

Güneş Kollektörlerinin Enerji, Ekserji, Termoeolojik, Sürdürülebilirlik, Termoekonomik ve Eksergoekonomik Analizleri

Hakan Çalışkan*

ÖZ

Bu çalışmada, güneş kolektörlerinin enerji, ekserji, termoeolojik, sürdürülebilirlik, termoekonomik ve eksergoekonomik analizleri açıklanmış ve örnek bir uygulama üzerine bu analizler uygulanmıştır. Örnek uygulama olarak 8 m² alanında düzlemsel güneş kolektörü esas alınmıştır. Sistemin enerji verimi %52,46 olarak bulunurken, ekserji verimi %1,99 olarak hesaplanmıştır. Sistemin sürdürülebilirlik indeksi, termoeolojik performans katsayısı, termoekonomik parametre değeri ve toplam eksergoekonomik parametre değeri sırasıyla 1,02, 0,0206, 1,4 W/TL ve 2,683 W/TL olarak bulunmuştur. Sistemin en yüksek enerji girişı ve ekserji girişı, gelen güneş ışınımından kaynaklanmaktadır. Bu enerjinin/ekserjinin büyük bir kısmının kayba ve tersinmezliklerden dolayı yıkıma uğradığı görülmektedir. Bu durum, düzlemsel güneş kolektörlerinin en büyük dezavantajdır.

Anahtar Kelimeler: Enerji, ekserji, güneş kolektörü, sürdürülebilirlik, termoekonomik analiz, verim

Energy, Exergy, Thermoeologic, Sustainability, Thermoeconomic and Exergoeconomic Analyses of Solar Collectors

ABSTRACT

In this study, energy, exergy, thermoeologic, sustainability, thermoeconomic and exergoeconomic analyses of solar collectors are explained and these analyses are applied to a case study. As a case study, flat plate solar collector with 8m² area is considered. The exergy efficiency of the system is calculated as 1,99%, while energy efficiency is 52,46%. The sustainability index, thermoeologic performance coefficient, thermoeconomic parameter rate and total exergoeconomic parameter rate of the system are found as 1,02, 0,0206, 1,4 W/TL and 2,683 W/TL, respectively. The maximum energy input and exergy input are caused by the incoming solar radiation. It is seen that most of this energy/exergy is lost, and destructed due to irreversibilities. This situation is the biggest disadvantage of the flat plate solar collectors.

Keywords: Energy, exergy, solar collector, sustainability, thermoeconomic analysis, efficiency

Geliş/Received : 26.07.2020
Kabul/Accepted : 06.08.2020

¹ Uşak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Uşak
hakan.caliskan@usak.edu.tr
ORCID: 0000-0002-6571-0965



1. GİRİŞ

Petrol, kömür, doğalgaz gibi yakıtlar, yenilenebilir olmayan ve kullanıldıkça azalan geleneksel enerji kaynakları olarak bilinir [1]. Yaşam standartlarına ve nüfus artışına bağlı olarak, geleneksel enerji kaynakları günden güne azalır. Ayrıca, kullanıldıkça sera gazı salmaları açısından da çevreci değillerdir [2]. Bu sebeple, çevreci ve sürdürülebilir enerji kaynakları üzerine araştırmalar giderek artmaktadır. Gerekli enerji ihtiyacını karşılamada yenilenebilir enerji önemli rol oynamaktadır. Güneş, rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynakları tükenmeyen sürdürülebilir kaynaklardır. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynakları, geleneksel enerji kaynaklarına göre daha çevrecidir [3-5].

Enerji, çevre yönetiminde önemli rol oynar. Enerji üretiminde genellikle yenilenebilir olmayan enerji türleri kullanılır ve bunlar SO_x, CO, NO_x gibi çevreye ve canlılara zararlı emisyon salarlar [6,7]. Bu sebeple, çevreci enerji üretimi amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı önemlidir. Günümüzde, elektrik enerjisinin beşte biri yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmektedir [8]. Yenilenebilir enerji kaynakları temiz ve güvenli enerji kaynakları olarak da bilinir ve güneş enerjisi bunlar arasında gelecek vaat eden bir enerji çeşididir. Güneş enerjisi ücretsizdir ve dünyanın enerji ihtiyacını karşılayabilecek kapasitede bir enerji kaynağıdır [9-11].

Güneş enerjisi, güneşin ısı ve ışınım ışığı olarak tanımlanabilir. Güneş enerjili ısıtma sistemleri, fotovoltaiik sistemler, solar (güneş enerjili) termal enerji sistemleri, güneş mimarisi ve yapay fotosentez gibi sürekli gelişen teknolojileri kullanır. Önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir ve güneşin enerjisini nasıl yakalayıp dağıttıklarına veya enerjiye nasıl dönüştürdüklerine bağlı olarak pasif solar veya aktif solar olarak karakterize edilir. Aktif solar teknikler; fotovoltaiik sistemler, yoğunlaştırılmış güneş enerjili güç sistemleri ve güneş enerjili su ısıtma sistemleridir. Pasif solar teknikler ise güneş enerjili (solar) binaları ve solar malzemeleri kapsar [12]. Enerji kaynaklarından üretilen enerjinin büyük bir kısmı binalar (yapılar) için kullanılır. Bu sebeple, güneş enerjisi sistemlerinin binalarda kullanılmasıyla enerji tüketimi azaltılabilir. Bu bağlamda, güneş enerjili su ısıtma sistemleri yaygın olarak binalarda kullanılmaktadır. Güneş enerjili su ısıtma sistemleri olarak güneş kolektörleri sıklıkla kullanılır ve kolektörler güneş ışınımını emerek bunu ısı enerjisine dönüştürür ve içinden geçen akışkana ısıyı transfer ederler [13,14].

Yaygın olarak kullanılan düzlemsel güneş kolektörleri 1950'li yıllarda Hottel ve Whillier tarafından geliştirilmiştir. Düzlemsel güneş kolektörü; siyah düzlemsel bir emici yüzey, ısı kaybını azaltan ve ışınımı geçiren bir saydam yüzey, emici yüzeyden ısıyı alan bir ısı transfer akışkanı (hava, antifriz, su vb.) ve ısı yalıtımı içeren bir sistemdir. Emici yüzey, ince bir tabaka şeklindedir ve genellikle akışkanın geçtiği borular ile birliktedir. Su, ısıyı emici yüzeyden yalıtımlı ısı tankına aktarmak için bu boruların içinde dolaştırılır. Bu teknoloji temel olarak konutların enerji faturasında önemli etken olan sıcak su ihtiyacını ve yüzey ısıtmasını karşılamada kullanılır. Diğer

uygulama şekilleri çamaşırhaneler, araç yıkama yerleri, askeri yıkama tesisleri, havuzlar ve yemek tesisleri gibi değişkenlik göstermektedir [15].

Güneş kolektörleri yüzey esaslı kolektörlerdir. İlk olarak güneş ışığını emer ve ısıya dönüştürür, ardından bu ısı, ısı transfer akışkanına aktarılır. Sistemde ısı; ışınım, taşınım ve iletim yoluyla kayba uğrayabilir. Bu sebeple ısı kaybını azaltmak ve sistemdeki kayıp ve tersinmezlikleri belirlemek önemlidir [16]. Yenilenebilir enerji sistemleri, ekserji ve sürdürülebilirlik değerlendirmeler de göz önüne alındığında daha detaylı olarak incelenebilir. Ekserji, genellikle enerjinin kalitesi olarak bilinir ve sistemin çevre ile denge halinde olduğu ölü durum koşulu olarak bilinen referans çevre ile ilişkilidir. Sürdürülebilirlik değerlendirmesi yapabilmek için de ekserjiye ihtiyaç vardır [3,17]. Ayrıca tersinmezliklerin termodinamik performans üzerindeki etkilerini inceleyen termoeolojik analiz yöntemi de ekserji analizini esas alır [18]. Termoekonomik ve eksergoekonomik analizlerde, ekonomi ve enerji-ekserji analizleri birlikte kullanılır ve bu analizler sistemlerin gerçek ürün maliyetlerinin belirlenmesini sağlar. Eksergoekonomik analizde, ısıl sistemin çevresi ile olan etkileşimi ve içerisindeki termodinamik verimsizliklerin maliyetinin belirlenmesi için kullanılacak gerçek verilerin ekserji değerleri olduğu kabul edilir [19-22].

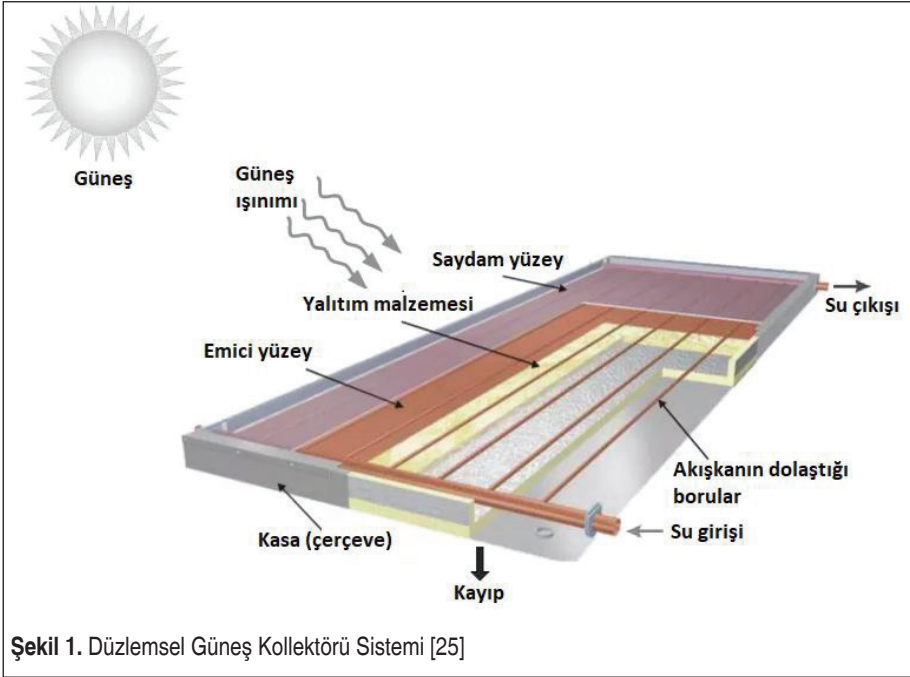
Bu çalışmada, güneş kolektörlerinin enerji, ekserji, termoeolojik, sürdürülebilirlik, termoekonomik ve eksergoekonomik analizleri açıklanmış ve örnek bir düzlemsel güneş kolektörü sisteme bu analizler uygulanmıştır.

2. YÖNTEM VE ANALİZ

Düzlemsel güneş kolektörleri, binalarda su ısıtma amacıyla kullanılan en yaygın güneş kolektörü çeşididir. Bu kolektörler genellikle emici yüzey, saydam yüzey (cam), çerçeve sistemi ve yakıtım içerir. Güneş ışınımı, emici yüzey tarafından emilir ve kolektör içerisindeki borularda dolaşan iş akışkanı suya ısı olarak aktarılır. Düzlemsel güneş kolektörleri iş akışkanı suyu kaynama noktasının altındaki bir sıcaklığa kadar ısıtır. Kış aylarında ısı gereksiniminin karşılanmasında ve talep sıcaklığının 30 °C - 70 °C olduğu uygulamalarda yaygın olarak tercih edilir [23,24]. Düzlemsel güneş kolektörü sistemi Şekil 1’de gösterilmiştir.

Örnek uygulama olarak; 45 derece açı ile yerleştirilen 2 m x 4 m ebatlarında olan 8 m² alanlı bir düzlemsel güneş kolektörü esas alınmıştır. Güneş sıcaklığı 5500 °C, hava sıcaklığı 30 °C, kolektör cam sıcaklığı 45 °C, gökyüzü sıcaklığı -40 °C, güneş ışınımı 1000 W/m², camın yarıcılığı 0,92 ve camın geçirgenliği 0,92 olarak ele alınmıştır. İşlem süresince su, kolektöre 23 °C sıcaklıkta girmekte ve 59,95 °C sıcaklıkta çıkmaktadır.

Ekserji analizi sadece termodinamiğin I. kanunu değil, II. kanunu da esas alır. Ekserji analizi sistemlerin kullanılabilir enerjilerini belirleme ve değerlendirme için kullanı-



ır. Ekserji; enerjinin kalitesi, potansiyeli veya kullanılabilirlik olarak tanımlanır. Termodinamik sistemlerde enerjinin sürdürülebilir kalite değerlendirmesinin yapılmasına olanak tanır. Ekserji analizinin diğer hedefleri; termodinamiğin II. kanunu verimini ve tersinmezlikleri belirleme olarak ifade edilebilir. Tersinmezlik, entropi üretimi ile doğru orantılıdır. Termodinamiğin II. kanununa göre işlem sürecinde ekserjinin bir kısmı yıkıma uğrar. Ekserji analizi için referans durum önemlidir. Referans durum, sistemin veya akışın içinde bulunduğu gerçek çevreye benzer referans çevre olarak kabul edilir. Eğer bir sistem çevresi ile dengede ise, o sistem ölü durum koşulundadır. Ölü durum koşulunda sistemin ekserjisi sıfıra eşittir, yani herhangi bir yararlı iş elde edilemez. Bu ölü durum koşulunda, sıcaklık “ölü durum sıcaklığı” (referans sıcaklık), basınç ise “ölü durum basıncı”dır [17].

Sürdürülebilir gelişme ile enerji kaynaklarının verimli olarak kullanımı sağlanır. Ekserji analizi yöntemi, etkin verim değerlendirme ve beraberinde sürdürülebilirlik değerlendirme sağlaması sebebiyle, toplumların gelişmesine de katkıda bulunan bir araçtır. Sürdürülebilir değerlendirme, kaynakların etkin ve verimli kullanımı için gereklidir ve sürdürülebilirlik indeksi fonksiyonu ve ekserji verimine bağlıdır [17]. Termoekolojik analiz de, ekserji analizini kullanan bir analiz yöntemidir [18].

Termoekonomik analiz enerji analizini esas alır, eksergoekonomik analiz ise ekserji temellidir. Bu çalışmada termoekonomik ve eksergoekonomik analiz olarak EXCEM

(Exergy-Cost-Energy-Mass Analysis) (Ekserji-Maliyet-Enerji-Kütle Analizi) yöntemi esas alınmıştır. EXCEM analizi genellikle iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada, tüm akımların enerji ve ekserji analizleri yapılmaktadır. İkinci aşamada ise, sistem termoekonomik ve eksergoekonomik açıdan değerlendirilmektedir. [20-22].

Sistem sürekli rejim için incelenmiştir ve denge denklemleri buna göre ele alınmıştır. Güneş kolektörünün enerji denge denklemi aşağıdaki şekilde yazılır.

$$\dot{E}n_{su,g} + \dot{E}n_{güneş,g} = \dot{E}n_{su,ç} + \dot{E}n_k \quad (1)$$

Burada $\dot{E}n_{su,g}$ kolektöre giren suyun enerjisi, $\dot{E}n_{güneş,g}$ kolektöre gelen güneş ışınımı enerjisi, $\dot{E}n_{su,ç}$ kolektörden çıkan suyun enerjisi ve $\dot{E}n_k$ kolektörün enerji kaybıdır.

Güneş kolektörüne gelen güneş ışınımı enerjisi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\dot{E}n_{güneş,g} = \alpha I_{güneş} A \quad (2)$$

Burada α kolektör camı geçirgenliği, $I_{güneş}$ güneş ışınımı ve A kolektör yüzey alanıdır.

Güneş kolektörünün enerji kaybı; taşınım ($\dot{Q}_{taş}$) ve ışınım ($\dot{Q}_{ış}$) ısı kayıplarından kaynaklanır.

$$\dot{E}n_k = \dot{Q}_{taş} + \dot{Q}_{ış} \quad (3)$$

$$\dot{Q}_{taş} = h A (T_{yüz} - T_0) \quad (4)$$

$$\dot{Q}_{ış} = \varepsilon \sigma A (T_{yüz}^4 - T_{gökyüzü}^4) \quad (5)$$

Burada ε kolektör camının yayıcılığı, σ Stefan-Boltzman sabiti, $T_{yüz}$ kolektör yüzey sıcaklığı ve $T_{gökyüzü}$ gökyüzü sıcaklığıdır.

Güneş kolektöründen çıkan ve kolektöre giren suyun net enerji değişimi (\dot{Q}_{su}) denge denkleminde aşağıdaki şekilde çekilerek bulunur:

$$\dot{Q}_{su} = \dot{E}n_{su,ç} - \dot{E}n_{su,g} = \dot{E}n_{güneş,g} - \dot{E}n_k \quad (6)$$



Güneş kolektörünün enerji verimi;

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{su}}{\dot{E}n_{güneş,g}} 100 \quad (7)$$

Güneş kolektörünün ekserji denge denklemi aşağıdaki şekilde yazılır.

$$\dot{E}x_{su,g} + \dot{E}x_{güneş,g} = \dot{E}x_{su,\zeta} + \dot{E}x_k + \dot{E}x_y \quad (8)$$

Burada $\dot{E}x_{su,g}$ kolektöre giren suyun ekserjisi, $\dot{E}x_{güneş,g}$ kolektöre gelen güneş ışınımı ekserjisi, $\dot{E}x_{su,\zeta}$ kolektörden çıkan suyun ekserjisi, $\dot{E}x_k$ kolektörün ekserji kaybı ve $\dot{E}x_y$ kolektörün ekserji yıkımıdır.

Güneş kolektörüne giren suyun ekserjisi:

$$\dot{E}x_{su,g} = \dot{m}_{su} c_{p,su} \left[(T_{su,g} - T_0) - T_0 \ln \left(\frac{T_{su,g}}{T_0} \right) \right] \quad (9)$$

Burada \dot{m}_{su} kolektörde dolaşan suyun debisi, $c_{p,su}$ suyun özgül ısısı, $T_{su,g}$ kolektöre giren suyun sıcaklığı (K) ve T_0 çevre sıcaklığıdır (K).

Güneş kolektöründen çıkan suyun ekserjisi:

$$\dot{E}x_{su,\zeta} = \dot{m}_{su} c_{p,su} \left[(T_{su,\zeta} - T_0) - T_0 \ln \left(\frac{T_{su,\zeta}}{T_0} \right) \right] \quad (10)$$

Burada $T_{su,\zeta}$ kolektörden çıkan suyun sıcaklığıdır (K).

Güneş kolektörüne gelen güneş ışınımı ekserjisi:

$$\dot{E}x_{güneş,g} = \alpha I_{güneş} A \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{T_0}{T_{güneş}} \right)^4 - \frac{4}{3} \left(\frac{T_0}{T_{güneş}} \right) \right] \quad (11)$$

Burada $T_{güneş}$ güneşin yüzey sıcaklığıdır (K).

Güneş kolektörünün ekserji kaybı; taşınım ekserji kaybı ($\dot{E}x_{taş}$) ve ışıma ekserji kaybından ($\dot{E}x_{iş}$) oluşur.

$$\dot{E}x_k = \dot{E}x_{taş} + \dot{E}x_{iş} = \dot{Q}_{taş} \left(1 - \frac{T_0}{T_{sis}} \right) + \dot{Q}_{iş} \left(1 - \frac{T_0}{T_{sis}} \right) \quad (12)$$

Burada T_{sis} hava ve kolektör yüzeyi sıcaklıklarının ortalamasıdır (K).

$$T_{sis} = \frac{T_0 + T_{yüz}}{2} \quad (13)$$

Güneş kolektörünün ekserji yıkımı denge denkleminde çekilerek bulunur.

$$\dot{E}x_y = \dot{E}x_{su,g} + \dot{E}x_{güneş,g} - \dot{E}x_{su,ç} - \dot{E}x_k \quad (14)$$

Güneş kolektörünün toplam entropi üretimi ($\dot{S}_{ür}$) aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\dot{S}_{ür} = \frac{\dot{E}x_y}{T_0} \quad (15)$$

Güneş kolektörünün ekserji verimi:

$$\Psi = \frac{\Delta \dot{E}x_{su}}{\dot{E}x_{güneş,g}} 100 = \frac{\dot{E}x_{su,ç} - \dot{E}x_{su,g}}{\dot{E}x_{güneş,g}} 100 \quad (16)$$

Sürdürülebilirlik indeksi (SI):

$$SI = \frac{1}{1 - \Psi} \quad (17)$$

Termoekolojik analiz, ekolojik performans katsayısı (*ECOP*) ile ifade edilir. Bu katsayı da güneş kolektörü sistemi için net faydalı ekserji çıkışının ekserji yıkımına oranı olarak ifade edilir [18].

$$ECOP = \frac{\Delta \dot{E}x_{su}}{\dot{E}x_y} \quad (18)$$



Termoekonomik analiz; termoekonomik analiz parametresi (R_{en}) ile ifade edilir ve sistemin enerji kaybının ($\dot{E}n_k$) toplam kollektör maliyetine (K) oranıdır [17]. Burada kollektör maliyeti yaklaşık olarak 2500TL kabul edilmiştir [26].

$$R_{en} = \frac{\dot{E}n_k}{K} \quad (19)$$

Eksergoekonomik analiz, eksergoekonomik parametre (R_{ex}) ile ifade edilir. Bu parametre sistemin ekserji kaybının ($\dot{E}x_k$) ve ekserji yıkımının ($\dot{E}x_y$) toplam kollektör maliyetine oranlarının toplamıdır [17].

$$R_{ex} = R_{ex,k} + R_{ex,y} = \frac{\dot{E}x_k}{K} + \frac{\dot{E}x_y}{K} \quad (20)$$

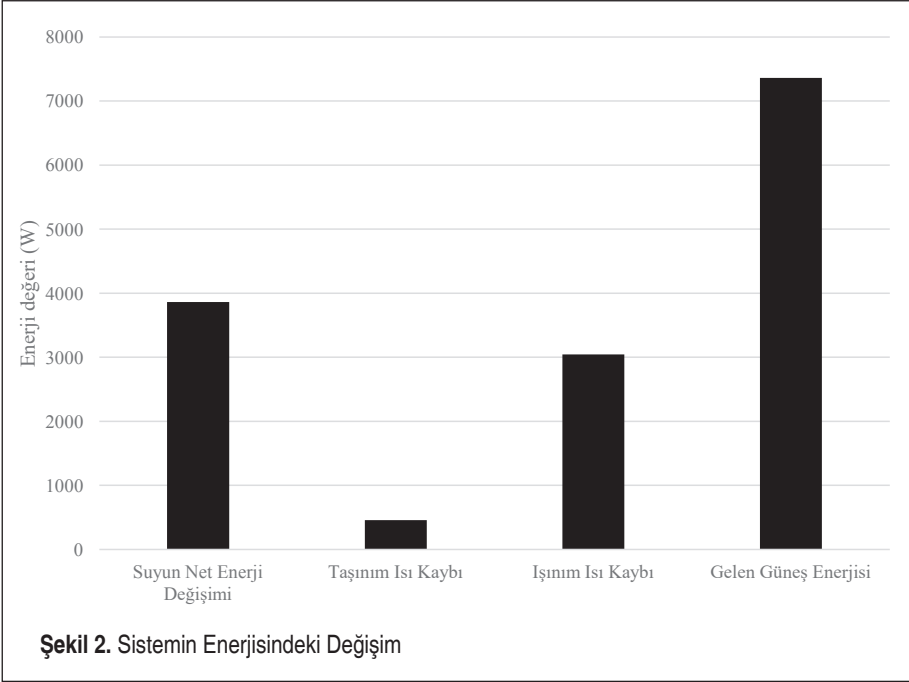
Burada $R_{ex,k}$ ekserji kaybından kaynaklı eksergoekonomik parametre ve $R_{ex,y}$ ekserji yıkımından kaynaklı eksergoekonomik parametredir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Örnek uygulama olarak ele alınan sisteme, enerji ekserji, sürdürülebilirlik, termokolojik, termoekonomik ve eksergoekonomik analizler uygulanmıştır. Enerji analizi sonuçları Tablo 1'de gösterilmiştir. Sisteme gelen güneş ışınımı 7360 W'lık enerji girişine sebebiyet vermektedir. Sistemden 456,865 W'lık taşınım ısı kaybı, 2042,404 W'lık ışınım ısı kaybı olmaktadır. Kolektörden çıkan ve kolektöre giren suyun enerji değişimi de 3860,731 W olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak sistemin enerji verimi %52,46 olarak bulunmuştur. Sistemin enerjisindeki değişim Şekil 2'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Enerji Analizi Sonuçları

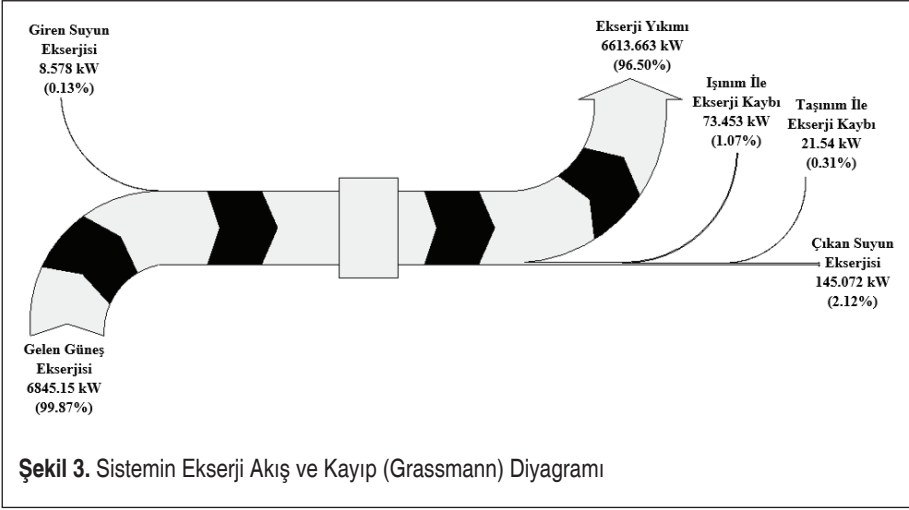
Enerji Parametresi	Değer
Suyun Net Enerji Değişimi	3860,731 W
Enerji Kaybı	3499,269 W
-Taşınım Isı Kaybı	456,865 W
-Işınım Isı Kaybı	3042,404 W
Gelen Güneş Enerjisi	7360 W
Enerji Verimi	% 52,46



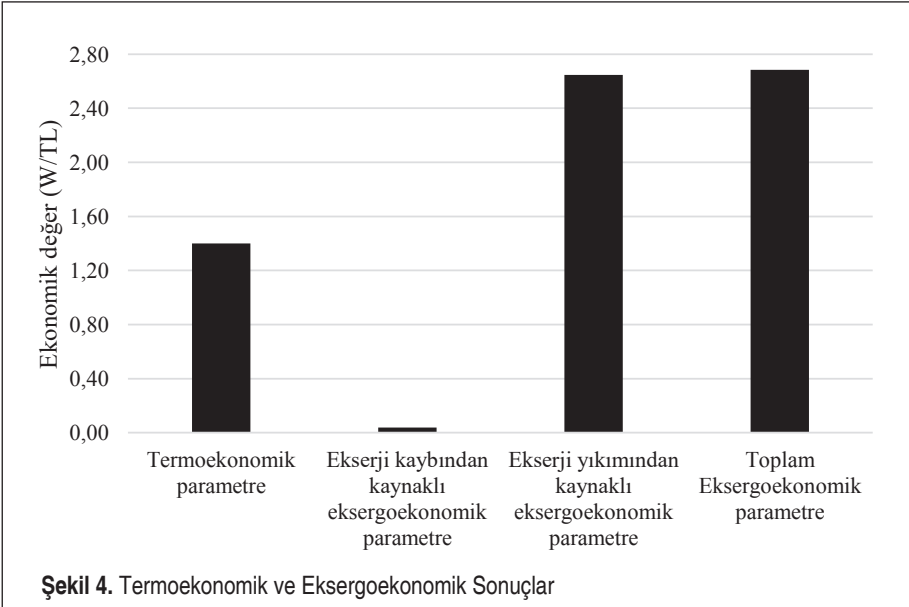
Sistemin ekserji analizi sonuçları Tablo 2’de sunulmuştur. Giren suyun ekserjisi 8,578 W, çıkan suyun ekserjisi 145,072 W, taşınım ile ekserji kaybı 21,54 W, ışınlam ile ekserji kaybı 73,453 W, gelen güneş ışınlamı ekserjisi 6845,15 W, ekserji yıkımı 6613,663 W, toplam entropi üretimi 21,816 W/K ve ekserji verimi %1,99 olarak hesaplanmıştır. Sistemin ekserji akış ve kayıp (Grassmann) diyagramı Şekil 3’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Ekserji Analizi Sonuçları

Ekserji Parametresi	Değer
Suyun Net Ekserji Değişimi	136,494 W
-Çıkan Suyun Ekserjisi	145,072 W
-Giren Suyun Ekserjisi	8,578 W
Ekserji Kaybı	94,993 W
-Taşınım İle Ekserji Kaybı	21,540 W
-Işınım İle Ekserji Kaybı	73,453 W
Gelen Güneş Ekserjisi	6845,15 W
Ekserji Yıkımı	6613,663 W
Ekserji Verimi	% 1,99
Entropi Üretimi	21,816 W/K



Sistemin sürdürülebilirlik indeksi 1,02, termoekolojik performans katsayısı olan ECOP değeri 0,0206, termoekonomik parametre değeri 1,4 W/TL, ekserji kaybından kaynaklı eksergoekonomik parametre değeri 0,038 W/TL, ekserji yıkımından kaynaklı eksergoekonomik parametre 2,645 W/TL, toplam eksergoekonomik parametre ise 2,683 W/TL olarak bulunmuştur. Termoekonomik ve eksergoekonomik sonuçlar Şekil 4’de sunulmuştur.



Sistemin en yüksek enerji girişi ve ekserji girişi değerleri, gelen güneş ışınımından kaynaklanmaktadır. Bu enerjinin büyük bir kısmının kayba ve tersinmezliklerden dolayı yıkıma uğradığı görülmektedir. Bu durum, düzlemsel güneş kolektörlerinin en büyük dezavantajı olarak değerlendirilmektedir. Sistemin enerji verimi ortalama bir değer olarak değerlendirilse de, ekserji veriminin, sürdürülebilirlik indeksinin ve termoeolojik değerler oldukça düşük olduğu görülmektedir. Enerji analizinde referans çevre (ölü durum koşulları) hesaba katılmadığından, verim değeri ekserji verimine göre yüksektir. Ekserji analizinde çevre koşulları göz önüne alındığından, ekserji ile ilişkili sürdürülebilirlik ve termoeolojik analiz sonuçları da düşük çıkmaktadır. Kayıpların azaltılması verim artışına sebebiyet vereceğinden, sistemin yalıtımının iyileştirilmesi gerekmektedir ve tersinmezliklerin azaltılması için de düzlemsel kolektör tasarımının geliştirilmesi önerilebilir.

KAYNAKÇA

1. **Caliskan, H., Hepbasli, A.** 2009. "Comparing The Energetic and Exergetic Prices of Various Energy Sources for The Turkish Residential and Industrial Applications," Proceedings of the 1st International Exergy, Life Cycle Assessment and Sustainability Workshop & Symposium (ELCAS-2009), p. Exergy and Buildings I.8, 4-6 June, 2009, Nisyros, Greece.
2. **Caliskan, H., Hepbasli, A.** 2010. "Energy and Exergy Prices of Various Energy Sources Along With Their CO2 Equivalentents," Energy Policy, vol. 38, p. 3468-3481.
3. **Caliskan, H., Dincer, I., Hepbaşlı, A.** 2013. "Energy, Exergy and Sustainability Analyses of Hybrid Renewable Energy Based Hydrogen and Electricity Production and Storage Systems: Modeling and Case study," Applied Thermal Engineering, vol. 61, p. 784-798.
4. **Caliskan, H., Dincer, I., Hepbasli, A.** 2013. "Exergoeconomic and Environmental Impact Analyses of a Renewable Energy Based Hydrogen Production System," International Journal of Hydrogen Energy, vol. 38, p. 6104-6111.
5. **Caliskan, H.** 2016. "Exergy and Sustainability Assessments of Flat Plate Solar Thermal Collectors," International Journal of Engineering Technology, Management and Applied Sciences (IJETMAS), vol. 4, no. 10, p. 8-12.
6. **Akella, A. K., Saini R. P., Sharma, M.P.** 2009. "Social, Economical and Environmental Impacts of Renewable Energy Systems," Renewable Energy, vol. 34, p. 390-396.
7. **Caliskan, H.** 2015. "Thermodynamic and Environmental Analyses of Biomass, Solar and Electrical Energy Options Based Building Heating Applications," Renewable & Sustainable Energy Reviews, vol. 43, p. 1016-1034.
8. EIA (International Energy Agency). 2013. "U.S. Energy Information Administration," <http://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=527&t=1>, 01.06.2020.



9. **Chamoli, S.** 2013. "Exergy Analysis of a Flat Plate Solar Collector," *Journal of Energy in Southern Africa*, vol. 24, p. 8-13.
10. **Faizal, M., Saidur, R., Mekhilef, S., Hepbasli, A., Mahbubul, I. M.** 2014. "Energy, Economic and Environmental Analysis of a Flat-Plate Solar Collector Operated with SiO₂ Nanofluid," *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol. 17, p. 1457-1473.
11. **Caliskan, H.** 2016. "Environmental Assessment of Solar Collectors". *International Journal of Engineering Technology Science and Research (IJETSRS)*, vol. 3, no. 9, p. 42-45.
12. IEA (International Energy Agency). 2011. "Solar Energy Perspectives: Executive Summary," International Energy Agency, <http://www.eng.uc.edu/~beaucag/Classes/SolarPowerForAfrica/SolarEnergyPerspectives6111251e.pdf>, 01.06.2020.
13. **Shojaeizadeh, E., Veysi, F.** 2016. "Development of a Correlation for Parameter Controlling Using Exergy Efficiency Optimization of an Al₂O₃/Water Nanofluid Based Flat-Plate Solar Collector," *Applied Thermal Engineering*, vol. 98, p.1116-1129.
14. **Sun, C., Liu, Y., Duan, C., Zheng, Y., Chang, H., Shu, S.** "A Mathematical Model to Investigate on the Thermal Performance of a Flat Plate Solar Air Collector and its Experimental Verification," *Energy Conversion and Management*, vol. 115, p. 43-51.
15. **Kainth, M., Sharma, V. K.** 2014. "Latest Evolutions in Flat Plate Solar Collectors Technology," *International Journal of Mechanical Engineering (IJME)*, vol. 1, no. 1, p. 7-11.
16. **Jeon, J., Park, S., Lee, B. J.** 2016. "Analysis on the Performance of a Flat-Plate Volumetric Solar Collector Using Blended Plasmonicnanofluid," *Solar Energy* vol. 132, p. 247-256.
17. **Dincer, I., Rosen, M. A.** 2007. *Exergy: Energy Environment and Sustainable Development*, ISBN: 10:0080445292, Elsevier, Oxford, UK.
18. **Ust, Y., Sahin, B., Kodal, A., Akcat, I. H.** 2006. "Ecological Coefficient of Performance Analysis and Optimization of an Irreversible Regenerative-Brayton Heat," *Applied Energy*, vol. 83, p. 558-572.
19. **Çalışkan, H.** 2012. *Özgün Isıl Enerji Depolama Sistemlerinin Analizi ve Performans Değerlendirmesi*, Doktora Tezi. Ege Üniversitesi, İzmir.
20. **Rosen, M. A., Dincer, I.** 2003. "Exergy-Cost-Energy-Mass Analysis of Thermal Systems and Processes," *Energy Conversion and Management*, vol. 44, p. 1633-1651.
21. **Rosen, M. A., Dincer, I.** 2003. "Thermoeconomic Analysis of Power Plants: an Application to a Coal Fired Electrical Generating Station," *Energy Conversion and Management*, vol. 44, p. 2743-2761.
22. **Rosen, M. A., Dincer, I.** 2003. "Exergoeconomic Analysis of Power Plants Operating on Various Fuels," *Applied Thermal Engineering*, vol. 23, p. 643-658.

23. **Darling, D.** 2016. “Flat Plate Solar Thermal Collector,” http://www.daviddarling.info/encyclopedia/F/AE_flat_plate_solar_thermal_collector.htm,01.06.2016.
24. **Solarserver.** 2016. “Solar Collectors,”. <http://www.solarserver.com/knowledge/basic-knowledge/solar-collectors.html>, 01.06.2016
25. Enerji Portalı. 2020. “Güneş Kollektörü Nedir,”r. <https://www.enerjiportali.com/gunes-kollektoru-nedir/>, 01.06.2020.
26. **Solaranka.** 2020. “Ankara Solar Güneş Enerjisi,” <https://www.solaranka.com/>,01.06.2020.