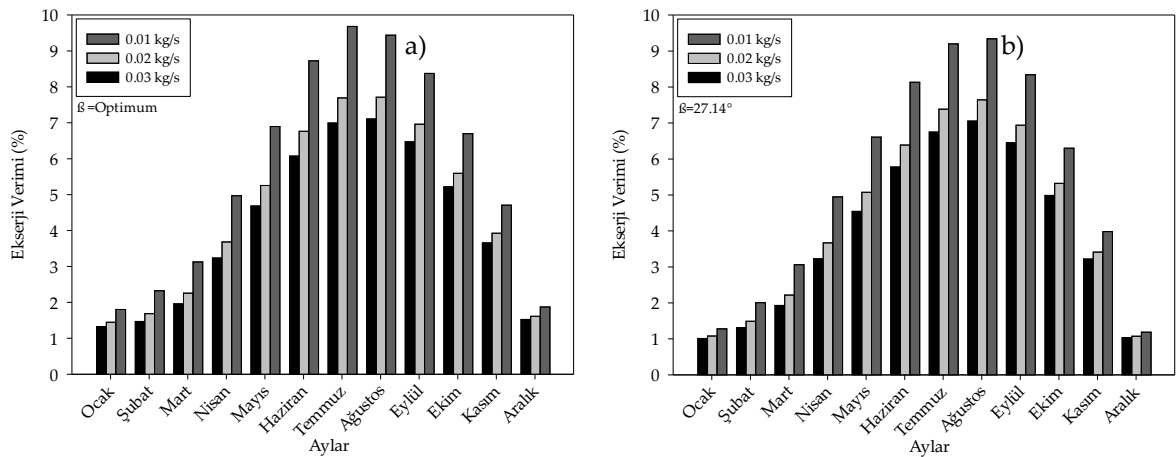
Figure 8. The effect of water flow rate on collector exergy destruction according to different months a) optimum tilt angle, b) suggested collector tilt angle

Kollektör enerji veriminin aylara göre değişimi optimum ve önerilen kollektör eğim açlarına göre Denklem (18) kullanılarak hesaplanmış ve Şekil 9'da verilmiştir. Mart, Nisan, Mayıs, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında önerilen kollektör açısının kullanılması enerji veriminde büyük oranda (%5'ten az) değişiklik göstermezken, Ocak, Şubat, Kasım ve Aralık aylarında ise önerilen kollektör eğim açısının kullanılması enerji veriminde sırasıyla %19.26, %6.83, %9.20 ve %28.62 azalmaya sebep olmaktadır.



Şekil 9. Kollektördeki enerji veriminin farklı aylar ile değişimi

Figure 9. The variation of collector energy efficiency with different months



Şekil 10. Su debisinin kollektör ekserji verimine etkisinin farklı aylar ile değişimi a) Optimum kollektör eğim açısı, b) Önerilen kollektör eğim açısı

Figure 10. The effect of water flow rate on collector exergy efficiency according to different months a) optimum tilt angle, b) suggested collector tilt angle

Kollektöre giren farklı debilerdeki suyun kollektördeki ekserji verimine etkisinin aylara göre değişimi optimum ve önerilen kollektör eğim açılarına göre Denklem (27) kullanılarak hesaplanmış ve Şekil 10a) ve Şekil 10b)'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, su debisi arttıkça kollektörde oluşan ekserji verimi tüm aylarda azalmaktadır. Kollektöre giren suyun debisinin 0.01 kg/s olduğu durumlarda debinin 0.02 kg/s ve 0.03 kg/s olduğu durumlara göre ekserji veriminde optimum kollektör eğim açısına göre sırasıyla %13.73-%27.68 ve %18.40-%37.15 arasında, önerilen kollektör eğim açısına göre sırasıyla %9.42-%27.42 ve %12.58-%36.82 arasında artış görülmüştür. Ekserji veriminin en yüksek olduğu 0.01 kg/s'de Mart, Nisan, Mayıs, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında önerilen kollektör eğim açısının kullanılması ekserji veriminde büyük oranda (%5'ten az) değişiklik göstermezken, Ocak, Şubat, Haziran, Temmuz, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında ise önerilen kollektör eğim açısının kullanılması ekserji veriminde sırasıyla %28.65, %13.64, %6.80, %5.91, %15.41 ve %36.37 azalmaya sebep olmaktadır.

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneşten faydalanılması konvansiyonel enerji kaynaklarının kullanımını azaltmak adına önemlidir. Ülkemizin yüksek güneşlenme potansiyeli sebebiyle güneş kolektörleri sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Erzincan ilindeki bir güneş kolektörünün eğim açısının performans etkisi enerji ve ekserji analizleri ile parametrik olarak belirlenmiş olup aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Aylık ortalama günlük ışınlam değerlerinin kolektör eğim açısına göre değişimi incelendiğinde en düşük ve en yüksek optimum eğim açıları sırasıyla 0° (Haziran) ve 63° (Aralık) olarak belirlenmiştir.
- Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında önerilen ve hesaplan optimum eğim açılarının kullanımında diğer aylara kıyasla aylık ortalama günlük ışınlam değerlerinde önemli değişikliğe sebep olduğu gözlemlenmiştir.
- Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Ağustos, Eylül, Ekim, Kasım aylarında ise önerilen ve hesaplan optimum eğim açılarının kullanımında diğer aylara kıyasla aylık ortalama günlük ışınlam değerlerinde büyük oranda değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir.
- Günlük ortalama saatlik ışınlam değerlerinin gün saati ile değişiminin Nisan ve Ocak aylarında sırasıyla en az ve en fazla olduğu görülmüştür.
- Kolektör su debisi arttıkça çıkış sıcaklığının azaldığı ve beklenildiği üzere en yüksek değerlere Temmuz ve Ağustos aylarında ulaştığı görülmüştür.
- En yüksek kolektör enerji verimine hesaplanan optimum ve önerilen eğim açıları için sırasıyla %74.20 ve %72.76 olarak ulaşılmıştır.
- En yüksek kolektör ekserji verimine hesaplanan optimum ve önerilen eğim açıları için sırasıyla %9.70 ve %9.36 olarak ulaşılmıştır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazarlar, bu çalışmada kullanılan verilerin temini için T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Erzincan Meteoroloji İstasyonu'na (İstasyon No:17094) teşekkür etmektedirler

SİMGELER DİZİNİ (NOMENCLATURE)

A	Kolektör yüzey alanı (m^2)
C_p	Özgül ısı (kJ/kgK)
\dot{E}_{n_k}	Kaybedilen enerji miktarı (W)
$\dot{E}_{x_{cv}}$	Kolektörün taşınım ekserji kaybı (W)
$\dot{E}_{x_{fi}}$	Kolektöre giren suyun ekserjisi (W)
$\dot{E}_{x_{fo}}$	Kolektörden çıkan suyun ekserjisi (W)
\dot{E}_{x_k}	Kolektörün toplam ekserji kaybı (W)
\dot{E}_{x_r}	Kolektörün ışınlam ekserji kaybı (W)
$\dot{E}_{x_{sun}}$	Kolektöre gelen güneş ışınlam ekserjisi (W)
G	Kolektöre gelen toplam kullanılabilir güneş enerjisi (W)
h_{cv}	Taşınım ısı transfer katsayısı (W/m^2K)
h_r	ışınlam ısı transfer katsayısı (W/m^2K)
I	Yeryüzünden yansıyan güneş ışınlamı miktarı (J/m^2)
I_0	Atmosfere giren güneş ışınlamı miktarı (J/m^2)
I_b	Yüzeye direkt gelen ışınlamı miktarı (J/m^2)

I_d	Gökyüzünden yansıyan ışınımı miktarı (J/ m^2)
I_{gs}	Güneş sabiti (W/ m^2)
$\overline{R_b}$	Aylık geometrik faktör
$R_{b,ort}$	İki saat arası ortalama geometrik faktör
\dot{S}_{gen}	Entropi Üretimi (W/K)
T_0	Ölü hâl sıcaklığı (K)
T_a	Hava sıcaklığı (K)
T_{fi}	Kollektöre giren suyun sıcaklığı (K)
T_{fo}	Kollektörden çıkan suyun sıcaklığı (K)
T_g	Kollektör yüzey sıcaklığı (K)
T_{sis}	Çevre ve kollektör yüzey sıcaklıklarının ortalaması (K)
T_{sky}	Gökyüzü sıcaklığı (K)
T_{sun}	Güneş sıcaklığı (K)
V	Rüzgâr hızı (m/s)

Yunan Harfleri (Greek symbols)

α	Kollektör yüzeyi geçirgenliği
β	Kollektör eğimi ($^\circ$)
γ	Azimut açısı ($^\circ$)
δ	Denklinasyon açısı ($^\circ$)
ϵ	Kollektör yüzeyi yayıcılığı
I_T	Toplam güneş ışınımı miktarı (J/ m^2)
k_T	Bulutsuzluk oranı
\dot{m}	Kütleli debi (kg/s)
n	1 Ocaktan itibaren gün sayısı
\dot{Q}_{cv}	Taşınım enerji kaybı (W)
\dot{Q}_r	Işınım enerji kaybı (W)
Q_u	Kullanılabilir güneş enerjisi (W)
η_i	Enerji verimi
η_{ii}	Ekserji verimi
ρ_g	Yeryüzü yansıtma katsayısı
σ	Boltzman sabiti (W/m^2K^4)
φ	Enlem açısı ($^\circ$)
ω	Saat açısı ($^\circ$)
$\omega_{1,2}$	Herhangi bir andaki saat açısı ($^\circ$)

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Caliskan, H., 2017, "Energy, exergy, environmental, enviroeconomic, exergoenvironmental (EXEN) and exergoenvironomic (EXENEC) analyses of solar collectors", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Cilt 69, ss. 488-492.
- Ceylan, T, 2010, *İki Katlı Bir Binanın, Güneş Enerjisi Destekli Hava Kaynaklı Isı Pompasıyla Isıtılması ve Sıcak Su Eldesinin Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Duffie, J. A., Beckman, W. A., Blair, N., 2020, *Solar Engineering Of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, A.B.D.
- Eren, C., 2019, *Güneş Panellerinin Yerleştirilmesinde Optimum Eğim Açısı İçin Arayüz Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Feliński, P., Sekret, R., 2017, "Effect of a low cost parabolic reflector on the charging efficiency of an evacuated tube collector/storage system with a PCM", *Solar Energy*, Cilt 144, ss. 758-766.

- Ge, Z., Wang, H., Wang, H., Zhang, S., Guan, X., 2014, "Exergy analysis of flat plate solar collectors", *Entropy*, Cilt 16, Sayı 5, ss. 2549-2567.
- Jafarkazemi, F., Ahmadifard, E., 2013, "Energetic and exergetic evaluation of flat plate solar collectors". *Renewable Energy*, Cilt 56, ss. 55-63.
- Klein, S. A., 1977, "Calculation of monthly average insolation on tilted surfaces", *Solar Energy*, Cilt 19, Sayı 4, ss. 325-329.
- Kouhikamali, R., Hassani, M., 2014, "The Possibility of using Flat Plate Solar Collector Based on the Best Calculated Tilt Angle in the City of Rasht as a Case Study", *International Journal of Engineering (IJE) Transactions B: Applications*, Cilt 27, Sayı 8, ss. 1297-1306.
- Kumar, A., Kim, M. H. 2017, "Solar air-heating system with packed-bed energy-storage systems", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Cilt 72, ss. 215-227.
- Kumar, A., Kim, M. H., 2016, "Heat transfer and fluid flow characteristics in air duct with various V-pattern rib roughness on the heated plate: A comparative study", *Energy*, Cilt 103, ss. 75-85.
- Kumar, R., Aggarwal, R. K., Sharma, J. D., Pathania, S. 2012, "Predicting energy requirement for cooling the building using artificial neural network", *Journal of Technology Innovations in Renewable Energy*, Cilt . 1, Sayı 2, ss. 113-121.
- Lakhdar, B., Salaheddine, A., Brahim, M., Mohamed, D., 2019, "Exergetic analysis and optimization of a flat plate solar collector". *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, Cilt 14, Sayı 5, ss. 1-12.
- Moosavian, S. F., Borzuei, D., Ahmadi, A., 2021, "Energy, exergy, environmental and economic analysis of the parabolic solar collector with life cycle assessment for different climate conditions", *Renewable Energy*, Cilt 165, ss. 301-320.
- Sokhansefat, T., Kasaeian, A., Rahmani, K., Heidari, A. H., Aghakhani, F., Mahian, O., 2018, "Thermoeconomic and environmental analysis of solar flat plate and evacuated tube collectors in cold climatic conditions", *Renewable Energy*, Cilt 115, ss. 501-508.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, *Kurulu Güç*, <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes>, ziyaret tarihi: 31 Mart 2022.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, *Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası*, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>, ziyaret tarihi: 31 Mart 2022.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, *Erzincan Meteoroloji İstasyonu*, İstasyon No:17094.