

# PARABOLİK GÜNEŞ KOLEKTÖRLÜ SİSTEMLERE AİT DEĞİŞKENLERİN ENERJİ VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

*Energy Efficiency Evaluation Of Variables Of Parabolic Trough Collector Systems*

Hüseyin GÜNERHAN  
F. Mertkan ARSLAN

## ÖZET

Bu çalışma kapsamında, odaklı güneş kolektörleri grubunun en yaygın olarak kullanılan ve teknolojisi ile güneş enerji sistemleri arasında önemli potansiyele sahip olan parabolik güneş kolektör sistemlerine ait önemli değişkenler, kolektörün enerji verimliliği açısından sayısal olarak değerlendirilmiştir. Hesaplamalar, 6,1 m alıcı boru uzunluğuna ve 13,2 m<sup>2</sup> açıklık alanına sahip parabolik güneş kolektörü kullanılarak yapılmıştır. Çalışma akışkanı olarak, bir sentetik yağ olan “Thermoil VP-1”, 10-200 litre/dakika hacimsel debilerde ve 100°C – 400°C sıcaklık aralığında kullanılmıştır. Ayrıca çalışma kapsamında kıyaslanmak üzere alıcı boru seçici kaplaması olarak siyah krom ve cermet kaplama kullanılmıştır. Parabolik güneş kolektörü sistemleri ile ilgili değişkenler; akışkan debisi (litre/dakika), alıcı boru ve cam boru çaplarının etkisi (m), alıcı boru için kullanılacak malzemenin iletkenlik katsayısı (W/mK) ve alıcı boru üzerinde kullanılan seçici kaplama cinsinin kolektörün enerji verimliliğine etkisi çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Sonuç olarak alıcı boru üzerine kaplanan seçici kaplamanın cinsinin kolektörün enerji verimliliğini önemli ölçüde etkilediği, alıcı boru iletkenlik katsayısının ısı performansına oldukça az etki ettiği görülmüştür. Ek olarak, alıcı boru vakumlu olarak kullanılırsa kayıplar 400 °C sıcaklıkta %44,74 azalmakta ve kolektörün ısı veriminde de %3,72 ile %24,1 arasında artış sağlanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş enerjisi, Odaklı güneş sistemleri, Parabolik güneş kolektörleri

## ABSTRACT

In this study, important variables of parabolic trough solar collector which is the most widely used among of consantrated solar collectors and have significant potential among the solar energy systems have been evaluated in terms of energy efficiency of the collector. Calculations were made by using the parabolic solar collector, which has a receiver length of 6.1 m and an open area of 13.2 m<sup>2</sup>. As a working fluid, Thermoil VP-1, a synthetic oil, was used at a flow rate of 10-200 l/min and a temperature range of 100 ° C to 400 ° C. In addition, black chrome and cermet coating were used as receiver pipe selective coating for comparison. The parabolic solar collector systems related variables; The effect of fluid flow (liters / minute), the effect of receiving pipe and glass pipe diameters (m), the conductivity coefficient (W / mK) of the material to be used for the receiving pipe and the effect of selective coating on the energy efficiency of the collector were evaluated. As a result, the type of selective coating coated on the receiving pipe significantly influenced the energy efficiency of the collector, and the receiver pipe conductivity coefficient was found to have a very low effect on thermal performance. In addition, if the receiving pipe is used in vacuum, the losses are reduced by 44.74% at a temperature of 400 ° C and the thermal efficiency of the collector is increased by between 3,72% and 24,1%.

**Key Words:** Solar energy, consantrated solar collectors, parabolic trough solar collectors

## 1. GİRİŞ

Odaklı güneş sistemlerinden biri olan parabolik güneş kolektörleri birçok ülkede başarıyla kullanılmış güneş enerjisi sistemlerdir [1]. Parabolik güneş kolektörleri, güneş ışınlarını parabolik şekilli bükülmüş bir yansıtıcıdan alıcı boruya ileten güneş kolektörleridir. Parabolik güneş kolektörleri, güneş ışınlarını geniş alanlı yansıtıcıdan, küçük bir alana yani alıcı boruya sonrasında ise bu enerjiyi alıcı borunun içinde dolaşan akışkana aktaran yapılardır [2]. Şekil 1 ile ticari ölçüdeki parabolik güneş kolektörleri görülmektedir [3]. Alıcı boru yüzeyi, parabolik güneş kolektörünün ısı verimliliğini arttırmak için seçici kaplama uygulaması yapılabilir veya siyaha boyanabilir [4]. Maliyetinin düşük olması nedeniyle genellikle, alıcı boru üzerine seçici kaplama uygulamalarında siyah krom ve siyah nikel kaplamaları kullanılmaktadır [2]. Siyah nikel, siyah krom kaplamaya göre hem daha uzun ömürlü hem de daha iyi optik özelliklere sahiptir [5]. Alıcı boru ve cam örtü arasında, ısı kayıplarını azaltmak ve kolektör verimliliğini arttırmak için alıcı boruda vakum uygulaması yapılabilir [6]. Ayrıca bu bölgedeki vakum uygulaması mükemmel olarak kabul edildiğinde, taşınım ile gerçekleşen ısı transferi ihmal edilebilir [7]. Yaghoubi ve diğerleri, yaptıkları çalışmada vakumsuz kolektörün ısı kaybı, vakumlu kolektöre göre %40 daha fazla olduğunu ve parabolik güneş kolektörünün ısı veriminin % 3-5 daha düşük olduğunu hesaplamışlardır [8].



Şekil 1. Ticari parabolik güneş kolektörleri [3]

## 2. BİR BOYUTLU ENERJİ ANALİZİ

Parabolik güneş kolektörünün enerji performans modeli, alıcı boru içerisinde akan akışkan çalışma akışkanı ve atmosfer arasında bir enerji dengesini kullanır. Ortam koşullarına ve kolektörün tüm optik özelliklerine bağlı olarak, enerji dengesine ait tüm denklemleri içerir [9]. Böylelikle bu bölüm optik model ve ısı model olarak iki başlık altında incelenebilir.

### 2.1 Optik Model

Parabolik güneş kolektörünün yansıtıcısının, alıcı ve cam borusunun tasarım değişkenlerine ve üretim süreçlerine bağlıdır [10]. Denklem (1) ile parabolik güneş kolektörünün açıklık alanına gelen güneş ışınımı miktarı gösterilmiştir. Alıcı borunun emdiği toplam güneş enerjisi miktarı optik verime bağlı olarak Denklem (2) ile hesaplanabilir. Optik verim Denklem (3) ile elde edilebilir [11].

$$Q_g = A_a I_d \quad (1)$$

$$Q_{abs} = Q_g \eta_{opt} \quad (2)$$

$$\eta_{opt} = \rho_{yans} \tau_{cam} \alpha_b \gamma_{kol} K(\theta) \quad (3)$$

Denklem (3) içerisindeki kesişme faktörü ( $\gamma_{kol}$ ) 6 farklı değişkenin çarpılması ile elde edilmektedir. Bu değişkenler; gölgeleme ( $\gamma_1$ ), izlemedeki hatalar ( $\gamma_2$ ), yansıtıcıdaki geometrik doğruluk ( $\gamma_3$ ), yansıtıcıdaki temizlik ( $\gamma_4$ ), kolektörün odaklayıcı ekipmanlarının kirliliği ( $\gamma_5$ ), hesaplanmayan hatalar ( $\gamma_6$ ) olarak hesaba katılabilir. Parabolik güneş kolektörü üzerine güneşten gelen açı (geliş açısı) dik olmadığı zaman, optik kayıplar artmaktadır ve bu kayıp değeri teorik ölçülmeye müsait değildir. Bu yüzden her bir kolektör için deneysel olarak ölçülen değerler geliş açısı niteleyicisi ile fonksiyona bağlanabilir. Çalışma kapsamında kullanılan IST kolektörü için geliş açısı niteleyicisi Denklem (4) ile hesaplanabilir [10].

$$K(\theta) = \frac{1}{\cos \theta} (\cos \theta - 0,0003178\theta - 0,00003984\theta^2) \quad (4)$$

## 2.1 Isıl Model

Isıl model hesaplamalarında, temel olarak alıcı boru tarafından elde edilen güneş enerjisi, kolektörden kaybolan ısı ve akışkanın elde ettiği yararlı ısı arasındaki dengeden yararlanılmaktadır. Bu denge Denklem (5) ile gösterilmiştir [12].

$$Q_{abs} = Q_{kayıp} + Q_{yararlı} \quad (5)$$

Denklem (5) içerisinde yer alan ısı kayıpları Denklem (6,7,8) ile hesaplanmaktadır ve denklemlerdeki her bir ısı kaybı birbirine eşittir. Denklem (6), alıcı boru dışı ile cam örtünün iç yüzeyleri arasında gerçekleşen taşınım ve ısınım ile ısı kaybı hesaplamalarını göstermektedir. Denklem (7), cam örtü iç ve dış duvarları arasında iletim ile gerçekleşen ısı transferi hesaplamalarında kullanılmaktadır. Cam örtü dış duvarı ile atmosfer arasındaki taşınım ve ısınım ile gerçekleşen ısı transferi Denklem (8) ile hesaplanmaktadır [13].

$$Q_{kayıp} = \frac{2\pi L k_{ef}}{\ln\left(\frac{D_{ci}}{D_{bd}}\right)} (T_{ci} - T_{bd}) + \frac{\sigma\pi D_{bd} L (T_{bd}^4 - T_{ci}^4)}{\frac{1}{\varepsilon_{bd}} + \left(\frac{(1 - \varepsilon_{bd}) D_{bd}}{\varepsilon_{bd} D_{ci}}\right)} \quad (6)$$

$$Q_{kayıp-c} = \frac{2\pi k_c L (T_{ci} - T_{cd})}{\ln(D_{cd} / D_{ci})} \quad (7)$$

$$Q_{kayıp-c-hava} = h_{c-hava} \pi D_{cd} L (T_{cd} - T_{hava}) + \sigma\pi\varepsilon_{cd} D_{cd} L (T_{cd}^4 - T_{gökyüzü}^4) \quad (8)$$

Denklem (6) içerisinde yer alan efektif ısı taşıma katsayısı Denklem (9) ile hesaplanmaktadır. Ancak  $0,7 \leq Pr_{bd-ci} \leq 6000$  ve  $10^2 \leq F_{cyl} Ra_{bd-ci} \leq 10^7$  şartları sağlanıyorsa Denklem (9) geçerlidir.

$$\frac{k_{ef}}{k_g} = 0,386 \left( \frac{Pr_{bd-ci}}{0,861 + Pr_{bd-ci}} \right)^{1/4} (F_{cyl} Ra_{D_{bd}})^{1/4} \quad (9)$$

Boru dışı ile cam içi arasında kalan gazın ısı iletkenlik katsayısıdır ( $k_g$ ) ve boru içi sıcaklığı ile cam örtü içi sıcaklığının ortalama sıcaklığı kullanılarak hesaplanır. Denklem (9) içerisindeki Prandtl sayısı bu ortalama sıcaklık kullanılarak hesaplanır [9]. Denklem (9) içerisinde yer alan şekil faktörü Denklem (10) ile gösterilmiştir [4].

$$F_{cly} = \frac{\left[ \ln \left( \frac{D_{ci}}{D_{bd}} \right) \right]^4}{\left[ \frac{(D_{ci} - D_{bd})}{2} \right]^3 (D_{ci}^{-3/5} - D_{bd}^{-3/5})^5} \quad (10)$$

Rayleigh sayısı Denklem (11) ile hesaplanmaktadır. Cam örtü ile alıcı boru arasındaki havanın termofiziksel özellikleri cam iç yüzeyinin sıcaklığı ile alıcı boru dışı sıcaklığının ortalaması baz alınarak hesaplanmalıdır.

$$Ra_{bd} = \frac{g \beta (T_{bd} - T_{ci}) D_{bd}^3}{\alpha_{bd-ci} \nu_{bd-ci}} \quad (11)$$

Hacimsel ısıl genleşme katsayısının değeri, Denklem (12) ile elde edilebilir. Ancak sıcaklık birimi Kelvin cinsinden kullanılmalıdır [9,14].

$$\beta = \frac{1}{T_{bd-ci}} \quad (12)$$

Denklem (6) içerisinde yer alan seçici kaplamanın yayılım katsayısı siyah krom için Denklem (13) ile ve cermet için ise Denklem (14) ile hesaplanmaktadır [14].

$$\varepsilon_{bd} = 0.0005333T_{bd} - 0.0856 \quad (13)$$

$$\varepsilon_{bd} = 2.249 \times 10^{-7} T_{bd}^2 + 1.039 \times 10^{-4} T_{bd} + 5.599 \times 10^{-2} \quad (14)$$

Denklem (8)' de gösterilen cam örtü dış duvarı ile atmosfer arasındaki ısı taşınım katsayısı Denklem (15) ile hesaplanmaktadır. Isı iletim katsayısının ( $k_{c-hava}$ ) hesaplanmasında,  $(T_{cd} - T_{hava})/2$  sıcaklığı kullanılarak Denklem (15) içerisinde dahil edilmelidir [9].

$$h_{c-hava} = \frac{k_{c-hava}}{D_{cd}} Nu_{cd} \quad (15)$$

Denklem (16) ile cam dışı ile hava arasındaki Nusselt sayısının hesaplanması gösterilmiştir [11].

$$Nu_{Dcd} = 0,193 Re_{hava}^{0,618} Pr_{hava}^{0,33} \quad (16)$$

Denklem (8) içerisinde gösterilen ve cam dış yüzeyi ile gökyüzü arasında ışınlama ısı kaybının hesaplamalarında kullanılan gökyüzü sıcaklığı basitçe, hava sıcaklığından yaklaşık olarak 8 °C düşük kabul edilerek hesaplanabilir [14].

Denklem (5) ile verilen enerji dengesi içerisinde kolektörün elde edebileceği yararlı ısı Denklem (17) ve (18) ile hesaplanabilmektedir [15].

$$Q_{\text{yararlı}} = \dot{m}c_p (T_{\text{çıkış}} - T_{\text{giriş}}) \quad (17)$$

$$Q_{\text{yararlı}} = Q_{\text{abs}} - A_{bd}U_L (T_{bd} - T_{\text{hava}}) \quad (18)$$

Denklem (18) içerisinde yer alan kolektör kayıp katsayısı Denklem (19) ile hesaplanmaktadır [13].

$$U_L = \frac{Q_{\text{kayıp}}}{A_{bd} (T_{bd} - T_{\text{hava}})} \quad (19)$$

Akışkanın ısı taşınım katsayısı Denklem (20) ile hesaplanmaktadır. Akışkanın tüm termofiziksel özellikleri giriş ve çıkış sıcaklıklarının ortalamasına göre hesaplanmalıdır [11].

$$h_{ak} = \frac{Nu_{ak} k_{ak}}{D_{bi}} \quad (20)$$

Denklem (20) ile verilen Nusselt sayısı Denklem (21) ile elde edilebilir [4].

$$Nu_{ak} = \frac{f_b / 8 (\text{Re}_{ak} - 1000) \text{Pr}_{ak}}{1 + 12,7 \sqrt{f_b / 8} (\text{Pr}_{ak}^{2/3} - 1)} \quad (21)$$

Parabolik güneş kolektörünün alıcı boru içerisinde akan çalışma akışkanının Reynolds sayısı ve Prandtl sayısı sırası ile Denklem (22) ve (23) ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Re}_{ak} = \frac{4\dot{m}}{\pi D_{bi} \mu_{ak}} \quad (22)$$

$$\text{Pr}_{ak} = \frac{\mu_{ak} c_{p,ak}}{k_{ak}} \quad (23)$$

Ayrıca, basınç düşümü formülü Denklem (24) ile elde edilebilir. Basınç düşümü hesaplamalarında kullanılan sürtünme faktörü Denklem (25) ile hesaplanmaktadır.

$$\Delta P = f_b \frac{L}{D_{bi}} \left( \frac{1}{2} \rho_{ak} v_{ak}^2 \right) \quad (24)$$

$$f_b = \frac{1}{(0,79 \ln(\text{Re}_{ak}) - 1,64)^2} \quad (25)$$

Kolektörün yararlı ısısı ile direkt ışınım ve açıklık alanının çarpımının birbirine oranı kolektörün verimini vermektedir.

$$\eta_{\text{ıstl}} = \frac{Q_{\text{yararlı}}}{I_d A_a} \quad (26)$$

### 3. MODELİN GEÇERLİLİĞİNİN KONTROL EDİLMESİ

Çalışma kapsamında, oluşturulan modelin doğruluğunun test edilebilmesi için Sandia Ulusal Laboratuvarında deneysel testleri gerçekleştirilmiş olan IST tipi ticari parabolik güneş kolektörü verileri kullanılmıştır. IST kolektörünün tüm özellikleri Tablo 1 ile gösterilmiştir. Kolektörün alıcı boru ile cam örtü arası vakumsuzdur (hava doludur). Çalışma akışkanı olarak Syltherm 800 kullanılmıştır. Syltherm 800 akışkanının tüm termofiziksel özellikleri [16] ile elde edilmiştir.

**Tablo 1.** IST parabolik kolektörünün geometrik ve optik özellikleri

IST Fiziksel Özellikleri			
İsim	Sembol	Değer	Birim
Genişlik	$W$	2,3	m
Uzunluk	$L$	6,1	m
Açıklık Alanı	$A_a$	13,2	m <sup>2</sup>
Alıcı boru iç çapı	$D_{bi}$	0,047	m
Alıcı boru dış çapı	$D_{bd}$	0,051	m
Cam iç çapı	$D_{ci}$	0,07	m
Cam dış çapı	$D_{cd}$	0,075	m

Tablo 2 ile çalışma kapsamında oluşturulan model ile IST kolektörünün ısı kaybı testinin yapıldığı veriler gösterilmiştir. Deney, güneş ışığının olmadığı bir ortamda gerçekleştirilmiştir. Bu yüzden optik özellikler kullanılmamıştır. Böylelikle kolektörün sadece ısı analizi (ısı kaybı) testi yapılmıştır [5].

**Tablo 2.** Teorik model ile deneysel verilerin karşılaştırılması

No.	Rüzgar Hızı (m/s)	$T_{hava}$ (°C)	Debi (l/dak)	$T_{giriş}$ (°C)	$T_{çıkış}$ (°C)		Isı Kaybı(W/m <sup>2</sup> )			Deneysel Hata Tahmini
					Deney	Model	Deney	Model	Fark	
1	3,7	21,3	48,2	98,81	98,46	98,51	32,07	27,86	4,21	18,6
2	4,9	24,5	50,4	152,83	152,23	152,26	58,07	54,7	3,37	20,54
3	3,0	16,4	51,3	200,56	199,54	199,66	97,76	86,3	11,56	19,69
4	3,1	13,5	51,8	251,68	250,40	250,34	121,84	127,01	6,17	19,76
5	2,9	10,9	52,5	299,99	298,12	298,03	173,31	173,40	0,09	19,25
6	3,7	16,9	53,2	339,12	336,59	336,70	228,33	218,63	9,7	18,83
7	0,9	4,4	31,4	99,48	98,86	98,96	37,50	31,73	5,77	12,54
8	4,5	10,7	33,5	152,05	150,98	151,12	67,42	59,82	7,6	12,95
9	2,3	13,6	35,1	203,30	202,05	201,98	81,51	87,0	5,49	13,73
10	2,3	15,8	36,0	251,43	249,64	249,69	118,13	121,41	3,28	13,97

Tablo 2 ile görülebileceği gibi çalışma kapsamında oluşturulan model ile deneysel verilerin farkı, deneysel tahmini hata miktarlarını aşmamıştır bu yüzden model geçerli kabul edilebilir.

### 4. VERİLERİN GRAFİKLER ÜZERİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışma kapsamında ısı analizi yapılacak olan parabolik güneş kolektörü IST olarak seçilmiştir ve geometrik özellikleri Tablo 2 ile görülmektedir. Çalışma akışkanı olarak Thermoil VP-1 sentetik yağı kullanılmıştır [17]. Model hem vakumlu hem vakumsuz olarak incelenmiştir. Seçici kaplama, siyah

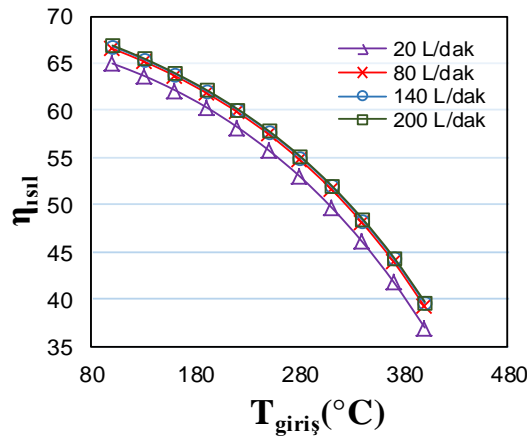
krom ve cermet kullanılmıştır. Çalışma sıcaklığı 100-400 °C arasında ve hacimsel debi 20-200 l/dak arasında kullanılmıştır. İncelenecek modelin, sabit değişkenleri Tablo 3 ile gösterilmiştir. Alıcı borunun absorblama katsayısı siyah krom için ve cermet için sırası ile 0,94 ve 0,96 olmaktadır [14]. Kolektör yansıtıcının yansıtma oranı 0,93 ve cam örtünün geçirgenliği 0,96 'dır [5]. Direkt ışınım hariç diğer kalan optik veriler, gerçekçi olarak seçilebilmesi için [11] referansından alınmıştır.

**Tablo 3.** İncelenecek modelin sabit değişkenleri

Sabit veriler			
İsim	Sembol	Değer	Birim
Hava sıcaklığı	$T_{hava}$	25	°C
Direkt ışınım	$I_d$	975	W/m <sup>2</sup>
Rüzgar hızı	$V_{rüzgar}$	2	m/s
Geliş açısı	$\theta$	0	°
Alıcı borunun absorblaması ( siyah krom için)	$\alpha_b$	0,94	-
Alıcı borunun absorblaması ( cermet için)	$\alpha_b$	0,96	-
Cam örtünün geçirgenliği	$\tau_c$	0,96	-
Kolektör yansıtıcısının yansıtma oranı	$\rho_{yans}$	0,93	-
Gölgeleme	$\gamma_1$	0,974	-
Güneşi izleme hataları	$\gamma_2$	0,994	-
Odaklayıcı aynanın geometrik doğruluğu	$\gamma_3$	0,98	-
Parabolik yansıtıcı temizliği	$\gamma_4$	0,98	-
Isı toplama ekipmanlarının kirliliği	$\gamma_5$	0,99	-
Diğer faktörler	$\gamma_6$	0,96	-

#### 4.1 Hacimsel Debinin Kolektöre Etkisinin İncelenmesi

Şekil 2 ile çalışma akışkanının giriş sıcaklığına göre değişen debilerdeki parabolik güneş kolektörünün ısı verimi değerleri gösterilmiştir. Hesaplamalar siyah krom kaplama verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 2 incelendiğinde hacimsel debi 20 L/dak' dan 200 L/dak artırıldığında ısı veriminin arttığı görülmektedir.

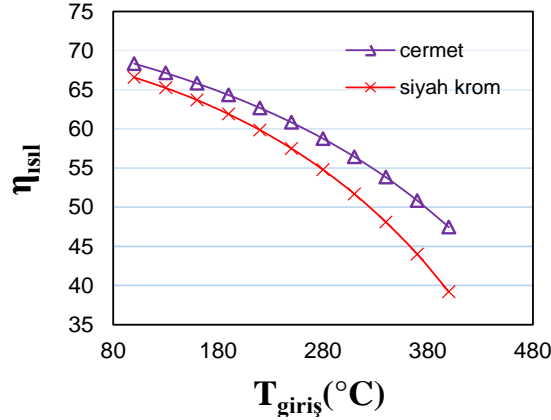


**Şekil 2.** Çalışma akışkanının giriş sıcaklığına göre değişen debilerdeki kolektörün ısı verimi

#### 4.2 Seçici Kaplamaların Kolektör Performansına Etkisi

Cermet ve siyah krom kaplama kullanılarak çalışma akışkanının giriş sıcaklığına göre, kolektörün ısı verimi Şekil 3 ile gösterilmiştir. Hacimsel debi 80 L/dak olarak kullanılmıştır. Şekil 3 ile görüldüğü gibi, çalışma akışkanını giriş sıcaklığı yükseldikçe seçici kaplamaların ısı verimliliklerinin farkı da

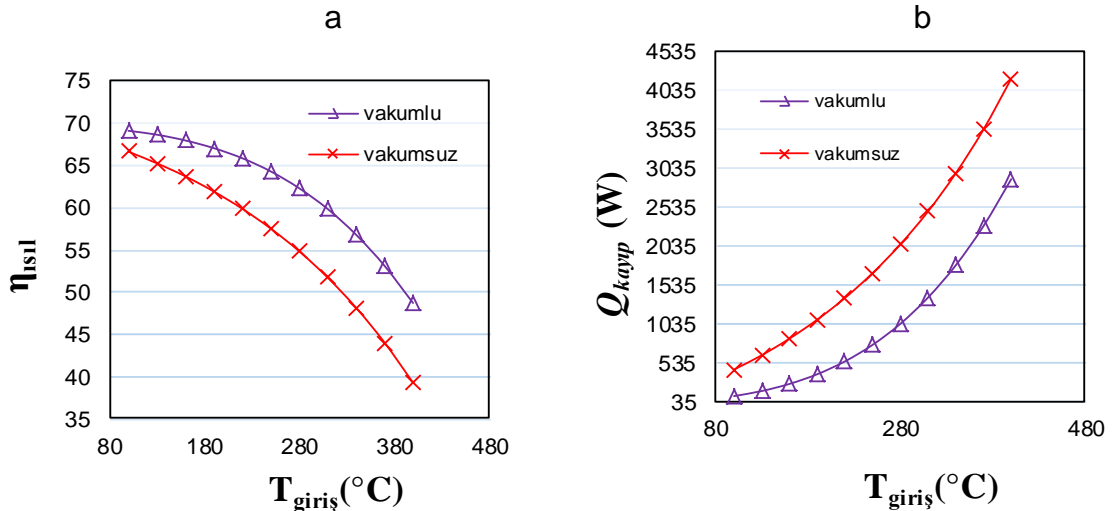
artmaktadır. Bu durum alıcı boru ile cam örtü arasında gerçekleşen ışınlama ile gerçekleşen ısı transferi miktarı ile alakalıdır. Denklem (6) ile görülebileceği gibi seçici kaplamanın güneşten gelen ışını yayma katsayısı ( $\epsilon_{bd}$ ) kaplamaya göre değişmektedir. Bu miktar cermet kaplamada  $100\text{ }^\circ\text{C}$ ' de 0,07 ve  $400\text{ }^\circ\text{C}$ ' de ise 0,13 iken siyah kromda  $100\text{ }^\circ\text{C}$ ' de 0,11 ve  $400\text{ }^\circ\text{C}$ ' de 0,25 olmaktadır [14]. Yani sıcaklık arttıkça siyah kromun  $\epsilon_{bd}$  miktarı cermet kaplamaya göre daha yüksek miktarda artmaktadır. Ayrıca Denklem (3)'e dahil edilen ve Tablo 2 ile gösterilen kaplamaların absorblama katsayıları, cermet için 0,96 iken siyah krom için 0,94 değerindedir. Bu miktar da sonuca etki etmektedir.  $400\text{ }^\circ\text{C}$  giriş sıcaklığında kolektörde cermet kaplama, siyah krom kaplamaya göre ısı verimi yüzde %20,04 daha yüksek olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 3. Çalışma akışkanının giriş sıcaklığına göre ve iki farklı kaplamaya göre kolektörün ısı verimi

#### 4.3 Vakumlu ve Vakumsuz Alıcı Borunun Kolektör Performansına Etkisi

Çalışma akışkanının giriş sıcaklığına göre, vakumlu ve vakumsuz boruların kolektörün ısı verimine etkisi Şekil 4 ile gösterilmiştir. Şekil 4' de hacimsel debi  $80\text{ L/dak}$ 'dır ve seçici kaplama siyah kromdur. Alıcı boru ile cam örtü arasındaki hava boşaltılması halinde kolektör vakumlu olacaktır ve hesaplamalarda tam vakumun gerçekleştiği kabul edilmiştir. Vakumlu ile vakumsuz durum arasındaki farkın yüksek olması, Denklem (6) ile gösterildiği gibi alıcı boru ile cam arasında gerçekleşen ısı kaybı ile ilgilidir. Vakumlu durumda, bu bölgedeki taşınım ile ısı kaybı ihmal edilir ve böylelikle ısı kaybı sadece ışınlama ile gerçekleşir ve ısı kaybı azalır. Böylelikle ısı verimi yükselmiş olur. Sonuç olarak sistem vakumlu olarak kullanılırsa  $100\text{ }^\circ\text{C}$ ' de %352,8 ve  $400\text{ }^\circ\text{C}$ ' de %44,74 ısı kayıplar engellenmektedir. Ayrıca  $100\text{ }^\circ\text{C}$ 'de %3,72 ve  $400\text{ }^\circ\text{C}$ ' de % 24,1 ısı verim artışı gerçekleşmektedir.

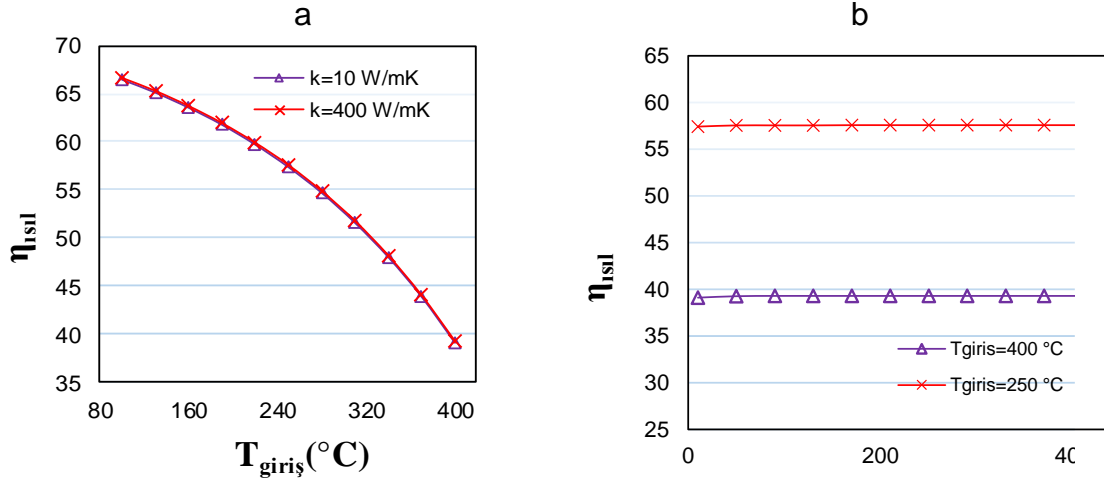


Şekil 4. Çalışma akışkanının giriş sıcaklığına göre, vakumlu ve vakumsuz boruların ısı verimi



#### 4.4 Alıcı Borunun İletim Katsayısının Kolektör Performansına Etkisi

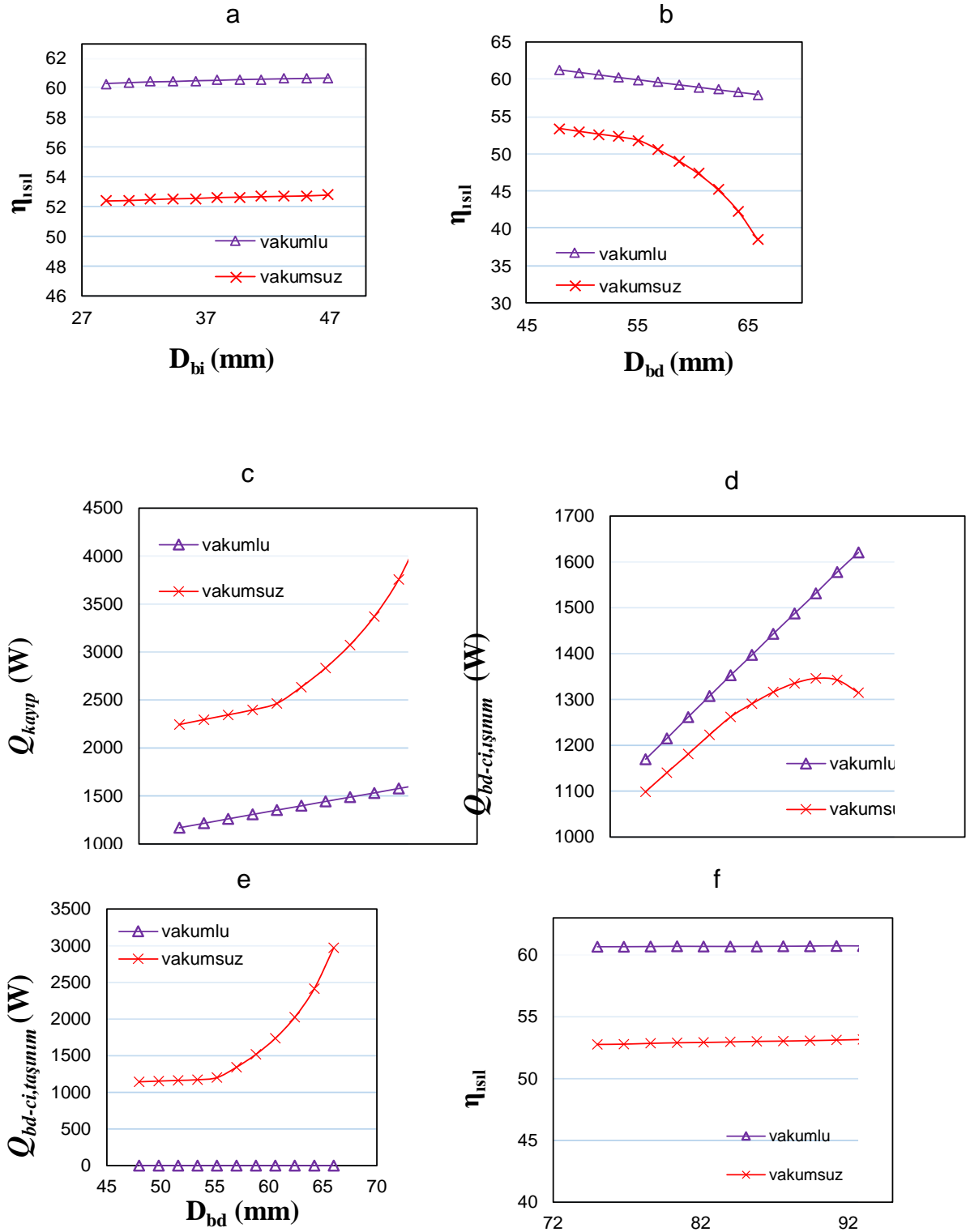
Şekil 5a ile giriş sıcaklığına göre 10 W/mK ve 400 W/mK ısıl iletkenlik katsayısındaki kolektörün ısıl verimleri gösterilmiştir. Şekil 5b 'de ise ısıl iletkenlik katsayısı 10-410 W/mK arasındaki ısıl verimler gösterilmiştir. Şekil 5a ve Şekil 5b ile alıcı borunun iletim katsayısının ( $k_b$ ) artırılması durumunda kolektörün ısıl verimine etkisinin olmadığı görülmektedir. Başka bir ifade ile alıcı borunun malzemesi, kolektörün ısıl verimini etkilememektedir.



Şekil 5. Alıcı boru iletim katsayısının kolektör ısıl verimine etkisi

#### 4.5 Alıcı Borunun ve Cam Örtünün Et Kalınlıklarının Kolektör Performansına Etkisi

Alıcı boru ve cam örtü malzemelerinin et kalınlıklarının kolektör verimine etkisi 6 farklı şekil kullanılarak Şekil 6 ile gösterilmiştir ve hesaplamalar 300  $^{\circ}\text{C}$  giriş sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Şekil 6a 'da alıcı boru dışı sabit tutulup borunun iç çapı iç kısma doğru daraltılmıştır. Sonuç olarak kolektörün ısıl veriminin değişimi oldukça küçük olduğu görülmektedir. Şekil 6b hesaplamalarında alıcı borunun iç çapı sabit tutulup dış çapın dışa doğru genişlemesi sağlanmıştır. Dışa doğru kalınlık arttıkça, ısıl verim belirgin bir biçimde düşmektedir. Bu düşüşün vakumsuz boruda daha yüksek oranda olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, Denklem (9) ile gösterildiği gibi efektif ısı iletim katsayısının ( $k_{ef}$ ) hesaplanmasında kullanılan Rayleigh sayısı ile ilgilidir. Denklem (11) incelendiğinde, alıcı boru dışı çapının artması  $Ra$  sayısını arttırmakta ve  $k_{ef}$  yükselmektedir. Böylelikle taşınım ile ısı transferi bu bölgede yükselmektedir ve toplam ısı kaybı artmaktadır. (Şekil 6e ve Şekil 6c) Ayrıca Denklem (6) ile verilen alıcı boru ile cam boru arasında gerçekleşen ışınlama ile ısı transferi de boru dışı çapına bağlıdır. (Şekil 6d) Cam iç çapı sabit kalacak şekilde cam örtünün dış çapı genişletildiğinde, Şekil 6f ile gösterildiği gibi kolektörün ısıl verim değişimi çok düşüktür ve ihmal edilebilir.



Şekil 6. Alıcı boru ve cam örtü et kalınlıklarının ısı kaybına ve kolektör ısıt verimine etkisi

## SONUÇ

IST ticari parabolik güneş kolektörünün geometrik verileri kullanılarak, kolektöre ait önemli değişkenlerin ısı performansına etkisi çalışma kapsamında incelenmiştir. “Thermoil VP-1” sentetik yağ kolektörde çalışma akışkanı olarak kullanılmıştır. Akışkan, alıcı boru içerisinde 10-200 litre/dakika arasındaki debide ve 100°C – 400°C sıcaklık aralığında kullanılmıştır. Seçici kaplamaların ısı performansına etkisinin incelenmesi için iki farklı kaplama; siyah krom ve cermet kaplama kullanılmıştır. Çalışmada, akışkan debisinin, alıcı boru ve cam boru çaplarının, alıcı borunun iletkenlik katsayısının ve alıcı boru üzerinde kullanılan seçici kaplama cinsinin, enerji verimliliğine etkisi incelenmiştir ve elde edilen tüm sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Kolektörün hacimsel debisi arttırıldıkça, ısı verim yükselmektedir.
2. Cermet seçici kaplama, krom kaplamaya göre daha iyi optik performansına sahiptir. Bu nedenle kolektörde cermet kullanılması durumunda, ısı verim krom kaplamaya göre daha yüksek olmaktadır. 400 °C giriş sıcaklığında, kolektörde cermet kaplama kullanılması halinde, siyah krom kaplamaya göre ısı verimi yüzde %20,04 daha yüksek olacağı hesaplanmıştır.
3. Kolektörde alıcı boru ile cam boru arasındaki hava boşaltılırsa (vakum), bu bölgedeki taşınım ile ısı kaybı yok olacağı için toplam ısı kayıpları 400 °C sıcaklıkta %44,74 azalmakta ve ısı verim ise 100 °C sıcaklıkta %3,72 ve 400 °C sıcaklıkta % 24,1 artış sağlanmaktadır.
4. Alıcı borunun ısı iletim katsayısı, kolektörün ısı verimini çok düşük miktarda değiştirdiği ve ihmal edilebilir olduğu hesaplanmıştır.
5. Alıcı borunun dış çapı sabit tutulur ve iç çap iç kısma doğru küçültülmesi halinde, kolektörün ısı verimindeki değişim oldukça küçük olacaktır. (Şekil 6a) Alıcı borunun iç çapı sabit tutulup dış çapı genişletilir ise, hem vakumlu hem de vakumsuz boru için ısı verim düşecektir.(Şekil 6b) Bu düşüş vakumlu boruda daha yüksek olacaktır. Bunun sebebi, taşınım ile ısı kaybı miktarının  $Ra$  sayısına ve  $Ra$  sayısının da boru dış çapına bağlı olmasıdır.  $Ra$  sayısı arttıkça taşınım ile ısı kaybı artacaktır. Eğer cam örtünün iç çapı sabit tutulur ve dış çapı genişletilirse kolektörün ısı verimindeki değişim oldukça düşüktür. (Şekil 6f)

## KAYNAKLAR

- [1] GUO, J.; Huai, X.; Liu, Z., “Performance investigation of parabolic trough solar receiver”, Applied Thermal Engineering, 2016, 95: 357-364.
- [2] LOVEGROVE, K., Stein, W., “Concentrating solar power technology: principles, developments and applications”. Elsevier, 2012.
- [3] <https://www.dlr.de/dlr/en/desktopdefault.aspx/tabid-10615#gallery/3758>
- [4] COCCIA, G., DI Nicola, G., Hidalgo, A., “Parabolic trough collector prototypes for low-temperature process heat”, Springer, 2016.
- [5] DUDLEY, V. E., Evans, L. R., Matthews, C. W., “Test results, industrial solar technology parabolic trough solar collector” Sandia National Labs., Albuquerque, NM (United States), 1995.
- [6] KALOGIROU, S. A., “Solar thermal collectors and applications” Progress in energy and combustion science, 2004, 30.3: 231-295.
- [7] HACHICHA, A. A., Rodríguez, I., Capdevila, R., Oliva, A., “Heat transfer analysis and numerical simulation of a parabolic trough solar collector”, Applied energy, 2013, 111: 581-592.
- [8] YAGHOUBI, M., Ahmadi, F., Bandehee, M., “Analysis of heat losses of absorber tubes of parabolic through collector of shiraz (iran) solar power plant”, Journal of Clean Energy Technologies, 2013, 1.1: 33-37.
- [9] KALOGIROU, S. A., “A detailed thermal model of a parabolic trough collector receiver”, Energy, 2012, 48.1: 298-306.
- [10] BEHAR, O., Khellaf, A., Mohammedí, K., “A novel parabolic trough solar collector model– Validation with experimental data and comparison to Engineering Equation Solver (EES)”, Energy Conversion and Management, 2015, 106: 268-281.



- [11] BELLOS, E., Tzivanidis, C., “A detailed exergetic analysis of parabolic trough collectors”, Energy Conversion and Management, 2017, 149: 275-292.
- [12] BELLOS, E., Tzivanidis, C., “Thermal analysis of parabolic trough collector operating with mono and hybrid nanofluids”, Sustainable Energy Technologies and Assessments, 2017, 26: 105-115.
- [13] DUFFIE, J. A. Beckman, W. A., “Solar engineering of thermal processes. John Wiley & Sons”, 2013.
- [14] FORRISTALL, R., “Heat transfer analysis and modeling of a parabolic trough solar receiver implemented in engineering equation solver”, National Renewable Energy Lab., Golden, CO.(US), 2003.
- [15] ARSLAN, M., “Parabolik güneş kolektörlerinde enerji ve ekserji analizi”, Ege üniversitesi fen bilimleri enstitüsü, yüksek lisans tezi, 2019.
- [16] SYLTHERM 800 Heat Transfer Fluid” <https://www.loikitsdistribution.com/files/syltherm-800-product-brochure.pdf>
- [17] Therminol VP-1 heat transfer fluid”, [https://www.therminol.com/sites/therminol-prd.us-east-1.elasticbeanstalk.com/files/documents/TF09A\\_Therminol\\_VP1.pdf](https://www.therminol.com/sites/therminol-prd.us-east-1.elasticbeanstalk.com/files/documents/TF09A_Therminol_VP1.pdf)

## ÖZGEÇMİŞ

### Hüseyin GÜNERHAN

1983 yılında İzmir Atatürk Lisesini bitirdi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü 1990 yılında, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojisi Anabilim Dalında yaptığı yüksek lisans öğrenimini 1992 yılında ve Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Güneş Enerjisi Anabilim Dalında yaptığı doktora öğrenimini 1999 yılında tamamladı. 1991-2001 yılları arasında, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojisi Anabilim Dalında öğretim elemanı görevi ve araştırma görevlisi unvanı ile çalıştı. 2001-2012 yılları arasında, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalında öğretim üyesi görevi ve yardımcı doçent doktor unvanı ile çalıştı. 2012-2018 yılları arasında ise, aynı bölüm ve aynı anabilim dalında öğretim üyesi görevi ve doçent doktor unvanı ile çalıştı. 2018 yılından itibaren aynı bölüm ve aynı anabilim dalında profesör doktor olarak çalışmaya devam etmektedir. Çalışma alanlarını, ısı transferi, termodinamik, ısı enerji depolama, ısı pompaları ve yeni enerji kaynakları oluşturmaktadır.

### F. Mertkan ARSLAN

2009 yılında Türkiye Eğitim Derneği (TED) Aliğa Lisesini bitirdi. 2015 yılında Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2016 yılı eylül ayında Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisansa başladı ve 2019 Ocak ayında bitirdi.

**Simgeler ve Kısaltmalar**

$c_p$	özgül ısı (J/kg °C)
D	çap (m)
f	boru içi sürtünme faktörü (-)
$F_{cyl}$	şekil faktörü (-)
h	taşıyım ile ısı transferi (W/m <sup>2</sup> °C)
$I_d$	direkt ışınım (W/m <sup>2</sup> )
k	ısı iletkenlik (W/m °C)
K	geliş açısı niteleyicisi (-)
L	uzunluk (m)
m	kütleli debi (kg/s)
Nu	Nusselt sayısı (-)
Pr	Prandtl sayısı (-)
Ra	Rayleigh sayısı (-)
Re	Reynolds sayısı (-)
T	sıcaklık (K)
v	akış hızı (m/s)
$U_L$	kayıp katsayısı (W/m <sup>2</sup> °C <sup>2</sup> )
Q	ısı akımı (W)
W	genişlik (m)

*Yunan alfabesi*

$\alpha$	absorblama katsayısı (-)
$\beta$	hacimsel ısı genleşme katsayısı(1/K)
$\Delta P$	Basınç kaybı (Pa)
$\varepsilon$	Işınım yayma katsayısı (-)
$\eta$	verimlilik (-)
$\Upsilon$	Kesişme faktörü (-)
$\theta$	olay açısı (°)
$\mu$	dinamik viskozite (Pa s)
$\rho$	yağunluk (kg/m <sup>3</sup> )
$\sigma$	Stefan Boltzmann katsayısı (5.67 x 10 <sup>8</sup> W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> )
T	Işınım geçirgenlik oranı (-)

*indisler*

a	açıklık
ak	akışkan
abs	absorber
b	boru
bd	boru dışı
bi	boru içi
c	cam
cd	cam dışı
ci	cam içi
cd	cam dışı
ef	etkin
g	güneş
g	güneş
kol	kollektör
opt	optik
yans	yansıtıcı