
TASARIM PARAMETRELERİNİN PARABOLİK OLUK TİPİ BİR GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜNÜN PERFORMANSINA ETKİSİ

*Ahmet ÇAĞLAR**
İbrahim Barış TALAY

Alınma: 07.06.2018 ; düzeltme:06.03.2019 ; kabul: 12.03.2019

Öz: Buhar türbini kullanarak güneş enerjisinden elektrik üretmek için yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyulmaktadır. Yüksek ve orta sıcaklık uygulamalarında genellikle yoğunlaştırıcı güneş enerjisi sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemlerden en yaygın kullanılanı parabolik oluk tipi güneş kollektörleridir. Bu tip kollektörlerde, parabolik bir oluk üzerine yerleştirilen yansıtıcı yüzeye düşen güneş ışınları, yansıtıcının yerleştirildiği parabolün odak noktasında yer alan bir alıcı (yutucu) boruya yansıtılarak yoğunlaştırma yapılmaktadır. Böylece alıcı boruda ve bu borunun içinden geçen akışkanda yüksek sıcaklıklar elde edilmektedir. Bu çalışmada, parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcılar üzerine teorik bir araştırma yapılmıştır. Parabolik oluk tipi kollektörlerin toplayıcı kısmı için farklı malzemeler ve geometriler kullanılarak karşılaştırmalı bir performans analizi yapılmıştır. Çalışmada dört tasarım parametresi kullanılmıştır. Bunlar cam örtü çapı, emici boru et kalınlığı, emici boru çapı ve emici boru malzemesidir. Farklı parametre değerlerinin kollektörün performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Performans kriteri olarak yutucu içerisinden geçirilen akışkana aktarılan faydalı ısı kullanılmıştır. Sonuçlar emici boru çapı ve malzemesinin ısıl performans üzerinde kayda değer bir etkisi olduğunu, diğer taraftan emici boru et kalınlığı ve cam örtü çapının ısıl performans kayda değer bir etkisi olmadığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Parabolik oluk tipi kollektör, Tasarım parametreleri, Performans analizi

Effect of Desing Parameters on the Performance of a Parabolic Trough Solar Collector

Abstract: High temperatures are required for electricity generation by solar energy using steam turbine. Concentrated solar energy systems are generally used for medium and high temperature applications. From these systems, parabolic trough type solar collectors have the most common use. In these collectors, the insolation falling on a reflective surface placed on a parabolic trough structure is concentrated by reflecting it to a receiver (absorber) tube located at the focal line of the reflector. High temperatures can thus be obtained on the receiver tube and in the fluid passing through it. In this study, a theoretical investigation has been carried out on parabolic trough concentrators. A comparative performance analysis is performed using different absorber materials and geometries for the receiver part of the parabolic trough solar collectors. Four design parameters are used in the study. These are glass cover diameter, absorber tube wall thickness, absorber tube diameter and absorber tube material. The effects of different parameter values on the performance of the collector are examined. As a performance criterion, useful heat gain by the fluid passing through the absorber is used. The results show that the absorber tube

* Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 07058, Antalya
İletişim yazarı: Ahmet Çağlar (acaglar@akdeniz.edu.tr)

diameter and material have a significant influence on the thermal performance while the absorber tube wall thickness and glass cover diameter have not a significant influence on the thermal performance.

Keywords: Solar energy, Parabolic trough type collector, Design parameters, Performance analysis

1. GİRİŞ

Enerji kaynaklarının önemli bir kısmını fosil yakıtlar oluşturmaktadır. Fakat fosil yakıtların artarak kullanımı sonucu ortaya çıkan çevre sorunları, enerji ihtiyacı için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını zorunlu kılmıştır. Ayrıca fosil yakıtların ömürleri ve miktarları sınırlıdır. Özellikle petrol ve kömür gibi fosil yakıtlar, ömürlerinin sonuna yaklaşmaktadır. Teknolojik gelişmelerin artması ve çeşitliliği ile yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi için çalışmalar hız kazanmıştır. Günümüzde güneş enerjisi uygulamaları ile çeşitli enerji ihtiyaçları karşılanabilmektedir ve herhangi bir çevre sorunu oluşmamaktadır. Güneş enerjisi ısı, elektriksel, mekanik veya kimyasal metotlarla diğer enerji çeşitlerine dönüşebilmekte ve depolanabilmektedir. Güneş enerjisi, diğer enerji kaynaklarına göre daha çevrecidir ve yenilenebilir enerji kaynakları arasında en yaygın kullanıma sahip olan enerjidir (Derbentli, 2013).

Güneş enerjisi uygulamaları, ısıtma, soğutma ve elektrik üretimi gibi birçok farklı uygulamayı kapsamaktadır (Kalogirou, 2004). Bu uygulamalarda maliyet ve kullanılacak yer açısından duruma en uygun sistem tercih edilmelidir. Konutlardaki suyun ısıtılması için düz kollektör tipi kullanılırken, buhardan elektrik üretimi için çizgisel odaklama yapan parabolik oluk tipi kollektörler kullanılmalıdır. Parabolik oluk tipi kollektörlü sistemlerin amacı güneş enerjisi sistemlerinden daha fazla verim alabilmektir. Düz kollektörlü güneş enerjisi sistemlerinin gün ışığından yeterince faydalanamadığı düşüncesiyle ilk olarak ortaya çıkmış bir sistemdir.

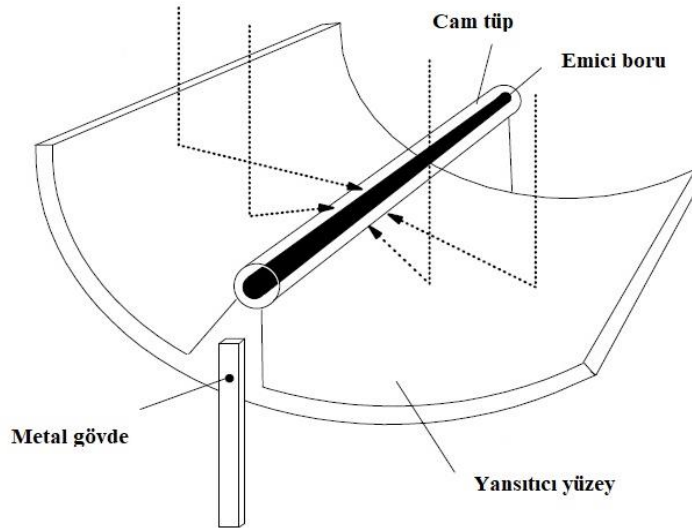
Parabolik kollektörlerle ilgili literatürde çok sayıda çalışma mevcuttur. Eltez (1986) yaptığı çalışmada, sabit yansıtıcı çizgisel odaklı bir kule projesi kapsamında yansıtıcı (odaklayıcı) yüzeyin şekillendirilmesini araştırmıştır. Güneş azimut ve yükseklik açısındaki günlük değişimleri, kule üzerindeki alıcıya çok fazla hareketli elemana gerek kalmadan yansıtan, böylece çizgisel odaklamaya olanak sağlayan bir uzay yüzeyi üzerindeki ışınım ile ısı transferinin optik ve geometrik analizini yapmıştır. Çolak (2003), güneşi takip edebilen parabolik oluk tipi bir güneş kollektörünün tasarımını, matematiksel modellemesini ve optimizasyonunu yapmıştır. Diğer bir çalışmada, farklı seçici yüzey ve emici boru malzemelerinin ısı performans etkileri incelenmiştir (Öztürk ve diğ., 2009). El Fadar ve diğ. (2009) parabolik oluk tipi kollektörler ile soğutma sistemi tasarlamışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre parabolik oluk tipi kollektör ile düz kollektörlerden daha yüksek performansa ulaşılmıştır. Nanoakışkan katkılı su kullanılarak yapılan bir çalışmada ise nanoakışkanın parabolik güneş kollektörünün ısı performansı üzerine etkisi incelenmiş, nanoakışkan kullanılan kollektörün saf suya göre daha iyi performans sergilediği belirtilmiştir (Ghasemi ve Ranjbar, 2016).

Bu çalışmada parabolik oluk tipi bir güneş kollektörünün tasarıma dayalı performans analizi yapılmıştır. Emici boru geometrisi ve malzemesi üzerinde değişiklikler yapılarak, sistemde kullanılan akışkana aktarılan ısı enerjisi farklı güneş ışınımı miktarları için hesaplanmıştır. Böylece parabolik bir güneş yoğunlaştırıcısı sistemi için tasarım parametrelerinin performansa etkisi incelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Parabolik oluk tipi bir güneş kolektörünün yapısı Şekil 1’de verilmektedir. Şekil 1’de görüldüğü gibi, bir parabolik kolektör başlıca yansıtıcı yüzey, emici boru, cam tüp ve sistemi ayakta tutan bir gövdeden ibarettir.

Bu çalışma, tasarıma dayalı performans analizini kapsadığından çalışma şartları sabit tutulmak suretiyle tasarım parametreleri değiştirilmiş ve farklı tasarımların kolektör performansına etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada incelenen tasarım parametreleri, emici borunun (absorber) malzemesi, çapı ve et kalınlığı ile cam örtünün çapıdır. Tasarımların birbiriyle karşılaştırılmasında, ısıl performans kriteri olarak gelen güneş ışınımından akışkana aktarılan faydalı ısı ele alınmıştır. Aşağıdaki kısımlarda emici boru ve cam örtünün tasarımıyla ilgili detaylar verilmiştir.

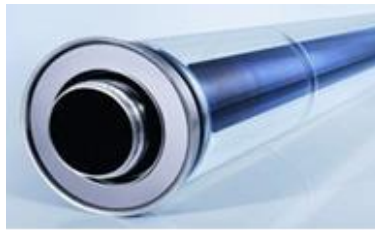


Şekil 1:

Parabolik oluk tipi güneş kolektörünün yapısı

2.1. Parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcının emici boru ve cam örtü tasarımı

Güneşten gelen ışınlar, parabolik şekle sahip yansıtıcı yüzeyden sistemin odağında yer alan toplayıcı kısma yoğunlaştırılır. Toplayıcı kısım, selektif (seçici) yüzeyle kaplı emici boru ve cam örtüden meydana gelmektedir (Şekil 2). Toplayıcı kısmın tasarımı yapılırken parabolik sistemin yoğunlaştırma oranı, işletme koşulları, emici boru içinden geçen ısı transfer akışkanının özellikleri ve sistemin ısıl kapasitesi dikkate alınmalıdır.



Şekil 2:

Emici boru ve cam örtü

2.1.1. Isı emici boru tasarımı

Emici boru tasarımında boru çapının belirlenmesi bir optimizasyon problemidir. Daha fazla güneş ışınımı alması için boru çapı büyük seçilmelidir. Ancak bu durumda borunun kesit alanı büyüyecek ve yansıtıcı yüzeye düşen boru gölgesi genişleyerek yoğunlaştırma oranı azalacaktır. Diğer taraftan borunun dış yüzey alanının büyümesi ile çevreye olan ısı kayıpları da artacaktır. Boru çapı küçük seçilirse boru içi akışın türbülanslı hale getirilmesi sağlanır ve boru dış yüzey alanının küçülmesi ile çevreye olan ısı kayıpları azalır. Diğer yandan odağa yoğunlaştırılan güneş ışınımını yakalamak zorlaşacak ve hassas bir odaklama yapılmazsa emici boruya yansıtılan enerji miktarı azalacaktır. Özetle boru çapı büyük seçilirse optik verim artarken ısı verim düşmekte, boru çapı küçük seçilirse optik verim azalırken ısı verim artmaktadır. Ayrıca kullanılacak emici boru malzemesinin, güneş ışınlarını yansıtıcılık, yutuculuk veya soğuruculuk değerleri göz önüne alınarak seçilmesi de önemlidir. Emici boru malzemesinin yutuculuk değeri mümkün olduğu kadar büyük olması gerekirken yansıtıcılık değerinin mümkün olduğu kadar küçük olması gerekmektedir. Bu yüzden emici boru tasarımında malzeme ve çap için en uygun (optimum) değerler belirlenmelidir.

2.1.2. Cam örtü tasarımı

Parabolik sistemlerde cam örtü ısı kayıpları azaltmak için kullanılır. Parabolik yansıtıcı yüzeylerden emici boruya yoğunlaştırılan güneş ışınları emici borunun ısınmasına neden olur. Sıcaklığı yükselen emici borudan çevreye ısı transferi olmaya başlar. Emici borudan çevreye olan ısı transfer miktarı ne kadar fazla olursa ısı transfer akışkanına aktarılan enerji de o oranda düşmektedir. Bu istenmeyen bir durumdur. Bu durumu önlemek için emici boru çevresi cam örtü ile çevrelenir. Böylece ısı kayıpları azaltılmış olur.

2.2. İncelenen tasarım parametrelerinin seçimi

Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcılarının tasarıma dayalı performans analizi dört farklı tasarım parametresi için yapılmıştır. Bunlardan ilkinde cam örtü çapı değiştirilmiş ve farklı çaplardaki cam örtünün faydalı ısı üzerindeki etkisi incelenmiştir. İkinci analizde, emici borunun et kalınlığı değiştirilerek akışkana aktarılan faydalı ısı miktarı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Üçüncü analizde emici boru-cam arasındaki vakumlu kısmın kalınlığını sabit tutacak şekilde hem emici borunun hem de cam örtünün çapları birlikte artırılarak büyük emici boru çapına sahip kollektörün ısı performansı incelenmiştir. Son analizde ise emici boru malzemesi değiştirilerek farklı boru malzemelerinin ısı performans üzerindeki etkisi incelenmiştir. Tüm analizlerde işletimsel parametreler ve değiştirilen parametreler dışındaki diğer tüm tasarımsal parametreler sabit tutulmaktadır. Bununla birlikte, her bir analiz, gelen ışınım şiddetinin üç farklı değeri için tekrarlanmıştır. Böylece ışınım şiddetinin etkisi de incelenmiş olmaktadır. Tasarımlarda kullanılan parametre değerleri Tablo 1’de özetlenmiştir.

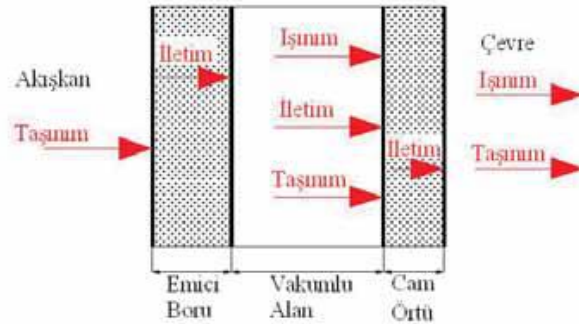
Tablo 1. Hesaplamalarda kullanılan parametreler

	İncelenen Tasarım Parametresi			
	Cam Örtü Çapı	Emici boru et kalınlığı	Emici boru çapı	Emici boru malzemesi
Emici boru malzemesi	Paslanmaz Çelik	Paslanmaz Çelik	Paslanmaz Çelik	Paslanmaz Çelik ve Bakır
Emici boru dış çapı	60 mm	60 ve 74 mm	60 ve 90 mm	60 mm
Emici boru iç çapı	54 mm	54 mm	54 ve 84 mm	54 mm
Emici boru et kalınlığı	3 mm	3 ve 10 mm	3 mm	3 mm
Emici boru ısı iletkenlik katsayısı	16 W/mK	16 W/mK	16 W/mK	16 ve 380 W/mK
Cam örtü çapı	90 ve 120 mm	90 mm	90 ve 120 mm	90 mm

Analizlerde cam örtü sıcaklığı 55 °C olarak kabul edilmiştir. Zorlanmış taşınım hesaplarında kullanılacak Reynolds sayısı için gerekli ortalama sıcaklık değeri bu kabul ile hesaplanmıştır. Analizler Antalya ili Mayıs ayı için yapılmış olup, ortalama ortam sıcaklığı (T_{∞}) 20,5 °C olarak alınmıştır. Belirlenen bu cam örtü sıcaklığı ve ortam sıcaklığı için, hesaplamalarda kullanılacak olan ortalama sıcaklık değeri (T_{ort}) 37,75 °C olarak bulunmuştur. Bu nedenle, hesaplamalarda havanın termofiziksel özellikleri yaklaşık 310 K için alınmıştır. Antalya ili Mayıs ayı 10 yıllık ortalama rüzgar hızı 2,86 m/s'dir. Emici boru boyu 2 m, yüzey sıcaklığı (T_r) 220 °C olarak seçilmiştir. Akışkan giriş sıcaklığı (T_i) ise 200 °C alınmıştır. Cam örtü için ısıl iletkenlik katsayısı 0,0265 W/mK olarak alınmıştır. Akışkanın kütleli debisi ve ısıl kapasitesi ise sırasıyla 0,06 kg/s ve 2250 J/kgK olarak sabit tutulmuştur.

2.3. Isıl Analiz

Bir parabolik güneş kolektörünün emici borusundan geçen ısı transfer akışkanından çevreye olan ısı transferi (kayıp) türleri aşağıda Şekil 3'de gösterilmektedir. Akışkana aktarılan net ısı transferi, güneşten gelen ışımanın bu kayıplardan farkı alınarak hesaplanır.

**Şekil 3:**

Akışkandan çevreye olan ısı transfer şeması (Öztürk ve diğ., 2009)

Isıl kayıpları hesaplarırken, her tasarım için toplam ısı transfer katsayısının ayrı ayrı bulunması gereklidir. Toplam ısı transfer katsayısı, taşınım ve ışınlım ısı transfer katsayılarının bir fonksiyonudur. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcılarının ısıl analizinde, vakumlu alandaki iletimle ve taşınım ile olan ısı transferi ile cam örtüden iletimle olan ısı transferi miktarı ihmal edilebilecek kadar küçük olduğundan hesaba katılmazlar. Geriye kalan iki taşınım, iki ışınlım ve bir de iletim olmak üzere beş adet ısı transfer katsayısı hesaba katılır. Emici borudan

dış ortama kadar olan kısımda toplam ısı transfer katsayısı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır (Duffie ve Beckman, 1991):

$$U_L = \left[\frac{A_r}{(h_w + h_{r,c-a})A_a} + \frac{1}{h_{r,r-c}} \right]^{-1} \quad (1)$$

Yukarıdaki eşitlikte belirtilen taşınım (h_w) ve ışıyım ($h_{r,c-a}$, $h_{r,r-c}$) ısı transferi katsayıları aşağıdaki bağıntılar yardımıyla bulunabilir (Duffie ve Beckman, 1991):

$$h_w = Nu \frac{k_c}{d_c} \quad (2)$$

$$h_{r,c-a} = 4\varepsilon_c \sigma T_{ort}^3 \quad (3)$$

$$h_{r,r-c} = \frac{\sigma(T_r^2 + T_c^2)(T_r + T_c)}{\frac{1-\varepsilon_r}{\varepsilon_r} + \frac{1}{F_{rc}} + \frac{1-\varepsilon_c}{\varepsilon_c} \frac{d_{ro}}{d_c}} \quad (4)$$

Bu denklemlerde $h_{r,c-a}$ ve $h_{r,r-c}$ sırasıyla cam örtü-ortam arasındaki ve emici boru-cam örtü arasındaki ışıyım ile ısı transfer katsayısıdır.

Rüzgar kaynaklı zorlanmış taşınım ile ısı transfer katsayısının hesabı için aşağıdaki bağıntılarla sırasıyla Re, Pr ve Nu sayıları hesaplanır (Duffie ve Beckman, 1991):

$$Re = \frac{Vd_c}{\nu} \quad (5)$$

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (6)$$

$$Nu = 0,023 Re^{4/5} Pr^{0,3} \quad (7)$$

Nu sayısı bulunduğundan sonra, Eş. (2) yardımıyla h_w taşınım ile ısı transfer katsayısı hesaplanır. Akışkandan emici boruya aktarılan ısı miktarının da dikkate alınmasıyla, akışkana aktarılan toplam ısı kazançlarının bulunmasında kullanılan kollektör verim faktörü (F') ifadesi aşağıdaki gibi hesaplanır (Duffie ve Beckman, 1991):

$$F' = \frac{1/U_L}{\frac{1}{U_L} + \frac{d_{ro}}{h_i d_{ri}} + \left(\frac{d_{ro}}{2k_r} \ln\left(\frac{d_{ro}}{d_{ri}}\right) \right)} \quad (8)$$

Kollektör akış faktörü (F'') ise aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$F'' = \frac{\dot{m}c_p}{A_r U_L F'} \left(1 - e^{-\frac{A_r U_L F'}{\dot{m}c_p}} \right) \quad (9)$$

Sonuç olarak kollektörün ısı kazanç faktörü (F_R) ve buna bağlı olarak akışkana aktarılan faydalı ısı miktarı aşağıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplanır:

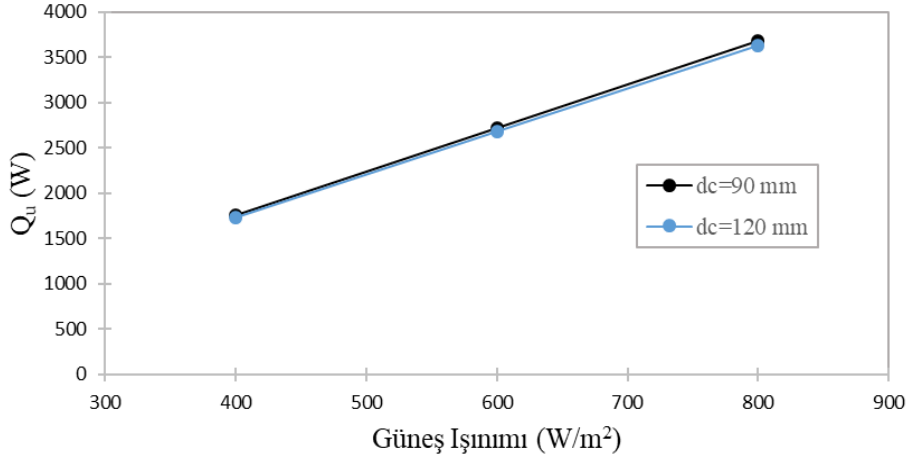
$$F_R = F'' F' \quad (10)$$

$$Q_u = A_a F_R \left[S - \frac{A_r U_L}{A_a} (T_i - T_\infty) \right] \quad (11)$$

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tasarım parametrelerinin ısı performansına etkisini analiz etmek için, her bir parametreye dair ısı transfer katsayıları ve ısı kazanç katsayısı ayrı ayrı hesaplanmış ve akışkana aktarılan faydalı ısı miktarları belirlenmiştir. Böylece iki durum arasındaki farklılıklar faydalı ısı değerleri esas alınarak karşılaştırılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır.

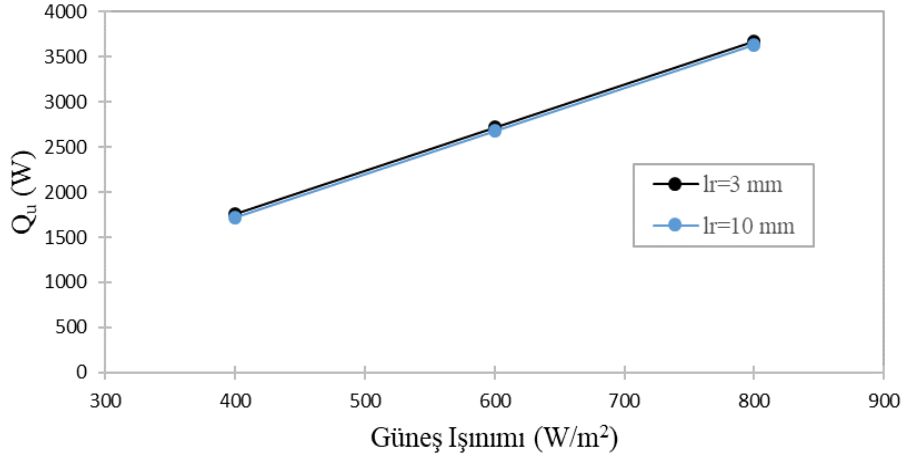
İlk tasarım parametresi olarak cam örtü çapı ele alınmıştır. Farklı cam örtü çaplarında ve farklı güneş ışınımı şiddetinde elde edilen faydalı ısı miktarlarına ait sonuçlar Şekil 4'te verilmiştir. Cam örtü çapının ve buna bağlı vakum kalınlığının ısı performansına dikkate değer bir etkisi olmadığı görülmektedir. Öte yandan artan ışınım ile birlikte faydalı ısı da doğrusal olarak arttığı görülmektedir.



Şekil 4:

Farklı cam örtü çapları ve ışınım şiddetleri için faydalı ısının değişimi

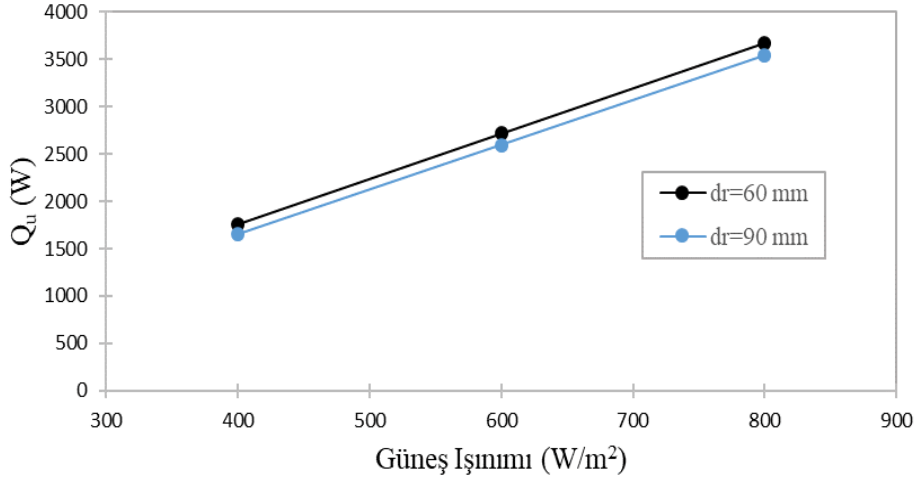
İkinci tasarım parametresi olan emici boru et kalınlığının ısı performans üzerindeki etkisi Şekil 5'te görülmektedir. Emici boru et kalınlığının da dikkate değer bir etkisi olmamakla birlikte, et kalınlığı arttıkça ısı performansın bir miktar düşme eğilimi gösterdiği anlaşılmaktadır. Buna iletimle olan ısı kayıplarının artması neden olmaktadır.



Şekil 5:

Farklı emici boru et kalınlıkları ve ışınım şiddetleri için faydalı ısının değişimi

Diğer bir parametre olan emici boru çapının etkisi Şekil 6'da görülmektedir. Emici boru çapı artırılırken cam örtü çapı da artırılmış ve böylece vakum kalınlığı sabit tutulmuştur. Emici boru çapı arttıkça ısı transferinde azalma meydana gelmiştir. Çapın artmasıyla emici boruya gelen ışınım miktarı ve böylelikle optik verim artmıştır. Fakat diğer yandan artan yüzey alanı ile birlikte kayıplar da artmış, ısı verim veya ısı performans düşmüştür.

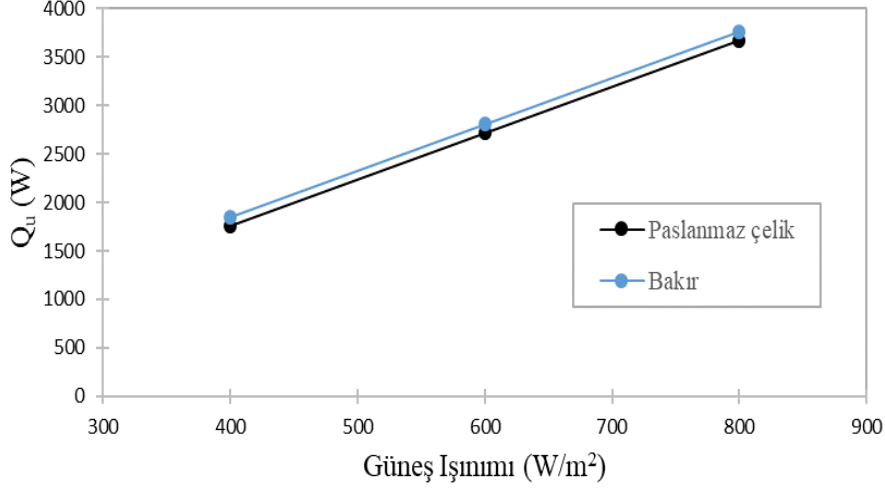


Şekil 6:

Farklı emici boru çapları ve ışınım şiddetleri için faydalı ısının değişimi

Emici yüzey malzemeleri olarak genellikle alüminyum, bakır ve paslanmaz çelik kullanılır. Bu malzemelerin içinde piyasada en çok bulunanı çeliktir. Bakırın ısı iletim katsayısı yüksek fakat diğer malzemelere göre daha pahalı ve korozyona karşı daha az dirençlidir. Alüminyumun da başka bir metalle birleşmesi zordur. Emici borunun yutuculuğunu artırmak amacıyla üzeri selektif malzemelerle kaplanır. Selektif malzemeler yansıtıcılığı düşük, yutuculuğu yüksek malzemelerdir. Kısa dalga boylu ışınların neredeyse tamamını soğururken, bununla birlikte uzun dalga boylu ışınları olabildiğince az yayan yüzeylere sahiptirler. Emici boru kaplama işlemi, elektroliz kaplama, püskürtme yöntemi veya kimyasal banyo ile kaplama yöntemiyle olur. Parabolik sistemin ısı veriminin artırılmasında emici borunun selektif malzemelerle kaplanması büyük önem taşır. Emici boru malzemesinin yutuculuk değerinin yüksek, yansıtma

değerinin düşük olması istendiğinden, teknik ve ekonomik durumlar dikkate alınarak emici boru malzemesi seçilmelidir. Şekil 7’de krom kaplı iki farklı emici boru malzemesi için faydalı ısı miktarının değişimi gösterilmektedir.



Şekil 7:

Farklı emici boru malzemeleri ve ışınım şiddetleri için faydalı ısının değişimi

Bakır borunun beklendiği üzere daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Bakır borunun ısı iletim katsayısı paslanmaz çeliğe göre oldukça yüksek olduğundan güneşten gelen ışınları akışkana daha fazla aktarabilmektedir. Işınımın artmasıyla faydalı ısı da doğrusal olarak artmakta yüksek ışınım değerlerinde daha yüksek enerji elde edilmektedir.

4. SONUÇ

Yapılan bu çalışmada bir parabolik oluk tipi güneş kollektörünün tasarımsal parametrelerinin kollektörün ısı performansına etkileri incelenmiştir. Seçilen ısı performans kriteri akışkana aktarılan faydalı ısı miktarıdır. Tasarım parametreleri ise cam örtü çapı, emici boru et kalınlığı, emici boru çapı ve emici boru malzemesi olarak seçilmiştir. Sonuçlara bakıldığında, ısı performansına etki eden önemli parametrelerin emici boru çapı ve malzemesi olduğu görülmüştür. Emici boru çapı arttıkça akışkana aktarılan faydalı ısı miktarı azalmaktadır. Bakır borunun ise paslanmaz çelikten daha iyi performansa sahip olduğu anlaşılmaktadır. Diğer yandan emici boru et kalınlığı ile cam örtü çapının ısı performansına kayda değer bir etkisi olmadığı belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Çolak, L. (2003) Güneşi takip eden parabolik oluk tipi güneş kollektörlerinin matematiksel modellemesi, tasarımı ve teknik optimizasyonu, *Doktora tezi*, Gazi Üniversitesi, Ankara.
2. Derbentli, T. (2013) Dünyanın ve Türkiye'nin enerji durumu üzerine bir değerlendirme, 2. *Anadolu Enerji Sempozyumu*, 2-4 Mayıs 2013, Diyarbakır.
3. Duffie, J. A. and Beckman, W. A. (1991) *Solar Engineering of Thermal Processes*. Wiley: New York.
4. El Fadar, A., Mimet, A., Azzabakh, A., Perez-Garcia, M. and Castaing, J. (2009) Study of a new solar adsorption refrigerator powered by a parabolic trough collector, *Applied Thermal Engineering*, 29, 1267-1270. doi:10.1016/j.applthermaleng.2008.06.012

5. Eltez, M. (1986) Sabit yansıtıcı-çizgisel odaklı kule projesinde yansıtıcı-odaklayıcı yüzeyin şekillendirilmesi, *Doktora Tezi*, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü, İzmir.
6. Ghasemi, S. E. and Ranjbar, A.A. (2016) Thermal performance analysis of solar parabolic trough collector using nanofluid as working fluid: A CFD modelling study, *Journal of Molecular Liquids*, 222, 159-166. doi:10.1016/j.molliq.2016.06.091
7. Kalogirou, S. A. (2004) Solar thermal collectors and applications, *Progress in Energy and Combustion Science*, 30, 231-295. doi:10.1016/j.pecs.2004.02.001
8. Öztürk, H., Şanlı, G. ve Yılcı, A. (2009) Parabolik oluk tipi güneş kolektörlerinin performans analizi, *Mühendis ve Makina*, 51, 19-28.