

DÜZ GÜNEŞ ENERJİSİ TOPLAYICILARINDA YUTUCU PLAKADA OLUŞAN ISI TRANSFERİNİN PARAMETRİK ANALİZİ

Yrd. Doç. Dr., Yahya DOĞU, Mak. Müh., Nuriye ÇALIŞKAN, Arş. Gör. Nur ÇEKEL

Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Güneş enerjisi uygulamalarındaki artışa paralel olarak, güneş enerjisinin faydalı ısı enerjisine dönüştürüldüğü düz güneş enerjisi toplayıcılarındaki ısı transferinin verimli olarak gerçekleştirilmesinin önemi giderek artmaktadır. Bu çalışmada, düz toplayıcılarda güneş ışınım enerjisinin ısı taşıyıcı akışkana aktarıldığı yutucu plakanın ısı analizi yapıldı. Geliştirilen analitik formülasyonda yutucu plaka tek boyutlu bir kanat olarak incelendi. Yutucu plaka üst yüzeyinde güneşten gelen ışınım akısı ve çevreye olan ısı kaybı tanımlanırken, alt yüzey ideal olarak yalıtılmış kabul edildi. Kanat ısı transfer denklemleri analitik olarak çözülerek, yutucu plaka üzerindeki sıcaklık dağılımını ve plakadan akışkana olan ısı geçişini veren bağıntılar elde edildi.

Sıcaklık dağılımı ve ısı geçişi üzerindeki etkili parametreler temel olarak; geometrik boyutlar, akışkan sıcaklığı, yutucu plaka malzemesinin ısı iletim katsayısı, ışınım ısı akısı, çevre sıcaklığı ve çevreye olan toplam ısı kaybı katsayısıdır. Bu parametrelerin etkileri metodik olarak incelendi. İnceleme sonucunda; yüksek ısı iletim katsayısına sahip yutucu plakadaki sıcaklık seviyesinin ve akışkana geçen ısı akısının arttığı tespit edildi. Toplayıcıda elde edilen faydalı ısı enerjisinin kullanılabilirliğini belirleyen, pratik çalışma şartlarında ulaşılabilecek maksimum akışkan sıcaklığı, güneş ışınım şiddetinin fonksiyonu olarak elde edildi. Elde edilen tüm sonuçlara bağlı olarak, toplayıcı verimi üzerindeki parametrelerin etkileri tespit edildi.

Anahtar Kelimeler: Düz güneş enerjisi toplayıcısı, ısı transferi, yutucu plaka.

ABSTRACT

Importance of efficient heat transfer in straight solar energy collectors, where solar energy is converted into useable heat energy, has been ever increasing with demanding solar energy applications. In this study, thermal analysis of the absorber plate, where solar radiation energy is transferred to the fluid carrying heat in the straight solar collector, have been performed. In the analytical formulation developed, the absorber plate has been treated as a one-dimensional fin. Radiation flux coming from the sun and heat loss to the environment are defined at the upper face of the absorber plate while the lower face is assumed to be ideally insulated. By solving the fin heat transfer equations analytically, relations giving temperature distribution on the absorber plate and heat transfer from the absorber plate to the working fluid have been derived.

Effective parameters on temperature distribution and heat transfer are mainly: geometrical dimensions, fluid temperature, heat conduction coefficient of the absorber plate, radiation heat flux, environmental temperature, and total heat loss coefficient to the environment. Effects of these parameters are methodically investigated. One of the investigation results is that the absorber plate with high heat conduction coefficient yields increased temperature level and heat flux transferred to the working fluid. The achievable maximum fluid temperature at the practical working conditions, which quantifies the availability of useable heat energy obtained in the collector, has been determined as a function of incident solar radiation. Effects of the parameters dominating the collector efficiency have been investigated by evaluating all the analysis results.

Keywords: Straight solar energy collector, heat transfer, absorber plate

Giriş

Temiz ve ekonomik bir enerji kaynağı olan güneş enerjisinin en temel ve yaygın kullanımı, konutların ısı gereksinimini karşılama amaçlıdır. Bu tür düşük sıcaklık uygulamalarında güneş ışınım enerjisinin faydalı ısı enerjisiye dönüştürüldüğü düz güneş enerjisi toplayıcıları kullanılmaktadır. Geniş bir uygulama alanı olan düz toplayıcıların kullanıldığı güneş enerjisi sistemlerinin verimlerinin iyileştirilmesi süregelen araştırmaların odağı olmuştur. Sistem verimini birincil seviyede, güneş ışınımının ısı taşıyıcı akışkana aktarıldığı toplayıcıdaki ısı geçişi etkilemektedir. Bu çalışmada, düz toplayıcılardaki ısı

transfer mekanizması analitik olarak modellenerek ilgili parametrelerin etkileri incelenmiştir.

Düz toplayıcıların basit konstrüksiyonları ekonomikliğin yanı sıra pratik kullanım için birçok avantaja sahiptir [1-5]. Bir düz toplayıcı temel olarak; saydam örtü, yutucu plaka, ısı taşıyan akışkanın dolaştığı borular, yalıtım malzemesi ve kasadan oluşur (Şekil 1). Saydam örtü, ısı radyasyon enerjisi şeklinde üzerine düşen güneş ışınımını geçirir ve yutucu plakaya iletir. Ayrıca, toplayıcıdan çevreye olan ısı kayıplarını azaltır ve yutucu plakayı dış atmosferik etkilerden korur.

Bunlarla birlikte, cam gibi saydam örtü malzemeleri,

güneşten yayılan ısı ışınım enerjisinin büyük bölümünün taşındığı kısa dalga boylu ışınımı geçirirken, yutucu plakadan yayılan uzun dalga boylu ışınımı engelleyerek sera etkisi yapar. Böylece ışınımın yutucu plaka tarafından en yüksek seviyede yutulmasını sağlar.

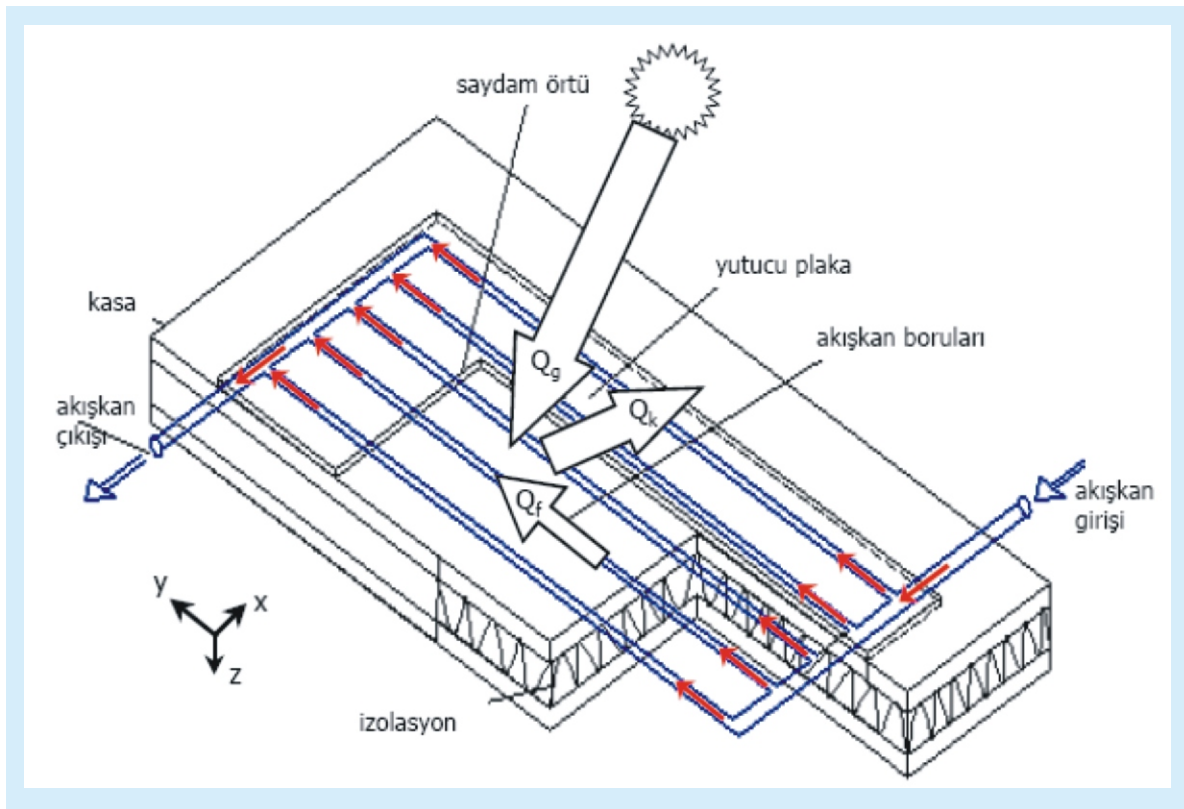
Toplayıcıda en önemli kısım olan yutucu plaka, yutma oranı yüksek siyah esaslı boyalarla boyanmış, ince metal malzemeden oluşur. Plaka, ısı taşıyan akışkanın dolaştığı borularla kombine haldedir. Yutucu plaka üzerine düşen güneş ışınımını absorbe eder ve borularda dolaşan akışkana iletir. Bu açıdan, plaka veya daha genel halde toplayıcı, güneş ışınım enerjisini akışkan iç enerjisine dönüştüren bir enerji dönüşüm sistemi veya bir ısı değiştiricisi olarak değerlendirilebilir. Isı iletiminin etkin olması için yutucu plaka, ısı iletim katsayısı yüksek olan paslanmaz çelik, bakır ve alüminyum gibi malzemelerden imal edilir. Yutucu plakanın ayrıca, kısa dalga boylu ışınımı yutuculuğunun yüksek, ve uzun dalga boylu ışınımı yayıcılığının düşük

olması için bazı seçici yüzey kaplamaları konusundaki çalışmalar devam etmektedir [6,7].

Şekil 1'de gösterildiği gibi, toplayıcıya alt giriş borusundan giren akışkan, güneş ışınımı ile ısınan yutucu plaka ile temas halinde olan geçiş boruları içinde ısınır. Bu sıcaklık artışı yoğunluğun azalmasıyla birlikte akışkanın geçiş boruları içinde doğal dolaşımını sağlar. Geçiş boruları içinden akarken ısınan akışkan, üst toplama borusundan depoya gönderilir. Sıcaklığı artan akışkan, ihtiyaca göre depolanır veya sisteme gönderilir. Böylece, güneş ışınım enerjisi faydalı ısı enerjeye dönüştürülmüş olur.

Yüksek sıcaklıktaki yutucu plakadan çevreye ısı kaybı olacaktır. Toplayıcının güneş ışınımını almayan alt ve yan kısımlarından olan ısı kayıplarının azaltılması için cam yünü ve strafor gibi yalıtım malzemesi kullanılır. Toplayıcı kasası ise tüm kısımları bir arada tutan ve toplayıcıyı dış etkilerden koruyan kısımdır.

Düz toplayıcıların verimlerinin iyileştirilmesi



Şekil 1. Düz Güneş Toplayıcısının Şeması

konusunda yapılan birçok deneysel içerikli araştırmaların yanında teorik analizler de önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle yutucu plakada oluşan ısı tranfer mekanizması elde edilecek faydalı enerji miktarını belirleyici birincil etkiye sahiptir [1]. Toplayıcı verimi üzerinde yutucu yüzeyin konstrüksiyonu, malzemesi ve yutma katsayısının yanı sıra saydam örtü geçirgenliği ve boru geçiş sayısı da etkili parametreler arasındadır [6,7].

Süregelen araştırmalara örnek olarak, Tırs [6] ve Ağı ve Günerhan [7] düzlemsel güneş toplayıcısının verimine etki eden parametreleri inceledi. Kazeminejad [8] paralel akışlı düzlem plakalı toplayıcının yutucu plakası üzerindeki sıcaklık dağılımını bir ve iki boyutlu kararlı akış iletim denklemleri ile ısı üretimini de göz önüne alarak sayısal olarak çözümünü verdi. Kundu [9] ise, düzlem plakalı toplayıcıda, farklı geometrilerde yutucu plakalar için yine sayısal olarak performans analizi ve optimizasyon çalışması yaptı. Diğer taraftan, El-Adawi [10], yutucu plakada olan ısı geçişinin, Fourier transform tekniğini kullanarak çözümlenmesi için model geliştirdi. Eisenmann ve arkadaşları [11] toplayıcı verim faktörü ve yutucu plaka malzemesinin korelasyonu üzerinde çalıştı. Cristofari [12] polimer malzemeden üretilen düz toplayıcının performansı üzerinde çalışmıştı.

Yapılan çalışmalar genelde deneysel veya özel sayısal bir çözüm gerektiren formlardadır. Elde edilen sonuçların değertlendirilmesi sadece o çalışmaya ait şartlar için mümkün olmakta ve okuyucu tarafından farklı şartlar için hesap yapılabilmesi mümkün olamamaktadır. Bu çalışmada, toplayıcıda enerji dönüşümünün gerçekleştiği yutucu plakadaki ısı tranfer mekanizması analitik olarak modellenerek açık formda sıcaklık ve ısı tranfer denklemleri elde edilmiştir. Elde edilen denklemler kullanılarak farklı şartlar için incelemeler yapılmıştır. Yutucu plakadaki ısı tranferine etki eden parametreler analitik olarak incelenmiş ve sonuçlar grafiksel olarak gösterilmiştir. Özellikle, farklı yutucu plaka malzemeleri için elde edilebilecek maksimum akışkan sıcaklığı ve faydalı enerji miktarı tespit edilmiştir.

Yutucu Plaka Isıl Analizi

Güneşten yayılan ısı radyasyon atmosfer tabakalarını geçtikten sonra yeryüzüne ulaşır. Toplayıcı üzerine gelen ışınım üç kısımdan oluşur; direkt güneşten gelen ışınım, atmosferde yayılarak gelen ışınım ve çevreden yansyarak gelen ışınımdır. Toplayıcı termodinamiksel bir sistem olarak incelendiğinde, toplayıcı üzerine gelen güneş ışınımı ise aşağıdaki şekilde dağılır:

1. Yansıtılan kısım: Saydam örtü ve yutucu yüzeyin yansıtma, geçirme, yutma ve neşretme katsayılarına bağlı olarak toplayıcıdan yansıtılan toplam ışınımdır. Bu kısım, toplayıcı optik verimi (yutmageçirme katsayısı) ile ifade edilir.

2. Yutulan kısım: Yutucu plaka tarafından yutulan ısı enerjidir.

a) Bu enerji, yutucu plaka üzerinden önce iletim daha sonra taşınım ile boru içinden akan akışkana faydalı enerji olarak aktarılır.

b) Bir kısmı ise, toplayıcı sıcaklığı çevre sıcaklığından yüksek olduğundan çevreye ışınım ve taşınım yoluyla kaybolur.

c) Sürekli rejime ulaşıncaya kadar bir miktarı da toplayıcı sıcaklığını artırmada kullanılır.

Toplayıcının tamamı için enerji dengesi, aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$I(\tau\alpha)A_t = \dot{Q}_f + \dot{Q}_k + \dot{Q}_d \quad (1)$$

burada; I birim yüzeye gelen güneş ışınımı, ($\tau\alpha$) toplayıcının efektif optik verimini (yutmageçirme katsayısını), A_t toplayıcı alanını, \dot{Q}_f faydalı enerjiyi, \dot{Q}_k çevreye kaybolan enerjiyi, ve \dot{Q}_d ise depolanan enerjiyi göstermektedir.

Yansıtılan kısım, toplayıcı üzerine düşen ışınım takip edilerek tespit edilmektedir. Bu takipte, saydam örtü ve yutucu yüzeyin yansıtma, geçirme, yutma ve neşretme katsayıları ve saydam örtü sayısının yanında ışınımın geliş

açısı, toplayıcı eğimi gibi birçok parametre dikkate alınmaktadır [1]. Toplayıcı yüzeyine gelen ışınım aynı zamanda gün boyunca değişmektedir.

Verimli bir toplayıcı dizaynında, yutucu plaka tarafından yutulan enerjinin maksimum oranda akışkana aktarılması hedeflenir. Düşük sıcaklıktaki akışkan, borular içinden akarken sıcaklığı artar. Toplayıcının yutucu plakasının tamamı gözönüne alındığında, sıcaklık; hem akış boyunca (y -doğrultusu) hem de akışa dik doğrultuda (x -doğrultusu) değişecektir (Şekil 1). Yutucu plaka sıcaklığı ise günün o anı için yüzeye gelen güneş ışınım şiddeti, akışkanın toplayıcıya giriş sıcaklığı, toplayıcı konstrüksiyonu, çevre sıcaklığı gibi birçok parametreye bağlıdır. Akışkanın akış doğrultusundaki sıcaklık artışı, yutucu plaka sıcaklığının da artışı anlamındadır. Akışa dik doğrultudaki her kesitteki sıcaklık dağılımı ise, o yutucu plaka kesitindeki akışkana geçen ısı transfer miktarını ve ulaşılabilecek maksimum akışkan sıcaklığını belirleyecektir. Bu çalışmada, yutucu plaka üzerindeki sıcaklık dağılımı ve ısı aktarımı akışa dik x -doğrultusu için incelenmiştir. Ayrıca, pratikte yutucu plaka çok ince ve ısı iletim katsayısı yüksek olduğundan plaka kalınlığındaki sıcaklık dağılımı ihmal edilebilir seviyelerdedir. Dolayısıyla yutucu plaka kalınlığındaki üçüncü boyuttaki (z -doğrultusu) ısı transferi ihmal edilebilir.

Bu fiziksel basitleştirmeler sonucunda, Şekil 2'de gösterildiği gibi yutucu plaka tek boyutlu simetri eksenli bir kanat olarak incelemeye alınabilir. Plaka, geometrik ve sınır şartları açısından $x=0$ 'da tam olarak simetriktir. Kanadın üst yüzeyinden yayılı ısı akısı mevcut iken, alt ve üst yüzeylerden çevreye ısı kaybolmaktadır. Bu esnada ise x -doğrultusunda akışkana doğru iletimle ısı aktarımı mevcuttur. Şekil 2'de yutucu plaka üzerinde gösterilen dx kalınlığındaki kontrol hacmi için bahsedilen enerjilerin dengesi aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$E_{giren} - E_{çıkan} + E_{uretilen} = E_{depolanan} \quad (2)$$

Fourier ısı iletim kanunu yerine yazılır ve sürekli rejimde gerekli sadeleştirmeler yapılırsa;

$$-\frac{d}{dx} \left(-kA \frac{dT}{dx} \right) dx + q'Pdx - h(T - T_{\infty})Pdx = 0 \quad (3)$$

denklemine ulaşılır. Bu denklemde; k [$W/m \cdot ^\circ C$] plakanın ısı iletim katsayısını, A [m^2] iletim doğrultusuna dik kesit alanını, P [m] üst ve alt yüzey çevresini, q' [W/m^2] yutucu plakanın yuttuğu güneş ışınımını, h [$W/m^2 \cdot ^\circ C$] yutucu plakanın alt ve üst yüzeylerinde meydana gelen ısı kayıplar için toplam ısı geçiş katsayısını göstermektedir.

Yutulan güneş ışınımı ısı akısı miktarı, q' , gün boyunca toplayıcı konstrüksiyonuna ve çalışma şartlarına bağlı olarak değişecektir. Bu yüzeysel ısı akısı yüzeye gelen anlık ışınım şiddeti cinsinden

$$q' = (\tau\alpha)I \quad (4)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Yapılan incelemede farklı ısı akıları dikkate alınarak ısı transfer analizi gerçekleştirilmiştir. Bu sebeple ısı akısının, q' , pratikte gerçekleşen değerleri alınmıştır ve hesap detayları kaynaklarda mevcuttur [1].

Diğer taraftan, önemli bir parametre ise denklem 3'de dikkate alınan toplam ısı geçiş katsayısıdır, h [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]. Denklemdeki h , üst ve alt yüzeylerden olan ısı kayıplarının toplamı olarak temsil edilen toplam ısı geçiş katsayısı olup,

$$h = K_{alt} + K_{üst} \quad (5)$$

şeklinde dir. Buradaki, alt (K_{alt} [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]), ve üst ($K_{üst}$ [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]) yüzeylere ait ısı kayıp katsayıları birçok parametreye bağlıdır [1]. Bu parametreler arasında geometrik boyutlar, saydam örtü sayısı ve optik özellikleri, rüzgar hızı, yalıtım malzemesi ve kalınlığı, toplayıcı eğimi, yutucu yüzey ve çevre sıcaklıkları sayılabilir. Elektriksel ısı direnç benzeşimi yöntemi ile özellikle Küst değerinin hesaplanması uzun iteratif işlemleri gerektirdiğinden, pratikte basit yarıampirik bağıntılar kullanılır.

Bunlardan yaygın olarak kullanılanlardan bir tanesi bütün etkili parametreleri kapsayacak şekilde aşağıdaki şekildedir:

$$K_{üst} = \left[\frac{N}{\frac{C}{T_y} \left[\frac{T_y - T_{\infty}}{N + f} \right]^{0.33} + \frac{1}{h_{td}}} \right]^{-1} + \quad (6)$$

$$\frac{\sigma (T_y + T_{\infty}) (T_y^2 + T_{\infty}^2)}{[\epsilon_L + 0.05N(1 - \epsilon_L)]^1 + \frac{2N + f - 1}{\epsilon_s} - N} \quad (7)$$

$$h_{td} = 5.7 + 3.8V$$

$$f = (1 - 0.04h_{td} + 0.0005h_{td}^2)(1 + 0.091N) \quad (8)$$

$$C = 250[1 - 0.0044(s - 90)] \quad (9)$$

Bu denklem görüldüğü gibi, saydam örtü sayısının (N), tolayıcı eğiminin (s), yutucu yüzey ve saydam örtünün ışınım neşretme oranlarının (ϵ_L , ϵ_s) ve sıcaklıklarının (T_L , T_s) ve rüzgar hızının (V) bir fonksiyonu şeklindedir.

Yutucu plakanın alt tarafından olan ısı kayıp katsayısı ise (K_{alt} [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]), pratikte alt yüzey sıcaklığının hemen çevre sıcaklığına eşit olması durumu gözönüne alınarak aşağıdaki şekilde gerçekleşir.

$$K_{alt} = k_y / L_y \quad (10)$$

Burada; k_y yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı ve L_y yalıtım malzemesi kalınlığıdır.

Bu çalışmada, yutucu plaka ısı analizinin pratik çalışma parametreleri için gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu bakımdan, toplam ısı geçiş katsayısının da (h) pratikte gerçekleşen değerleri dikkate alınmıştır. Kılıç ve Öztürk tarafından verilen grafiklerde [1], h'nin değerinin 1.5-10 [$W/m^2 \cdot ^\circ C$] arasında değiştiği görülmektedir. İnceleme kapsamında $h=5$ [$W/m^2 \cdot ^\circ C$] ve çevre sıcaklığı $T_{\infty}=20^\circ C$ olarak sabit alınmıştır.

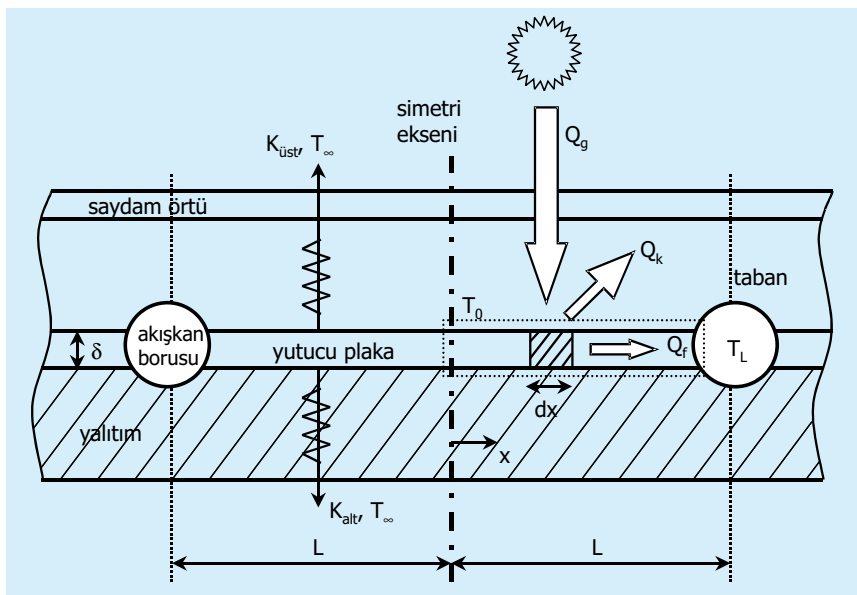
Şekil 2'de gösterilen geometri için, $A = \delta_w$ ve $P = w$ ifadeleri dikkate alınır, plaka ısı iletim katsayısının sabit olduğu kabul edilir, ve gerekli düzenlemeler yapılırsa, elde edilen enerji denklemi;

$$\frac{d^2T}{dx^2} - \frac{h}{k\delta}(T - T_{\infty}) + \frac{q'}{k\delta} = 0 \quad (11)$$

diferansiyel denklemi haline dönüşür. Bu denklemde, $\theta = T - T_{\infty}$ sıcaklık dönüşümü ve $m^2 = h/(k\delta)$ tanımlaması yapılırsa,

$$\frac{d^2\theta}{dx^2} - m^2\theta + \frac{q'}{k\delta} = 0 \quad (12)$$

denklemi elde edilir. Bu denklem yutucu plaka boyunca sıcaklık dağılımını veren ikinci dereceden, sabit katsayılı ve homojen olmayan bir diferansiyel



Şekil 2. Düz Güneş Toplayıcısı Isıl Analiz Şeması

denklemdir. Bu diferansiyel denklemin kapalı formda çözümü

$$\theta = c_1 e^{mx} + c_2 e^{-mx} + q'/h \quad (13)$$

şeklinde elde edilebilir. İntegrasyon sabitleri aşağıdaki sınır şartları kullanılarak tespit edilebilir.

Kullanılacak birinci sınır şartı simetri eksenini için yazılabilir. Simetri ekseninde ($x=0$) ısı akısı sıfır olacaktır, yani yalıtılmış yüzey olarak alınabilir. Yutucu plakanın diğer taban tarafı ($x=L$) ise geçiş boruları içindeki akışkan ile temas halindedir. Bu yüzeydeki sıcaklık akışkan sıcaklığına eşit alınabilir. Uygulanan sınır şartları aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$1. \text{ sınır şartı: } x = 0 \Rightarrow (d\theta/dx)|_{x=0} = 0 \quad (14)$$

$$2. \text{ sınır şartı } x = L \Rightarrow \theta(x=L) = \theta_L = T_L - T_\infty \quad (15)$$

Çözüm denkleminde bu sınır şartlarının uygulanırsa yutucu plakadaki sıcaklık dağılımını veren ifade

$$\theta(x) = T(x) - T_\infty = \left(\theta_L - \frac{q'}{h} \right) \left(\frac{e^{mx} + e^{-mx}}{e^{mL} + e^{-mL}} \right) + \frac{q'}{h} \quad (16)$$

şeklinde elde edilir. Denkleminde görüldüğü gibi sıcaklık dağılımı, güneş ışınım akısı, toplam ısı kayıp katsayısı, ısı iletim katsayısı, çevre ve taban sıcaklıkları ve geometrik boyutların bir fonksiyonu şeklindedir. Özellikle toplam ısı geçiş katsayısının birçok parametreye bağlı olduğu da unutulmamalıdır. Sıcaklık x - doğrultusunda exponansiyel bir değişime sahiptir. Bu denklem genel çözüm denklemdir ve özel durumlar için pratik bilgiler elde edilecek şekilde türetilerek yorumlanabilir.

Simetri merkezindeki sıcaklık (T_0), denkleminde $x=0$ yazılarak aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\theta_0 = T_0 - T_\infty = \left(\theta_L - \frac{q'}{h} \right) \left(\frac{2}{e^{mL} + e^{-mL}} \right) + \frac{q'}{h} \quad (17)$$

Yutucu plaka tarafından yutulan ışınım enerjisinin ne kadarının taban tarafından ($x=L$) geçiş boruları içindeki akışkana aktarıldığını bulmak için o kesitteki ısı akısı tespit edilebilir. Bu ısı akısı sıcaklık dağılımını veren denklemin de yardımıyla aşağıdaki şekilde belirlenebilir.

$$Q_L = -kA \frac{dT}{dx} \Big|_{x=L} = -km\delta w \left(\theta_L - \frac{q'}{h} \right) \left(\frac{e^{mL} - e^{-mL}}{e^{mL} + e^{-mL}} \right) \quad (18)$$

Bu denkleminde ısı akısının (Q_L) sıfır olması, o çalışma şartlarında yutucu plakadan akışkana aktarılan ısı sıfır olması anlamındadır. Diğer bir ifadeyle, ısı denge oluşmuştur; yani, yutucu plakanın yuttuğu güneş enerjisinin tamamı çevreye kaybolmaktadır. Bu şart denkleminde yazılırsa; ulaşılabilecek maksimum akışkan sıcaklığı aşağıdaki basit denklem şeklinde elde edilir.

$$T_L = q'/h + T_\infty \quad (19)$$

Böylece, düz güneş enerjisi toplayıcısının yutucu plakasının ısı analizi gerçekleştirildi ve yutucu plakadaki sıcaklık dağılımını ve akışkana geçen ısı miktarını veren bağıntılar elde edildi. Bu denklemler açık halde çözüm denklemleri olup farklı dizaynlar için herkes tarafından kullanılabilir formlardadır. Sonuçların tartışılması, dizayn parametrelerinin sıcaklık dağılımı ve akışkana aktarılan faydalı ısı akısına etkilerini gösteren grafikler ve yorumları aşağıdaki bölümde verilmiştir.

SONUÇLAR VE YORUMLAR

Elde edilen denklemler düz güneş toplayıcılarının çalışma parametrelerinin değişimi ile ilgili pratik bilgiler içermektedir. Denklemlerin yorumlamasından önce, ısı analizinde kullanılan ilgili parametrelerin uygulamada gerçekleşen değerleri tespit edilmiştir. Bu değerler Tablo 1'de listelenmiştir. Öncelikle, yutucu plaka tarafından yutulan ısı akısının (q') değeri yukarıda da tartışıldığı gibi yılın bulunulan gününe ve saatine, toplayıcı konstrüksiyonuna ve çalışma şartlarına bağlı olarak değişecektir. Güneşin doğmasıyla artmaya başlayacak ve güneş öğlesinde en büyük değerini aldıktan sonra batışa kadar azalarak tekrar sıfır olacaktır. Aynı zamanda, saydam örtü ve yutucu plakanın optik özellikleri, toplayıcı eğim açısı, bulunulan yerin dünya üzerindeki konumu

gibi birçok parametre de yutulan ısı akısını etkiler [1]. Bu ısı akısının maksimum değeri atmosfer dışı için güneş sabiti olan 1353 W/m^2 değerindedir. Burada, genel bir ısı değerlendirme yapmak amacıyla, pratik gösterge değerleri olarak $q'=300, 400, \text{ ve } 500 \text{ W/m}^2$ değerleri dikkate alınmıştır. ısı akısının nominal değeri olarak aksi belirtilmedikçe $q'=400 \text{ W/m}^2$ kastedilecektir. Ayrıca, ısı akısı geniş bir aralıkta değiştirilerek ($q'= 0-800 \text{ W/m}^2$) akışkana aktarılan faydalı ısı enerjisi miktarı ve ulaşılabilecek maksimum akışkan sıcaklığı incelenmiştir.

Diğer önemli bir parametre ise toplam ısı kayıp katsayısıdır (h). Yukarıda açıklandığı gibi, Kılıç ve Öztürk tarafından verilen grafiklerde [1] $h=1.5-10 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{°C]}$ arasında değiştiği görülmektedir. İnceleme kapsamında $h=5 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{°C]}$ ve çevre sıcaklığı $T_{\infty}=20^{\circ}\text{C}$ olarak sabit alınmıştır. Akışkan sıcaklığı ise tipik bir uygulama değeri olarak $T_1=50^{\circ}\text{C}$ alınmış ve ayrıca farklı değerleri için inceleme yapılmıştır.

Yutucu plaka malzemesi ise uygulamada yaygın olarak kullanılan malzemelerden seçilmiştir. Bunlar; paslanmaz çelik, alüminyum ve bakırdır. İnceleme, Tablo 1'de listelendiği gibi çok farklı ısı iletim katsayısına sahip malzemeler için gerçekleştirilecektir [13].

Yutucu plaka geometrik ölçüleri ise yine uygulamada kullanılan değerlerden alınmıştır. Yutucu

plaka kalınlığı nominal değer olarak $\delta=1 \text{ mm}$ alınmış ve ayrıca $\delta=0.5 \text{ mm}$ de grafiklere dahil edilmiştir. Geçiş boruları arasındaki mesafe ise nominal olarak $2L=10 \text{ cm}$ alınmıştır.

Bütün bu parametrelerin toplayıcı ısı davranışındaki etkileri özellikle sıcaklık dağılımı ve ısı aktarımı açısından ayrı grafikler halinde aşağıda sunulmuş ve yorumlanmıştır. Grafik ve yorumlarda, seçilen çalışma şartları nominal şartlar olarak isimlendirilmiş ve farklı değerlerin kullanılması durumunda o değerler ayrıca belirtilmiştir.

Öncelikle, yutucu plaka üzerindeki sıcaklık dağılımı incelenmiştir. Denklem 16 kullanılarak farklı ısı iletim katsayılarına sahip yutucu plaka malzemeleri için sıcaklık dağılımı Şekil 3'de çizilmiştir. Ayrıca farklı yutucu plaka taban sıcaklıkları için, yutucu plakadan akışkana aktarılan ısının değişimi denklem 18 kullanılarak hesaplanmış ve tüm malzemeler için Şekil 4'te gösterilmiştir.

Şekil 3'de görüldüğü gibi, yutucu plaka simetri merkezinde ($x=0$) sıcaklık maksimum seviyelerdedir ve exponansiyel olarak tabandaki akışkan sıcaklığı azalmaktadır. Örnek olarak, AISI 1010 çeliği için merkezdeki sıcaklık $T_0=54.5^{\circ}\text{C}$ 'ye çıkmakta ve tabana doğru $T_0=50^{\circ}\text{C}$ 'ye düşmektedir.

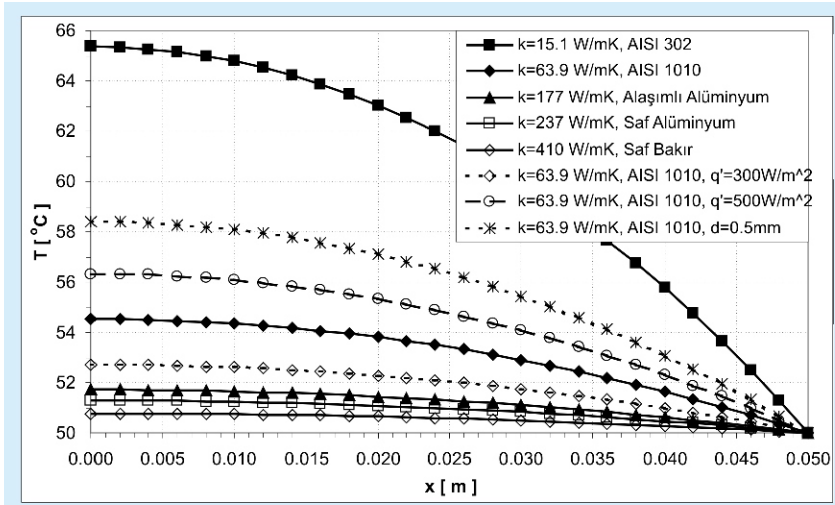
Tablo 1. Isıl Analizde Kullanılan Parametreler

Parametre	Değeri	Yutucu plaka malzemelerinin ısı iletim katsayısı (k) [W/m·°C]	
q' [W/m ²]	300, 400, 500	Paslanmaz Çelik (AISI 302)	15.1
h [W/m ² ·°C]	10	Karbonlu Çelik (AISI 1010) (Mn<%1, Si<0.1)	63.9
T_{∞} [°C]	20	Alaşımli Alüminyum (2024-T6)	177
T_1 [°C]	50	Saf Alüminyum	237
$2L$ [cm]	10	Saf Bakır	401
δ [mm]	0.5, 1.0		

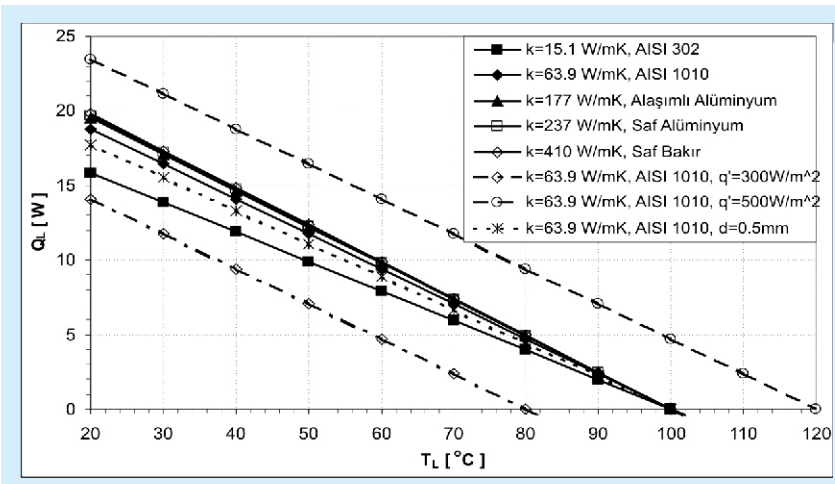
Artan ısı iletim katsayısı ile birlikte, plaka üzerindeki ısı iletimi arttığından sıcaklık değişimi azalmakta ve tüm plaka sabit akışkan sıcaklığına yaklaşmaktadır. Bu değişimle birlikte, yutucu plaka tabanından akışkana aktarılan ısı miktarı seçilen en düşük ve en yüksek ısı iletim katsayılı malzemeler için hesaplandığında, $Q_L=9.9$ W'dan $Q_L=12.4$ W'a yükselmektedir (Şekil 4). Bu değerlendirmeden elde edilebilecek pratik bir sonuç; yüksek ısı iletimli yutucu plaka malzemesinin ısıyı akışkana daha verimli iletmesinin yanında, yutucu plaka sıcaklığını da düşük seviyelerde tutarak çevreye olan kayıpları azaltmasıdır. Seçilen malzemeler arasında en

yüksek ısı iletim katsayısına sahip olan bakır bu değerlendirmede kriteri bakımından en uygun malzeme değildir. Paslanmaz çelik ise en düşük ısı iletim katsayısına sahiptir.

Bunlarla birlikte aynı grafik üzerinde farklı güneş ısı akılarının etkisi de AISI 1010 çeliği için gösterilmiştir. Artan ısı akısı ($q'=300, 400, 500$ W/m²) benzer dağılım yapısını koruyarak plaka sıcaklığını, plaka uzunluğu boyunca artırmıştır. Isı akısının $q'=300$ W/m²'den $q'=500$ W/m²'ye çıkması, merkez sıcaklığını $T_0=52.7^\circ\text{C}$ 'den $T_0=56.3^\circ\text{C}$ 'ye yükseltti. Bunun sonucunda, akışkana aktarılan ısı miktarı ise, Şekil 4'te görüldüğü gibi, $Q_L=7$ W'dan $Q_L=16.4$ W'a yükseldi. Yutucu plaka üzerine gelen güneş ışınımının



Şekil 3. Yutucu Plaka Üzerindeki Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. Akışkana Aktarılan Faydalı Isı Enerjisinin Farklı Yutucu Plaka Malzemeleri İçin Değişimi

artması doğal olarak akışkana aktarılan faydalı ısı enerjisinin artması sonucunu verdi.

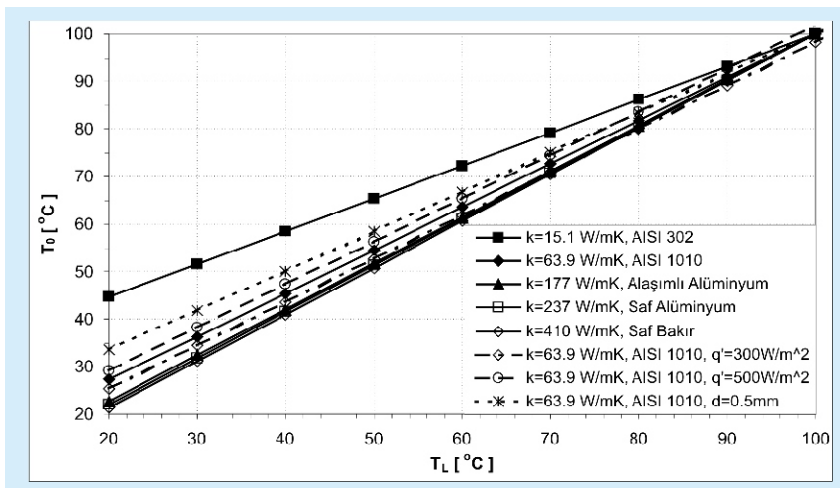
Diğer taraftan yutucu plaka kalınlığının etkisi de örnek bir durum (AISI 1010 çeliği) için incelendi. Kalınlık, $\delta=1$ mm'den $\delta=0.5$ mm'ye düşürüldüğünde yutucu plakadaki sıcaklık seviyesinde artış gerçekleşti. Merkez sıcaklığı $T_0=54.5^\circ\text{C}$ 'den $T_0=58.4^\circ\text{C}$ 'ye yükseldi (Şekil 3). Azalan yutucu plaka kalınlığının ısı iletim direncini artırması ve yükselen plaka sıcaklığı ile birlikte çevreye olan ısı kayıplarının artması sonucu; akışkana aktarılan ısı enerjisi miktarında $Q_L=11.7$ W'dan $Q_L=11.1$ W'a bir azalma meydana geldi (Şekil 4). Bu değerlendirme, kalın yutucu plakanın akışkana ısı aktarımı açısından daha uygun olacağı sonucunu getirmektedir.

Şekil 4'te, ayrıca, denklem 18 kullanılarak geçici rejimde karşılaşılabilecek farklı akışkan sıcaklıkları için akışkana aktarılabilecek ısı miktarı tüm malzemeler için incelenmiştir. Akışkan sıcaklığı arttıkça sıcaklık gradyanı azalacağından, aktarılan ısı miktarı tüm malzemeler için doğrusal olarak azalmaktadır. Örnek olarak, seçilen nominal çalışma şartlarında, AISI 1010 çeliği için, $T_L=20^\circ\text{C}$ 'de $Q_L=18.8$ W iken, $T_L=100^\circ\text{C}$ 'de $Q_L=0$ W'a doğrusal olarak düşmektedir. Doğruların yatay eksen

kestiği nokta akışkana aktarılan ısı akısının sıfır olduğu noktadır ki bu anda yutucu plaka sıcaklığı o kadar artmıştır ki artık yutulan güneş ışınım enerjisi ile çevreye kaybolan ısı enerjisi birbirine eşit olmuştur. Yani bu nokta ısı denge halidir ve bu andaki akışkan sıcaklığı o çalışma şartlarında elde edilebilecek maksimum sıcaklıktır. Buradaki önemli bir değerlendirme de; Şekil 4'te gösterilen grafik o çalışma şartlarında toplayıcıdaki akışkanın ulaşabileceği maksimum sıcaklığı göstermektedir. Bu durum daha detaylı olarak ileride tartışılmıştır.

Yüksek ısı iletimli malzemelerde, akışkana aktarılan ısı enerjisinde bir artış gerçekleşmektedir. Artan ısı akısı ile birlikte aktarılan ısı enerjisinin artması yanında elde edilebilecek maksimum akışkan sıcaklığı da artmaktadır. Isı akısının $q'=300$ W/m²'den $q'=500$ W/m²'ye çıkması, akışkan sıcaklığını $T_L=80^\circ\text{C}$ 'den $T_L=120^\circ\text{C}$ 'ye yükseltti. Ayrıca, plaka kalınlığının $\delta=1$ mm'den $\delta=0.5$ mm'ye düşürülmesi tüm akışkan sıcaklıkları için aktarılan ısı enerjisinde bir miktar azalma meydana getirdi.

Akışkan sıcaklığındaki (T_L) değişimin, simetri merkezindeki sıcaklığa (T_0) etkisi denklem 17 kullanılarak Şekil 5'teki grafikte gösterilmiştir. Artan T_L ile birlikte, T_0 tüm

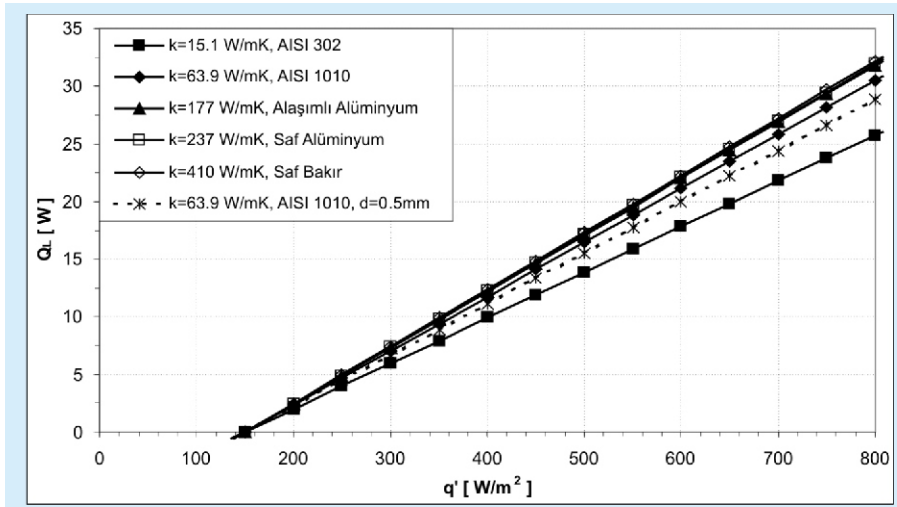


Şekil 5. Simetri Eksenindeki Sıcaklığın Akışkan Sıcaklığına Göre Değişimi

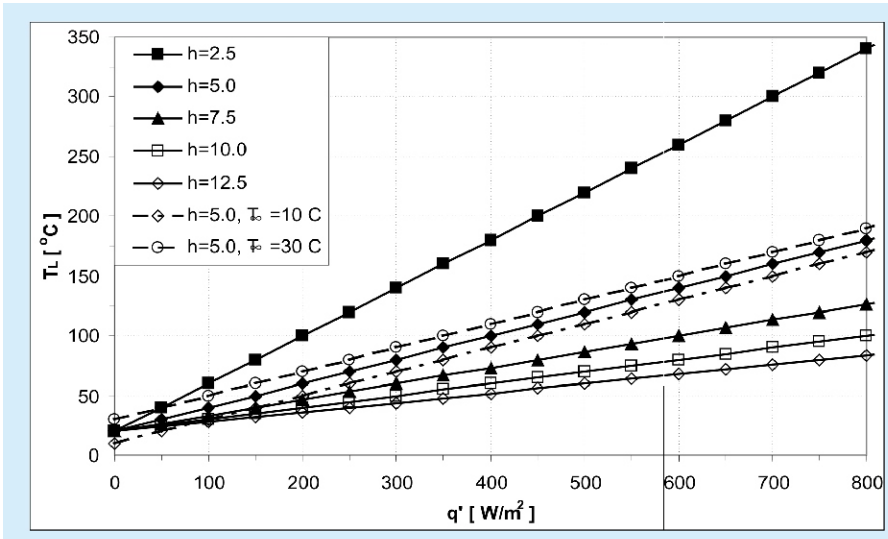
malzemeler için doğrusal olarak artmaktadır. Bu artışta belli bir noktaya kadar T_0 daha yüksek değerlerdedir. Artan yutucu plaka sıcaklığıyla birlikte çevreye olan ısı kaybı da artacağından, artışa devam edilirse belli bir noktadan itibaren ısı transferi yutucu plaka tabanından merkeze doğru gerçekleşir. Bu nokta toplayıcının sınır çalışma noktasıdır. Artan malzeme ısıl iletkenliği ile merkez sıcaklığında bir miktar düşme gözlenmiştir. Artan ısı akısı ve ince plaka kullanılması merkez sıcaklığını bir miktar yükseltmiştir.

Şekil 6 ve 7'de ise yutucu plaka tarafından yutulan

güneş enerjisi geniş bir aralıkta değiştirilerek sırasıyla akışkana aktarılan faydalı ısı enerjisi ve elde edilebilecek maksimum akışkan sıcaklığı değerlendirilmiştir. Denklem 18 kullanılarak çizilen Şekil 6'da görüldüğü gibi, akışkana aktarılan faydalı ısı enerjisi (Q_u) yutulan güneş enerjisinin (q') doğrusal bir fonksiyonudur. Akışkana ısı aktarımı çevreye olan ısı kayıplarından dolayı belirlenen nominal çalışma şartlarında, ancak belli bir (q') değerinden itibaren başlayabilmektedir. Bu değer incelenen nominal şartlarda $q' = 150 \text{ W/m}^2$ olarak gerçekleşmiştir. Artan ısı iletim katsayısı, Q_u 'yi tüm q' değerlerinde bir



Şekil 6. Akışkana Aktarılan Faydalı Isı Enerjisinin Yutulan Güneş Enerjisine Göre Değişimi



Şekil 7. Akışkan Sıcaklığının Yutulan Güneş Enerjisine Göre Değişimi.

miktar artırmıştır. Yutucu plakanın inceltilmesi ise Q_c 'nin bir miktar düşmesine sebep olmuştur.

Denklem 19 kullanılarak, Şekil 7'de yutulan ısı akısına (q') bağlı olarak elde edilebilecek maksimum akışkan sıcaklığının (T_f) grafiği farklı ısı kayıp katsayıları (h) için oluşturulmuştur. Bu grafik, toplayıcının devrede kalma sınırını göstermektedir. Artan q' değerleri ile birlikte akışkan sıcaklığı doğrusal olarak artmaktadır. Bu artış yüksek ısı kayıp katsayıları için daha yavaş gerçekleşmektedir. Örnek olarak elde edilen maksimum sıcaklık $q'=600 \text{ W/m}^2$ ve $h= 10 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ iken 80°C civarındadır.

GENEL DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Gerçekleştirilen ısıl analiz ile toplayıcının yutucu plakası üzerindeki sıcaklık ve ısı transfer mekanizması açık şekilde formülize edildi ve nominal çalışma şartları ve dizayn parametreleri için değerlendirildi. Elde edilen denklemler farklı dizaynlar için herkes tarafından kullanılabilir açık formlarda verildi. Yapılan değerlendirmelerden elde edilen bazı önemli sonuçlar şunlardır.

- Yüksek ısı iletimli yutucu plaka malzemesi ısıyı akışkana daha verimli iletmenin yanında yutucu plaka sıcaklığını da düşük seviyelerde tutarak çevreye olan ısı kayıplarını azaltmaktadır.
- İnce yutucu plakanın ısıl iletim direncini artırması ve yükselen plaka sıcaklığı ile birlikte çevreye olan ısı kayıplarının artması sonucu; akışkana aktarılan ısı enerjisi miktarında azalma meydana geldi. Kalın yutucu plaka akışkana ısı aktarımı açısından daha uygun sonuç vermektedir.

- Toplayıcıda elde edilen faydalı ısı enerjisinin kullanılabilirliğini belirleyen, pratik çalışma şartlarında ulaşılabilecek maksimum akışkan sıcaklığı, güneş ışınım şiddetinin fonksiyonu olarak elde edildi. Güneşten yutucu plaka üzerine gelen ışınım miktarı arttıkça sıcaklık değerinin arttığı gözlemlendi.

SEMBOLLER

A	Yutucu plaka ısı iletim alanı (m^2)
A_f	Toplayıcı alanını (m^2)
C_1, C_2	İntegral sabitleri
h	Toplam ısı kayıp katsayısı ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)
H_{da}	Saydam örtüden çevreye olan ısı taşınım katsayısı ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)
I	Anlık ışınım şiddeti (W/m^2)
k	Isı iletim katsayısı ($\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$)
K_{alt}	Yutucu plakanın alt yüzeyinden olan ısı kayıp katsayısı ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)
$K_{üst}$	Yutucu plakanın üst yüzeyinden olan ısı kayıp katsayısı ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)
k_y	Yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı ($\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$)
L	Borular arasındaki yutucu plakanın uzunluğu (m)
L_y	Yalıtım malzemesi kalınlığı (m)
N	Saydam örtü sayısı
q'	Yutucu plaka üzerine gelen güneş ışınımı (W/m^2)
Q_d	Depolanan enerji (W)
Q_f	Faydalı enerji (W)
Q_k	Çevreye kaybolan enerji (W)
Q_L	Akışkana aktarılan ısı miktarı (W/m^2)
S	Toplayıcı eğimi ($^\circ$)
T_∞	Çevre sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)

T_0	Simetri eksenindeki sıcaklık (°C)
T_L	Kanat tabanındaki akışkan sıcaklığı (°C)
T_y	Yutucu yüzey sıcaklığı (°C)
V	Rüzgar hızı (m/s)
w	Akış doğrultusunda toplayıcı uzunluğu (m)
δ	Yutucu plaka kalınlığı (m)
ϵ_L	Yutucu yüzeyin ışınım neşretme oranı
ϵ_s	Saydam örtünün ışınım neşretme oranı
σ	Stefan - Boltzman sabiti ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$)
θ	Normalize edilmiş sıcaklık [$= (T - T_{\infty})$] (°C)
$(\tau\alpha)$	Toplayıcının optik verimini (yutma-geçirme katsayısını)

KAYNAKÇA

1. **Kılıç, A., ve Öztürk, A.**, "Güneş Enerjisi," Kıpış Dağıtımçılık, İstanbul, 1983
2. **Kılıç, A., ve Öztürk, A.**, "Güneş Işınımı ve Düz Toplayıcılar," Segem Yayınları, Ankara, 1984
3. **Uyarel, A. Y., ve Öz, E. S.**, "Güneş Enerjisi ve Uygulamaları," Emel Matbaacılık, Ankara, 1987
4. **Hsieh, J. S.**, "Solar Energy Engineering," Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1986
5. **Atagündüz, G.**, "Güneş Enerjisi Temelleri ve Uygulamaları," Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir, 1989
6. **Tıns, Ç., ve Tıns, M.**, "Düzlemsel Güneş Kolektörlerinin Verimini Artıran Parametreler," T.M.M.O.B. Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı no. 26, Sayfa 35-40, 1996
7. **Ağı, S., ve Günerhan, H.**, "Sıvı Düzlemsel Güneş Kolektörlerinde Verim Artırma Olanakları," T.M.M.O.B. Makina Mühendisleri Odası, VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, (Ek Bildiri), Yayın No: E/2003/328-1, Sayfa 675-692, İzmir, 8-11 Ekim 2003.
8. **Kazeminejad, H.**, "Numerical Analysis of Two Dimensional Paralel Flow Flat-Plate Solar Collector," Renewable Energy, Vol. 26, pp. 309-323, 2002
9. **Kundu, B.**, "Performance Analysis and Optimization of Absorber Plates of Diferent Geometry for a Flat- Plate Solar

Collector: A Comparative Study," Applied Thermal Energy, Vol. 22, pp. 999-1012, 2002

10. **ElAdawi, M. K.**, "New Approach to Modelling a FlatPlate Collector: The Fourier Transform Technique," Renewable Energy, Vol. 26, pp.489-506, 2002
11. **Eisenman, W., Vajen, K., and Ackermann, H.**, "On the Correlations Between Collector Efficiency Factor and Material Content of Paralel Flow FlatPlate Solar Collectors," Solar Energy, Vol. 76, pp. 381-387, 2004
12. **Cristofari, C., Notton, G., Poggi, P., and Louche, A.**, "Modelling and Performans of a Copolymer Solar Water Heating Collector," Solar Energy, Vol. 72, No.2, pp.99-112, 2002
13. **Incropera, F. P., and De Witt, D. P. (Çeviren: Derbentli, T., ve diğerleri)**, "Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri," Dördüncü Basımdan Çeviri, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 2001

*Daha Etkin
Bir ODA için
Üyelik
Aidatlarımızı
YATIRALIM*