

Nanoakışkan Kullanılan Güneş Kolektörünün Teorik Modellenmesi ve Farklı Çalışma Koşullarındaki Enerji ve Ekserji Analizi

Erhan KIRTEPE

Dr. Öğr. Üyesi
Şirnak Üniversitesi
Şirnak Meslek Yüksekokulu
Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri
Şirnak
erhan.kirtepe@sirnak.edu.tr
erhan.kirtepe@gmail.com
orcid: 0000-0002-1824-2599

Ali GÜNGÖR

Prof. Dr.
Ege Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği
İzmir
ali.gungor@ege.edu.tr
aligr55@gmail.com
orcid: 0000-0003-0111-4192

ÖZ

Bu çalışmada güneşten ısı enerji üretmemizi sağlayan güneş kolektörünün teorik modellenmesi yapılmıştır. Güneş kolektöründe temel ısı transfer akışkanı olarak kullanılan suya farklı konsantrasyon oranlarında nanopartiküller (Cu, CuO, Al₂O₃, TiO₂, SiO₂) eklenerek farklı nanoakışkanlar elde edilmiştir. Bu nanoakışkanların farklı konsantrasyon oranlarında ve farklı debilerde güneş kolektörü içerisinde kullanılmasının güneş kolektörünün ısı ve ekserjetik performansına olan etkileri incelenmiştir. 0,048 kg/s kütleli debiye ve 0,04 konsantrasyon oranında da Cu nanopartiküle sahip nanoakışkanın kullanılması ile ısı transfer akışkanı olarak suyun kullanıldığı duruma göre kolektör ısı veriminde %1,65 oranında azalma, ekserji veriminde ise %1,59 oranında artış olduğu tespit edilmiştir. Yapılan teorik analizler sonucunda, temel ısı transferi akışkanı olan suya nanopartikül eklenmesinin ısı verimi ve entropi üretimini azaltırken ekserji verimini arttırdığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler

Güneş Enerjisi, Kolektör, Nanoakışkan, Ekserji.

Theoretical Modeling of a Solar Collector Used with Nanofluid and, Energy and Exergy Analysis in Different Working Conditions

ABSTRACT

In this study, the theoretical modeling of the solar collector that enables us to generate thermal energy from the sun has been made. Different nanofluids were obtained by adding nanoparticles (Cu, CuO, Al₂O₃, TiO₂, SiO₂) in different concentration ratios to the water used as the main heat transfer fluid in the solar collector. The effects of using these nanofluids at different concentration ratios and different flow rates in solar collectors were investigated on the thermal and exergetic performance of the solar collector. With the use of nanofluid with 0.048 kg/s mass flow rate and Cu nanoparticle at a concentration of 0.04, it was determined that there was a decrease of 1.65% in the collector thermal efficiency and an increase of 1.59% in the exergy efficiency compared to the use of water as the heat transfer fluid. As a result of the theoretical analysis, it has been determined that adding nanoparticles to water, which is the main heat transfer fluid, decreases the thermal efficiency and entropy generation while increasing the exergy efficiency.

Keywords

Solar Energy, Collector, Nanofluid, Exergy.

Geliş Tarihi : 05.05.2021

Kabul Tarihi : 19.05.2021

1. GİRİŞ

Fosil kökenli yakıtların tükenmesi ve bunun yanı sıra bu yakıtların kullanımının çevreye verdikleri zarar sebebiyle yenilenebilir enerjilere ve bu enerjilerden yararlanmamızı sağlayan sistemlere olan ihtiyaç ve ilgi her geçen gün artmaktadır. Bu kapsamda özellikle gezegenimizi ısıtan ve aydınlatan güneşten en iyi şekilde yararlanmamızı ve güneşten enerji üretirken kullanılan sistemlerin veriminin artmasını sağlayacak çalışmaların yapılması önemlidir. Bu kapsamda güneşten ısı enerji üreten sistemlerde kullanılan çalışma akışkanına nanopartiküller eklenmesi ile ısı transfer akışkanının termodinamik özelliklerinin geliştirilmesi ve buna bağlı olarak da sistem verimlerinin artırılması amacıyla birçok bilimsel çalışma yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir.

Mahian vd. (2014) [1] içerisinde dört farklı nanoakışkan (Cu/su, Al_2O_3 /su, TiO_2 /su ve SiO_2 /su) kullanılan mini kanallı güneş kolektörünün performans analizini teorik olarak gerçekleştirmişlerdir. Sabit kütleli debide nanoakışkan kullanılan güneş kolektöründe türbülanslı akış için enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Akışkanın güneş kolektöründen çıktığındaki en yüksek sıcaklık değeri nanoakışkan olarak Cu/su kullanıldığı zaman elde edilmiştir. Yousefi vd. (2012) [2] içerisinde Al_2O_3 /su nanoakışkan kullanılan düz plakalı güneş kolektörünün verimini deneysel olarak incelemiştir. Nanoakışkan içerisindeki nanopartiküllerin ağırlık oranı %0,2 ve %0,4, parçacık boyutu ise 15 nm olarak alınmış ve nanoakışkanın debisi 1 ila 3 L/dak arasında değiştirilerek dış ortam koşullarındaki deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, %0,2 ağırlık oranındaki nanoakışkanın kullanılması, çalışma akışkanı olarak suyun kullanıldığı duruma göre güneş kolektörünün verimini %28,3 oranında arttırmıştır. Tyagi vd. (2009) [3] çalışma akışkanı olarak su ve alüminyum karışımı nanoakışkan kullanılan yoğunlaştırmasız bir direkt absorpsiyonlu güneş kolektörü ile tipik bir düz plakalı güneş kolektörünün uygunluk açısından teorik olarak karşılaştırmasını yapmışlardır. Direkt absorpsiyonlu güneş kolektörü için iki boyutlu ısı transfer analizi nümerik olarak modellenmiştir. Yapılan analizler sonucunda aynı koşullar altındaki içerisinde çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanılan direkt absorpsiyonlu güneş kolektörünün, içerisinde çalışma akışkanı olarak sadece su kullanılan düz plakalı güneş kolektörüne göre %10

daha yüksek mutlak verim gösterdiği tespit edilmiştir. Yousefi vd. (2012) [4] çalışma akışkanı olarak MWCNT- H_2O nanoakışkan kullanılan düz plakalı güneş kolektörünün verimini deneysel olarak incelemiştir. Çalışma kapsamında nanopartiküllerin ağırlık oranı %0,2 ve %0,4, nanoakışkanın kütleli debisi ise 0,0167 kg/s ile 0,05 kg/s arasında farklı değerlerde olacak şekilde alınarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca yüzey etkinleştirici madde olarak Triton X-100'ün kullanılmasının da etkisi incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, yüzey etkinleştirici madde olmadan ağırlıkça %0,2 oranında MWCNT- H_2O nanoakışkanın kullanılmasının verimi düşürdüğünü ve yüzey etkinleştirici madde kullanılmasının verimi arttırdığını göstermiştir. Bununla birlikte, yüzey etkinleştirici madde içermeyen ağırlıkça %0,4 oranında MWCNT- H_2O nanoakışkanın kullanılmasının verimlilikte bir artışa neden olduğu gözlemlenmiştir. Farahat vd. (2009) [5] düz plakalı bir güneş kolektörün ısı ve optik performansını değerlendirebilmek için enerji ve ekserji analizini yapmışlar ve ayrıca kolektörün tasarım parametrelerini belirlemek içinde ekserjetik optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Isıl ve ekserji hesaplamalarını yapmak için geliştirilen matematiksel modelden elde edilen sonuçların doğruluğu literatürdeki mevcut deneysel sonuçlar ile karşılaştırılarak kanıtlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda optimum yutucu yüzey alanının, akışkan kütleli debisinin ve ekserji veriminin sırasıyla 9,14 m², 0,0087 kg/s ve %3,898 olduğu tespit edilmiştir. Jamal-Abad vd. (2013) [6] içerisinde ısı transfer akışkanı olarak Cu/ H_2O nanoakışkan kullanılan düz plakalı bir güneş kolektörün performansını deneysel olarak incelemiştir. Deneyler, kararlı durum koşulları altında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, sadece su yerine içerisinde %0,05 ağırlık oranında Cu nanopartiküllerin bulunduğu nanoakışkanın kullanılması ile kolektör verimliliğinde yaklaşık olarak %24 artış görülmüştür. Faizal vd. (2013) [7] çalışmalarında nanoakışkan kullanılan düz plakalı bir güneş kolektörünün enerji, ekonomik ve çevresel analizini gerçekleştirmişlerdir. Kolektörden çıkan akışkandan istenilen çıkış sıcaklığını sağlayan daha küçük bir kolektör üretebilmek ve kolektörün yapımından kaynaklanan maliyeti ve çevreye verilen zararı azaltabilmek için çalışma akışkanı olan suya farklı nanopartiküller (CuO, SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3) eklemiştir. CuO, SiO_2 , TiO_2 ve Al_2O_3 nanopartiküllerin su içerisine eklenerek elde edilen nanoakışkanla-

rın kullanımı ile sırasıyla %25,6, %21,6, %22,1 ve %21,5 oranında güneş kolektör alanının azalması sağlanmıştır. Alim vd. (2013) [8] çalışmalarında, farklı nanopartiküllerin (Al_2O_3 , CuO , SiO_2 , TiO_2) su içerisine katılmasıyla elde edilen nanoakışkanların ısı transfer akışkanı olarak kullanıldığı düz plakalı bir güneş kolektörünün entropi üretimini, ekserji yıkımını, basınç düşüşünü ve ısı performansını teorik olarak analiz etmişlerdir. Yapılan çalışmada, nanopartikül hacim oranları ve nanoakışkanların hacimsel debileri sırasıyla %1 ila %4 ve 1 L/dak ila 4 L/dak aralığında değiştirilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan teorik analizler sonucunda ısı transfer akışkanı olarak su yerine CuO/H_2O nanoakışkanın kullanılması ile entropi üretiminin %4,34 oranında azaltılabileceği ve ısı transfer katsayısının da %22,15 artırılabilceği belirtilmiştir.

Bu çalışmada da güneşten ısı enerji üretmemizi sağlayan güneş kolektörünün teorik modellenmesi yapılmış ve içerisindeki temel ısı transfer akışkanı olan suya farklı konsantrasyon oranlarında, farklı nanopartiküller (Cu , CuO , Al_2O_3 , TiO_2 , SiO_2) eklenmesinin ve nanoakışkanın kolektör içerisinden farklı debilerde geçirilmesinin kolektörün ısı ve ekserji verimine olan etkileri incelenmiştir.

2. GÜNEŞ KOLEKTÖRÜNÜN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

Bu çalışmada incelenen ve şematik resmi Şekil 1'de görülen güneş kolektörünün en üstünde cam örtü ve bu cam örtünün altında yutucu yüzey, yutucu yüzeyin altında ve yutucu yüzeye bitişik halde duran ve içerisinden ısı transfer akışkanının geçtiği borular ve kolektörün en alt kısmında yalıtım malzemesi bulunmaktadır.

Kolektör yüzeyine gelen güneş ışınımı cam örtüden geçip yutucu yüzeyde absorbe edilir. Yutucu

yüzeyde absorbe edilen ısı enerji yutucu yüzeye bitişik halde duran borular içerisinden geçen ısı transfer akışkanına iletim ve taşınım yoluyla aktarılır. Kolektör yüzeyine güneşten gelen ısı enerjinin bir kısmı ise kolektörün üst, alt ve yan yüzeylerinden dış ortama kayıp ısı olarak gider. Kolektör içerisinden geçen ısı transfer akışkanının elde ettiği ısı ise yararlı ısı olarak adlandırılır ve yutucu yüzey (absorber) sıcaklığına bağlı olarak eşitlik 1, akışkan giriş sıcaklığına bağlı olarak ise eşitlik 2 kullanılarak hesaplanır [9].

$$\dot{Q}_u = A_c [S - U_L (T_p - T_a)] \quad (1)$$

$$\dot{Q}_u = A_c F_R [S - U_L (T_{f,i} - T_a)] \quad (2)$$

Bu eşitlikte gösterilen A_c , $T_{f,i}$, T_p ve T_a sırasıyla kolektör alanı, akışkanın kolektöre giriş sıcaklığı, yutucu yüzey sıcaklığı ve dış ortam sıcaklığıdır. S ise yutucu yüzey tarafından absorbe edilen ışınım miktarı olup eşitlik 3'de gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$S = I_T \tau_{cam} \alpha_p \quad (3)$$

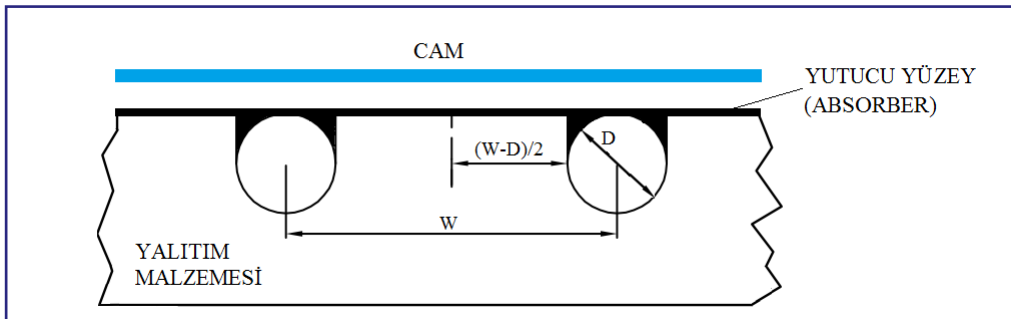
Eşitlik 1'de gösterilen U_L , kolektörün üst, alt ve yan yüzeylerinden dış ortama olan toplam ısı geçiş katsayısıdır ve eşitlik 4'de gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$U_L = U_t + U_b + U_c \quad (4)$$

Kolektörün üst kısmından olan ısı geçiş katsayısı eşitlik 5'de gösterildiği şekilde hesaplanır [9].

$$U_t = \frac{1}{\frac{N_{cam}}{C} \left[\frac{T_p - T_a}{T_p} \right]^{N_{cam} + 1} + \frac{1}{h_w}} + \frac{\sigma (T_p^2 + T_a^2) (T_p + T_a)}{\frac{1}{\epsilon_p + 0,00591 N_{cam} h_w} + \frac{2 N_{cam} + f - 1 + 0,133 \epsilon_p}{\epsilon_{cam}} - N_{cam}} \quad (5)$$

Burada gösterilen f , C ve e sabitleri sırasıyla aşağı-



Şekil 1. Kolektörün şematik resmi

da verilen eşitliklerden elde edilir.

$$f = (1+0,089h_w - 0,1166h_w \varepsilon_p)(1+0,07866N_{cam}) \quad (6)$$

$$C = 520(1 - 0,000051\beta^2) \quad (7)$$

$$e = 0,430(1 - 100/T_p) \quad (8)$$

Eşitlik 6'da görülen h_w , dış ortamdaki rüzgar nedeniyle, cam örtü ile dış ortam arasında taşınım ile meydana gelen ısı taşınım katsayısı olup eşitlik 9'da gösterildiği şekilde hesaplanır. Eğer bu değer $5 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'den küçükse durgun havanın ısı taşınım katsayısı olan $5 \text{ W/m}^2\text{K}$ olduğu kabul edilir [1, 10].

$$h_w = 8,6V_w^{0,6} / L^{0,4} \quad (9)$$

Kolektörün alt ve yan kısımlarından olan ısı geçiş katsayıları sırasıyla eşitlik 10 ve 11'den hesaplanır [1, 10].

$$U_b = 1/[(\delta_{yalıtım}/k_{yalıtım}) + 1/(h_{c,ay-a})] \quad (10)$$

$$U_e = [1/[(\delta_e/k_e) + 1/(h_{c,e-a})]](A_e/A_c) \quad (11)$$

Bu eşitliklerdeki A_c kolektörün yan yüzeylerinin toplam alanıdır. Kolektörün alt yüzeyinden ve yan yüzeylerinden ışınım yoluyla olan ısı kaybı, bu yüzeylerin sıcaklığı ile dış ortam sıcaklığı arasındaki farkın düşük olması sebebiyle ihmal edilmiştir [10]. Ayrıca kolektörün alt ve yan yüzeylerinden taşınım ile olan ısı taşınım katsayıları ($h_{c,ay-a}$ ve $h_{c,e-a}$) $5 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'ya eşit olduğu kabul edilmiştir [1].

Eşitlik 2'de görülen F_R , kolektörden gerçekte elde edilen yararlı ısının, tüm kolektör yüzeyi akışkan giriş sıcaklığında olsaydı elde edilebilecek yararlı ısıya oranı olup toplayıcı ısı kazanım faktörü olarak isimlendirilir ve eşitlik 12'de görüldüğü şekilde hesaplanır [9].

$$F_R = (\dot{m}c_p/A_c U_L)(1 - \exp[-A_c F' U_L / \dot{m}c_p]) \quad (12)$$

Bu eşitlikte görülen F' toplayıcı verim faktörü olup eşitlik 13'de gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$F' = (1/U_L)/W[(1/U_L[D_o + (W-D_o)F] + (1/C_b) + (1/h_{ri}\pi D_i)] \quad (13)$$

Bu eşitlikte gösterilen h_{ri} ısı transfer akışkanının geçtiği borunun iç yüzeyi ile ısı transfer akışkanı arasındaki taşınım ile olan ısı taşınım katsayısını ($\text{W/m}^2\text{K}$), D_i borunun iç çapını (m), C_b boru ile yutucu yüzeyin birleşim yerinin ısı iletim katsayısını (W/mK) ve F ise standart kanat verimini belirtmektedir [9].

$$F = [\tanh(m(W-D_o)/2)]/[m(W-D_o)] \quad (14)$$

Bu eşitlikte geçen $m = \sqrt{(U_L/k_p \delta_p)}$ olup buradaki k_p ve δ_p sırasıyla yutucu yüzeyin ısı iletim katsayısı ve kalınlığıdır. Eşitlik 13'de gösterilen h_{ri} Nusselt sayısına bağlı olarak eşitlik 15'de gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$Nu = h_{ri} D_i / k_f \quad (15)$$

Dairesel bir boru içerisinde akan türbülans akış rejimindeki akışkanın Nusselt sayısı, tam gelişmiş ve yüzeyde sabit ısı akışı varsayımı ile eşitlik 16 kullanılarak hesaplanır [1, 9, 11].

$$Nu = (f/8)(Re-1000)Pr / [1,07+12,7(f/8)^{1/2}(Pr^{2/3}-1)] \quad (3 \cdot 10^3 < Re < 5 \cdot 10^6) \quad (16)$$

Buradaki f faktörü eşitlik 17 ile gösterildiği şekilde hesaplanır [9, 11, 12].

$$f = (0,79 \ln Re_w - 1,64)^{-2} \quad (17)$$

Dairesel bir boru içerisinde akan laminar akış rejimindeki akışkanın Nusselt sayısı, Reynolds sayısına ve Prandtl sayısına bağlı olarak eşitlik 18 kullanılarak hesaplanabilir [8].

$$Nu = 0,000972 Re_w^{1,17} Pr^{-1/3} \quad (18)$$

Güneş kolektörünün ısı verimi, ısı transfer akışkanı ile elde edilen yararlı ısının kolektör yüzeyine gelen güneş ışınım miktarına oranı olup eşitlik 19 kullanılarak hesaplanır [1, 5].

$$\eta_{ısı} = \dot{Q}_u / I_1 A_c \quad (19)$$

Çalışma kapsamında incelenen güneş kolektörünün fiziksel ve termofiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Kolektörün Fiziksel ve Termofiziksel Özellikleri

δ_{cam} (Camın kalınlığı)	0,004 m
δ_p (Yutucu yüzeyin kalınlığı)	0,002 m
k_{cam} (Camın ısı iletim katsayısı)	1 W/mK
k_p (Yutucu yüzeyin ısı iletim katsayısı)	384 W/mK
$\eta_o = \tau_{cam} \alpha_p$ (Optik verim)	0,84
ε_{cam} (Camın yayma oranı)	0,88
ε_p (Yutucu yüzeyin yayma oranı)	0,92
L (Boru uzunluğu)	2 m
D_o (Boru dış çapı)	0,008 m
D_i (Boru iç çapı)	0,007m
$\delta_{yalıtım}$ (Yalıtımın kalınlığı)	0,050 m
$k_{yalıtım}$ (Yalıtımın ısı iletim katsayısı)	0,045 W/mK
N (Boru sayısı)	10
W (Borular arası mesafe)	0,120 m
k_b (Borunun ısı iletim katsayısı)	384 W/mK
Kolektör alanı	2.4 m ²

2.1. Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri

Bu çalışmada incelenen güneş kolektöründe temel ısı transfer akışkanı olarak su kullanılmıştır. Bu ısı transfer akışkanı çerisine farklı konsantrasyon oranlarında nanopartiküller eklenerek kolektörün ısı performansı incelenmiştir. Temel ısı transfer akışkanına eklenen nanopartiküllerin (Al_2O_3 , CuO , TiO_2 , Cu , SiO_2) özellikleri Tablo 2’de görülmektedir.

Tablo 2. Nanopartikül Özellikleri [1, 7, 8]

Nanopartikül	ρ_{np} (kg/m ³)	k_{np} (W/mK)	$c_{p,np}$ (J/kgK)
Cu	8933	400	385
Al_2O_3	3960	40	773
TiO_2	4230	8.4	692
SiO_2	3970	36	765
CuO	6000	33	551

Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri 20, 21, 22 ve 23 numaralı eşitlikler kullanılarak belirlenmiştir [7, 13]. Burada ρ_{nf} ve μ_{nf} alt indisleri sırasıyla kullanılan temel ısı transfer akışkanı ve nanopartikülü göstermektedir.

$$\rho_{nf} = \rho_{bf}(1-\phi) + \rho_{np}\phi \quad (20)$$

$$c_{p,nf} = \rho_{bf}(1-\phi)/\rho_{nf} \cdot c_{p,bf} + \rho_{np}\phi/\rho_{nf} \cdot c_{p,np} \quad (21)$$

$$k_{nf} = k_{bf} [k_{np} + 2k_{bf} + 2(k_{np} - k_{bf})(1+\beta)^3 \phi] / [k_{np} + 2k_{bf} - (k_{np} - k_{bf})(1+\beta)^3 \phi] \quad (22)$$

Buradaki β parametresi, nanotabaka kalınlığının orjinal partükülün yarıçapına oranıdır ve nanoakışkanlarda ısı iletim katsayısı hesaplanırken genellikle 0,1’e eşit alınır [13].

$$\mu_{nf} = \mu_{bf}(1+2,5\phi+6,5\phi^2) \quad (23)$$

2.2. Ekserji Analizi

Potansiyel ve kinetik enerjilerden kaynaklanan ekserji etkileri ihmal edilirse sürekli akışlı bir sistemde ekserji dengesi eşitlik 24 veya eşitlik 25’de verildiği şekilde ifade edilebilir [8].

$$\sum \dot{E}x_g - \sum \dot{E}x_c = \sum \dot{E}x_{yok\ olan} \quad (24)$$

$$\dot{E}x_{ısı} - \dot{E}x_{ış} - \dot{E}x_{küttele,g} - \dot{E}x_{küttele,ç} = \dot{E}x_{yok\ olan} \quad (25)$$

İzotermal olmayan bir güneş enerjili düz plakalı güneş kolektöründe entropi üretiminin genel ifade-

si Bejan tarafından belirtildiği üzere Eşitlik 26’da verilen şekli ile yazılabilir [8, 14].

$$\dot{S}_{üretim} = \dot{m}c_p \ln(T_{f,o}/T_{f,i}) - \dot{Q}_s/T_s + \dot{Q}_o/T_a \quad (26)$$

Bu eşitlikte verilen T_s görünür güneş sıcaklığı olup 4350 K olarak alınmıştır [1, 8]. Ayrıca eşitlikte verilen \dot{Q}_s ve \dot{Q}_o sırasıyla kolektörde yutulan güneş ışınım miktarını ve kolektörden dış ortama olan ısı kaybını göstermekte olup, sırasıyla eşitlik 27 ve eşitlik 28 ile belirtildiği şekilde hesaplanabilir [8].

$$\dot{Q}_s = G\tau_{cam} \alpha_p A_c = SA_c \quad (27)$$

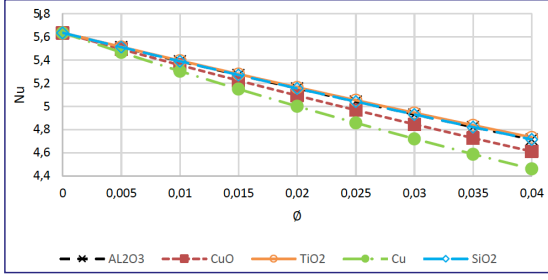
$$\dot{Q}_o = \dot{Q}_s - \dot{Q}_u = \dot{Q}_s - \dot{m}c_p(T_{f,o} - T_{f,i}) \quad (28)$$

İkinci yasa verimi veya diğer bir tanımla ekserji verimi eşitlik 29 ile verildiği şekilde hesaplanabilir [5, 8, 15].

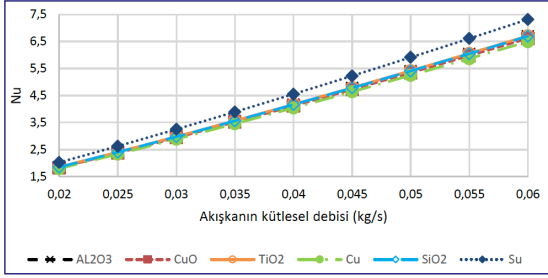
$$\eta_{ekserji} = 1 - T_a \dot{S}_{üretim} / [1 - (T_a/T_s)](I_T A_c) \quad (29)$$

4. BULGULAR

Bu çalışmada teorik olarak incelenen güneş kolektöründe kullanılan temel ısı transfer akışkanı suya farklı konsantrasyon oranlarında (%0,5-%1-%1,5-%2-%2,5-%3-%3,5-%4) ve farklı nanopartiküller (Cu , CuO , Al_2O_3 , TiO_2 , SiO_2) eklenmesinin ve ayrıca farklı kütleli debilerde akışkan kullanımının sistemin ısı ve ekserjetik performansına etkileri incelenmiştir. Standartlarda ısı güneş enerji sistemleri için ısı transfer akışkanı kütleli debisinin kolektör açıklık alanının metre karesi başına yaklaşık 0,02 kg/s olarak ayarlanması önerildiğinden dolayı bu çalışmada bu değer dikkate alınarak akışkanın kütleli debi değerleri belirlenmiştir. Farklı nanoakışkanlara ait Nusselt sayılarının nanopartikül konsantrasyon oranına ve kütleli debi değerlerine göre değişimi sırasıyla Şekil 2a ve Şekil 2b’de verilmektedir. Bu grafiklerden görüleceği üzere nanopartikül konsantrasyon oranının artması Nusselt sayısını azaltırken, akışkanın kütleli debisinin arttırılması ise Nusselt sayısını arttırmaktadır. Bunun sebebi ise Nusselt sayısının Reynolds sayısına bağlı olmasıdır. Nanopartikül eklenmesi akışkanın viskozitesini arttırmakta ve buna bağlı olarak da Reynolds sayısının düşmesine neden olduğu için Nusselt sayısının azalmasına sebep olmaktadır [1]. Isı transfer akışkanın kütleli debisinin arttırılması ise akışkanın Reynolds sayısını ve buna bağlı olarak da Nusselt sayısının artmasını sağlamaktadır.

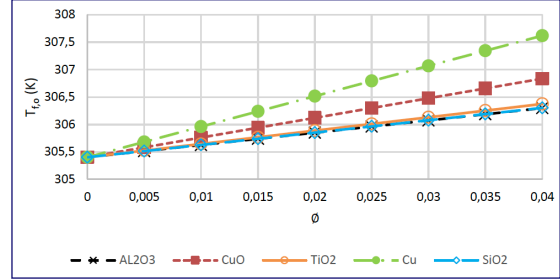


(a)

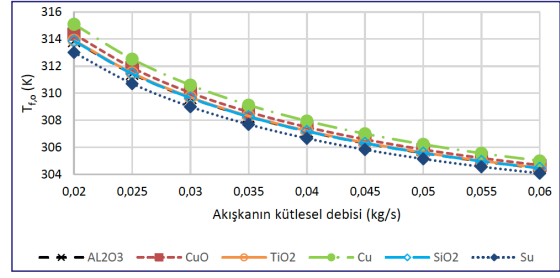


(b)

Şekil 2. Farklı nanoakışkanlara ait Nusselt sayılarının a) nanopartikül konsantrasyon oranına ve b) kütleli debi değerine göre değişimi



(a)

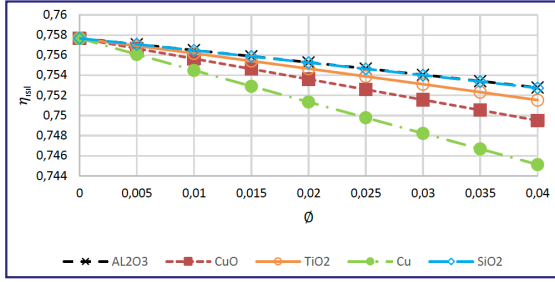


(b)

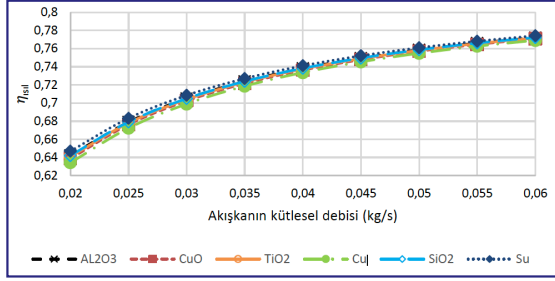
Şekil 3. Farklı nanoakışkanlara ait kolektörden çıkış sıcaklığının a) nanopartikül konsantrasyon oranına ve b) kütleli debi değerine göre değişimi

Farklı nanoakışkanlara ait kolektörden çıkış sıcaklığının nanopartikül konsantrasyon oranına ve kütleli debi değerine göre değişimi sırasıyla Şekil 3a ve Şekil 3b'de verilmektedir. Bu grafiklerden görüleceği üzere nanopartikül konsantrasyon oranının artması akışkanın kolektörden çıkış sıcaklığını arttırırken, akışkanın kütleli debisinin arttırılması ise akışkanın kolektörden çıkış sıcaklığını azaltmaktadır. En yüksek akışkanın çıkış sıcaklığı nanopartikül olarak Cu kullanıldığında elde edilmiştir. 0,048 kg/s kütleli debiye ve 0,04 konsantrasyon oranının da Cu nanopartiküle sahip nanoakışkanın kullanılması ile ısı transfer akışkanı olarak suyun kullanıldığı duruma göre akışkanın çıkış sıcaklığında derece santigrat olarak %6,87 oranında artış sağlanmıştır.

Farklı nanoakışkanların kullanılması ile elde edilen kolektör ısı veriminin nanopartikül konsantrasyon oranına ve kütleli debi değerine göre değişimi sırasıyla Şekil 4a ve Şekil 4b'de verilmektedir. Bu grafiklerden görüleceği üzere nanopartikül konsantrasyon oranının artması kolektör ısı verimini azaltırken, akışkanın kütleli debisinin arttırılması ise kolektör ısı verimini arttırmaktadır. En düşük ısı verim Cu nanopartikül kullanıldığı zaman elde edilmiştir. 0,048 kg/s kütleli debiye ve 0,04 konsantrasyon oranının da Cu nanopartiküle sahip nanoakışkanın kullanılması ile ısı transfer akışkanı olarak suyun kullanıldığı duruma göre kolektör ısı veriminde %1,65 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.

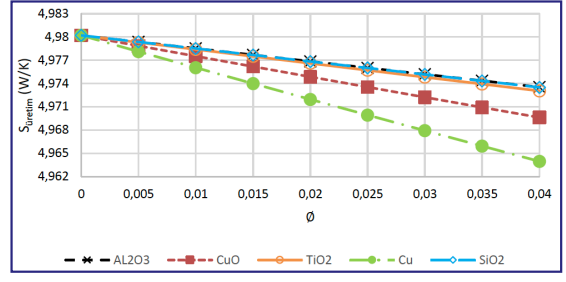


(a)

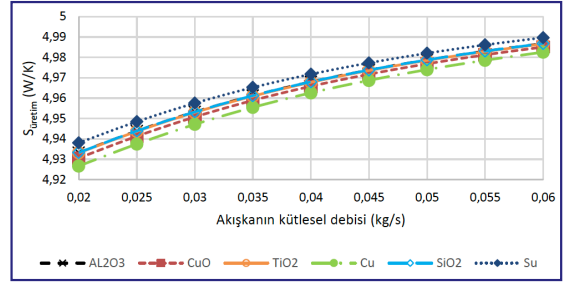


(b)

Şekil 4. Farklı nanoakışkanların kullanılması ile elde edilen kolektör ısı veriminin a) nanopartikül konsantrasyon oranına ve b) kütleli debi değerine göre değişimi



(a)



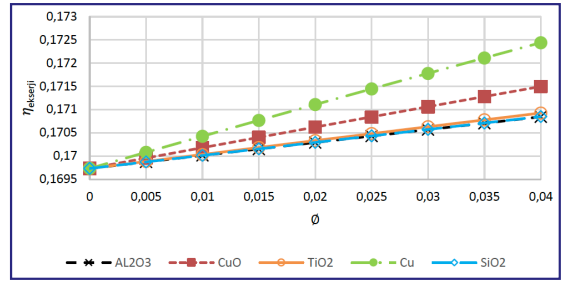
(b)

Şekil 5. Farklı nanoakışkanların kullanılması durumunda üretilen entropinin a) nanopartikül konsantrasyon oranına ve b) kütleli debi değerine göre değişimi

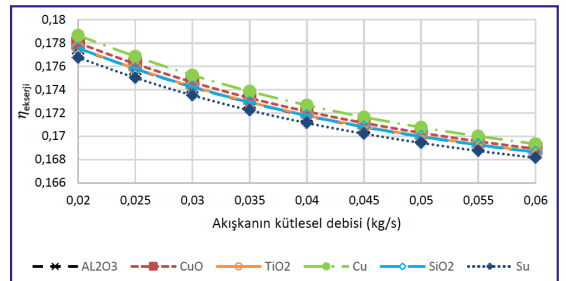
Farklı nanoakışkanların kullanılması durumunda üretilen entropinin nanopartikül konsantrasyon oranına ve kütleli debi değerine göre değişimi sırasıyla Şekil 5a ve Şekil 5b'de verilmektedir. Bu grafiklerden görüleceği üzere nanopartikül konsantrasyon oranının artması entropi üretimini azaltırken, akışkanın kütleli debisinin artırılması ise entropi üretimini arttırmaktadır. En düşük entropi üretimi Cu nanopartikül kullanıldığı zaman elde edilmiştir. 0,048 kg/s kütleli debiye ve 0,04 konsantrasyon oranının da Cu nanopartiküle sahip nanoakışkanın kullanılması ile ısı transfer akışkanını olarak suyun kullanıldığı duruma göre entropi üretiminde %0,33 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.

Farklı nanoakışkanların kullanılması ile elde edilen kolektör ekserji veriminin nanopartikül konsantrasyon oranına ve kütleli debi değerine göre değişimi sırasıyla Şekil 6a ve Şekil 6b'de verilmektedir. Bu grafiklerden görüleceği üzere nanopartikül konsantrasyon oranının artması kolektör ekserji verimini arttırırken, akışkanın kütleli debisinin artırılması ise kolektör ekserji verimini azaltmaktadır. En yüksek ekserji verimi Cu nanopartikül kullanıldığı zaman elde edilmiştir. 0,048 kg/s kütleli debiye ve 0,04 konsantrasyon oranının

da Cu nanopartiküle sahip nanoakışkanın kullanılması ile ısı transfer akışkanı olarak suyun kullanıldığı duruma göre kolektör ekserji veriminde %1,59 oranında artış olduğu tespit edilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 6. Farklı nanoakışkanların kullanılması ile elde edilen kolektör ekserji veriminin a) nanopartikül konsantrasyon oranına ve b) kütleli debi değerine göre değişimi

SONUÇ

Bu çalışmada güneş kolektöründe kullanılan temel ısı transfer akışkanı suya beş farklı nanopartikülün katılmasıyla oluşturulan nanoakışkanların farklı kütleli debilerde ve farklı konsantrasyon oranlarında kullanımının kolektör ısı ve ekserji verimine etkileri araştırılmıştır. Kolektörden çıkan akışkanın sıcaklığı en yüksek nanoakışkan içerisinde Cu nanopartikülü kullanıldığında elde edilmiştir. Isı transfer akışkanı olarak su yerine, suya nanopartiküllerin eklenmesi ile oluşan nanoakışkanların ısı transfer akışkanı olarak kullanılması kolektörün ısı verimi verimini azaltsa da, ekserji verimini arttırdığı tespit edilmiştir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda da farklı nanopartiküllerin eklenmesi ile oluşturulacak nanoakışkanlar güneş enerji sistemlerinde kullanılmalı ve sistem performanslarına olan etkileri hem teorik hem de deneysel çalışmalarla araştırılarak sistemlerin performanslarını arttıracak nanoakışkanlar belirlenmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Mahian, O., Kianifar, A., Sahin, A.Z., Wongwises, S., “Performance Analysis of a Minichannel-Based Solar Collector Using Different Nanofluids”, *Energy Conversion and Management*, 88, 129–138, 2014.
- [2] Yousefi, T., Veysia, F., Shojaeizadeha, E., Zinadinib, S., “An Experimental Investigation on the Effect of $Al_2O_3-H_2O$ Nanofluid on the Efficiency of Flat-Plate Solar Collectors”, *Renewable Energy*, 39, 293-298, 2012.
- [3] Tyagi, H., Phelan, P., Prasher, R., “Predicted Efficiency of a Low-Temperature Nanofluid- Based Direct Absorption Solar Collector”, *Journal of Solar Energy Engineering*, Vol. 131, November 2009.
- [4] Yousefi, T., Veisy, F., Shojaeizadeh, E., Zinadini, S., “An Experimental Investigation on the Effect of MWCNT- H_2O Nanofluid on the Efficiency of Flat-Plate Solar Collectors”, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 39, 207–212, 2012.
- [5] Farahat, S., Sarhaddi, F., Ajam, H., “Exergetic Optimization of Flat Plate Solar Collectors”, *Renewable Energy*, 34, 1169–1174, 2009.
- [6] Jamal-Abad, M.T., Zamzamian, A., Imani, E., Mansouri, M., “Experimental Study of the Performance of a Flat-Plate Collector Using Cu–Water Nanofluid”, *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, DOI:10.2514/1.T4074, August 2013.
- [7] Faizal, M., Saidur R., Mekhilef, S., Alim, M.A., “Energy, Economic and Environmental Analysis of Metal Oxides Nanofluid for Flat-Plate Solar Collector”, *Energy Conversion and Management*, 76, 162–168, 2013.
- [8] Alima, M.A., Abdin, Z., Saidur, R., Hepbasli, A., Khairul, M.A., Rahim, N.A., “Analyses of Entropy Generation and Pressure Drop for a Conventional Flat Plate Solar Collector Using Different Types of Metal Oxide Nanofluids”, *Energy and Buildings*, 66, 289–296, 2013.
- [9] Duffie, J.A., Beckman, W.A., “Solar Engineering of Thermal Processes”, 4th ed., John Wiley and Sons, 2013.
- [10] Kalogirou, S.A., “Solar Energy Engineering Processes and Systems”, 2th ed., Elsevier, 2014.
- [11] Çengel, Y.A., 2011, *Isı ve Kütle Transferi*, (Çev. V. Tanyıldızı, İ. Dağtekin), İzmir Güven Kitapevi, İzmir, 879s.
- [12] Incropera, F.P., and De Witt, D.P., 2006, *Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri*, (Çev. T. Derbentli, O. F. Genceli, A. Güngör, A. Hepbaslı, Z. İlken, N. Özbalta, F. Özgüç, C. Parmaksızoğlu ve Y. Uralcan), Literatür Yayıncılık, İstanbul, 960s.
- [13] Bellos, E. and Tzivanidis, C., “Parametric Analysis and Optimization of an Organic Rankine Cycle With Nanofluid Based Solar Parabolic Trough Collectors”, *Renewable Energy*, 114, 1376-1393, 2017.
- [14] Bejan, A., “Entropy Generation Minimization: The Method of Thermodynamic Optimization of Finite-Size Systems and Finite-Time Processes”, vol. 2, CRC PressLLC, 1996.
- [15] Jafarkazemi, F. and Ahmadifard, E., “Energetic and Exergetic Evaluation of Flat Plate Solar Collectors”, *Renewable Energy*, 56, 55-63, 2013.