

Parabolik Oluk Güneş Kolektörü Isı Transferi Özelliklerinin Alıcı Boruya Kanatçık İlavesi ile İyileştirilmesi

Sezer SEVİM^{1*}, Abdulkadir BEKTAŞ², Ali YURDDAŞ³

^{1,3}Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 45140, Yunusmre, Manisa

²Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 06530, Çankaya, Ankara

¹<https://orcid.org/0000-0003-1535-5392>

²<https://orcid.org/0000-0003-0199-2251>

³<https://orcid.org/0000-0002-4683-142X>

*Sorumlu yazar: sezersevim035@gmail.com

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 13.06.2022

Kabul tarihi:28.06.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Güneş Enerjisi
Parabolik Kolektör
Kanatçık
Alıcı Boru
Isı Transferi İyileştirilmesi

Parabolik oluk güneş kolektörleri güneş enerjisi uygulama alanında oldukça geniş yer tutmaktadır. Düz tip ve vakum tüp kolektörlere göre yüksek odaklanma oranı sayesinde alıcı boru içerisinde geçen ısı transferi akışkanında daha yüksek çıkış sıcaklıkları elde edilebilmekte ve bu yüzden elektrik üretimi vb. yüksek sıcaklık prosesi gerektiren alanlarda kullanılmaktadır. Alıcı boru içerisine kanatçık, türbülötör ilavesi veya alıcı borunun oluklu imal edilmesi ile ısı transferi özelliklerinde ciddi iyileştirmeler elde edilmektedir. Bu çalışmada alıcı boru içerisinde eğrisel kanatçık ilavesi ile akışkana ısı transferi özelliklerinin artışı hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizi ile incelenmiştir. Analizde kullanılan Reynoldss sayı aralığı 3000 ile 21000 arası olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre düz boruya göre altı kanatçıklı boruda Nusselt sayısı en fazla 1,34 kat, oniki kanatçıklı boruda 3,06 kat artış göstermiştir.

Enhancement of Parabolic Trough Solar Collector Heat Transfer Properties by Insert Fins to the Receiver Pipe

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 13.06.2022

Accepted: 28.06.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Solar energy
Parabolic collector
Fin
Receiver Pipe
Enhancement heat transfer

Parabolic trough solar collectors occupy a very large place in the field of solar energy application. Thanks to the higher focusing ratio compared to flat type and vacuum tube collectors, higher outlet temperatures can be obtained in the heat transfer fluid passing through the receiver pipe, and therefore electricity generation etc. It is used in areas that require high temperature processing. Significant improvements in heat transfer properties are achieved by adding fins, turbulators, or corrugated receiving pipe into the receiving pipe. In this study, the increase in heat transfer properties to the fluid with the addition of curvilinear fins in the receiver pipe was investigated by computational fluid dynamics (CFD) analysis. The Reynoldss number range used in the analysis was determined as between 3000 and 21000. According to the results obtained, the Nusselt number increased by 1,34 times in the six-finned pipe and 3,06 times in the twelve-finned pipe compared to the straight pipe.

To Cite: Sevım S., Bektaş A., Yurddaş A. Parabolik Oluk Güneş Kolektörü Isı Transferi Özelliklerinin Alıcı Boruya Kanatçık İlavesi ile İyileştirilmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 1022-1040.

1. Giriş

Dünya üzerinde yaşayanlar olarak ihtiyacımız olan enerjiyi imkan dahilinde üretmekte ve bunun için de genellikle var olan fosil yakıtları kullanmaktayız. Fosil yakıt rezervlerin tükenme tehlikesiyle karşı karşıya olması ve aşırı kullanılması sebebiyle sera gazı emisyonlarını artmasına ve dolayısıyla küresel

küresel ısınmaya sebep olması bizleri çevre açısından en uygun ve karbon ayak izi çok düşük seviyelerde olan yenilenebilir enerjiyi kullanmaya yönlendirmektedir.

Günümüzde modern sanayi ülkeleri, yenilenemeyen enerjinin gün geçtikçe tükeniyor olmasından dolayı ısıtma, soğutma, tuzdan arındırma, küçük veya büyük ölçekli elektrik üretimi gibi farklı uygulamalar için yenilenebilir enerji kullanımına yönelmişlerdir (Jebasingh ve ark., 2016).

Yenilenebilir enerji uygulamaları arasında güneş enerjisi oldukça popüler hale gelmiştir. Güneş enerjisinden termal olarak faydalanabilmek için farklı sıcaklık aralıkları için farklı tipte kolektörler modellenmiş, dizayn edilmiş, üretilmiş ve test edilmiştir. Düşük sıcaklık kolektörleri olarak düz tip kolektörde 30-80 °C, boşaltılmış vakum tüp kolektörde 50–200 °C, birleşik parabolik kolektörde 60–240 °C, orta sıcaklık aralığında fresnel tipi kolektörde 60–250 °C, silindirik oluk tipinde 60–300 °C, parabolik oluk tipinde 60–400 °C ve yüksek sıcaklık aralığında parabolik çanak tipinde 100–1500 °C, heliostat tipi kolektörde 150–2000 °C sıcaklıklara erişilmiştir. Termal enerji elde edilmesi ve buhar üretimi için güneş kolektörleri arasında parabolik oluk tipi en popüler kolektördür (Manikandan ve ark., 2019).

Parabolik oluk tipi kolektörün odak noktasında bulunan alıcı boruda ısı transferi iyileştirmesi için başlıca üç teknik kullanılır: 1) Aktif metot, 2) Pasif metot ve 3) Birleşik metot.

Aktif metotta manyetik alan ve yüzey titreşimi gibi bir dış kuvvet uygulanır. Pasif metotta ısı transferini arttırmak için harici bir dış kuvvet uygulanmaz. Isı transferi özelliklerini arttırmak için alıcı boru içerisine özel olarak tasarlanmış disk, tel şerit, bükülmüş bant şerit, metal sünger vb. yapılar eklenerek ısı sınır tabaka kalınlığı azaltılarak boru iç duvarına yakın bölgede türbülans ve hız gradyanı artırılır. Birleşik metotta ise hem aktif hem de pasif metot birlikte kullanılır (Akbarzadeh ve ark., 2018).

Bahsedilen yöntemler haricinde alıcı borudaki ısı transferi özelliklerinin artırılması için başka yöntemler de uygulanmaktadır. Bu yöntemler arasında en çok kullanılan iyileştirme yöntemleri sırasıyla ısı transferi akışkanına nano partikül ilavesiyle elde edilen nano akışkanların kullanılması, alıcı boru yüzeyine farklı kaplama yöntemleri ile yüzey emiciliğinin artırılması denilebilir (Chekifi ve ark., 2022).

Konuyla ilgili literatür araştırıldığında parabolik oluklu güneş kolektörlerinde ısı transferi özelliklerinin artırılması için yapılan çalışmalar oldukça fazla sayıdadır. Bu çalışmalarda boru içi kanatçık tasarımları, farklı geometrilere miller kullanılması ve akışkan üzerinde iyileştirmeler gibi başlıca çalışmalar hem deneysel hem de nümerik olarak ele alınmıştır. Çalışmalarda ısı transfer kabiliyeti, basınç farkları ve sürtünme faktörleri gibi başlıca durumların karşılaştırmaları yapılmıştır.

Bellos ve ark. (2016)'nın yaptıkları çalışmada oluşturulan boru içi yeni geometri ile ortalama verimde %4,55 lik bir artış sağlanırken termal yağ akışkana Al₂O₃ nanopartikül ilavesi ile elde edilen nano akışkan ile %4,25 ortalama verim artışı basınçlandırılmış suda %6,34 ortalama verim artışı elde edilmiştir. Şahin ve ark.(2015)'in yaptıkları çalışmada 3000-17000 Reynolds sayısı aralığında adım sayısı 15mm, 30mm ve 45mm olacak şekilde montajlanan türbülantör sayesinde ısı transferi değerleri düz tipe göre

sırasıyla 2,28, 2,07 ve 1,95 kat daha iyi sonuç elde edilmiştir. Nazir ve ark. (2021)'in yaptıkları çalışmada oluşturulan yeni geometri ile düz boruya göre ortalama Nusselt sayısı oranı önerilen yeni geometride 15,43, referans alınan Chang ve ark. (2018)'in çalıştığı geometriye göre 13, Liu ve ark. (2019)'un çalıştığı geometriye göre ise 6,30 dur. Düz boruya göre sürtünme faktörü oranı ise önceki sırasıyla 11,34 ,10 ve 10,80 dir. Düz boruya göre PEC (hidrotermal performans belirleme kriteri) değeri ise yine önceki sırasıyla 6,87, 6,03 ve 2,85 dir.

Al-Rashed ve ark. (2021)'in yaptıkları çalışmada termal yağ-Al₂O₃-MWCNT (%20-%80) hibrit nano akışkan ve türbülator ihtiva eden tasarım ile parabolik kolektör dizaynında %14 daha az malzeme kullanılacağı görülmüştür. Bellos ve ark. (2018)'in yaptıkları çalışmada parabolik güneş kolektöründe termal verimde artış termal yağ kullanımına karşılık %6 CuO nanoakışkan ilavesi %0,76, kare kanatçıklar ile boru içi oluşturulan kanallar ile olan artış %1,54, her iki tekniğin de beraber kullanıldığı kombine sistemde verim artışı %1,54 olarak belirlenmiştir. Isı transferi iyileşmesine karşılık pompa gücünde meydana gelen artış sadece nano akışkan ilavesinde %31-%48, sadece kanatçık kullanımında %69-%100, hem nanoakışkan ilavesi hem de kanatçık kullanımında ise %143-%179 değerleri arasında artış göstermiştir.

Saedodin ve ark. (2021)'in yaptıkları çalışmada 0,32m/s hızında boruya giren akışkan ile yapılan analizde iki oluklu borudan 8 oluklu boruya doğru elde edilen termal verimlilik düz boruya oranla sırasıyla %6,6, %13,2, %20,6 ve %27,6 daha iyi sonuç vermiştir. Ghasemi ve ark. (2017)'nin yaptıkları çalışmada alıcı boru içerisine delikli flanş parçalar yerleştirilen parabolik güneş kollektöründe flanş parçaların iç çapı küçüldükçe Nusselt sayılarında artış olduğu en iyi ısıl performansın boru iç çapının flanş iç çapına oranı olan 0,8 ve Reynolds sayısı 30000 değerinde elde edilmiştir. Varun ve ark. (2020)'nin yaptıkları çalışmada boru içi orta yoğunluk sarımlı tel örgü türbülator kullanımında elde edilen termal verim (%35-%133), yüksek yoğunluk sarımlıda elde edilen termal verim (%20-%97) değerlerindedir. Bükülmüş şerit çubuk türbülator kullanımında elde edilen termal verim bükme oranı 3,37 olduğunda %2-%56, bükme oranı 7,86 iken %11-%91 olarak elde edilmiştir. Orta yoğunluktaki tel örgü tip türbülator kullanımında Nusselt sayısındaki 2,7 kat artış için pompalama gücünde 1,05 kat artış meydana gelmektedir (192 W ısı verimi artışına karşılık 6 W ek pompalama gücü artışı). Xiangtao ve ark. (2017)'nin yaptıkları çalışmada boru içi yeni geometri eklentileri ile düz boruya oranla ortalama Nusselt sayısında %9'a, ortalama ısı transfer performans faktöründe %12'ye varan bir artış meydana gelmiştir.

Chang ve ark. (2018)'in yaptıkları çalışmada alıcı boru içerisine farklı geometrilerde eksantrik ve konsantrik mil yerleştirilerek yapılan analizlerde PEC sayısının 1,12'den 3,38'e yükseldiği ayrıca eksantrik dizaynda konsantrik dizayna göre daha iyi ısı transfer performansı sergilediği belirtilmiştir. Akbarzadeh ve ark. (2021)'in yaptıkları çalışmada helisel oluklu alıcı boruya sahip parabolik güneş kolektöründe en büyük ısı transferi artışı Reynolds sayısı 2000 değerinde, maksimum PEC değeri 2,76 olarak Reynolds sayısı 2061 iken elde edilmiştir. Rashidi ve ark. (2017)'nin yaptıkları çalışmada boru içerisine helisel bükülmüş şerit çubuğun boru ekseninden kaçık olacak şekilde yerleştirilmesiyle

oluşturulan yeni modelin incelenmesi yapılmış olup farklı Reynolds sayılarında performans değerlendirme kriterinde (PEC) eksantriklik değeri arttırıldığında sırasıyla %33, %16,94, %8,45 ve %7,3 iyileştirmeler elde edilmiştir. Ghadirijafarbeigloo ve ark. (2014)'ün yaptıkları çalışmada bükülmüş kanatçıklı türbülator kullanımı sonucunda Nusselt sayısında farklı Reynolds sayılarına göre düz tip boruya göre %150 ve sadece bükme türbülator kullanımına göre %37 lik bir artış elde edilmiştir. Liu ve ark. (2019)'un yaptıkları çalışmada nervürlü yapılar ile beraber düz boruya göre Nusselt sayısındaki en yüksek artış 1,04 ila 3,21 arasında, alıcı borudaki sıcaklık düşüşü maksimum 177 °C ve boru ısı kaybındaki maksimum artış %80,1 olarak hesaplanmıştır. Farklı Reynolds sayılarına göre elde edilen maksimum PEC sayısı 1,56 ve elde edilen ortalama en iyi ısı verim artışı %1,9 olarak gerçekleşmiştir. Bahiraei ve ark. (2020)'nin yaptıkları çalışmada boru içerisinde eksenel mil üzerine belirli mesafelerde, açılı şekilde yerleştirilmiş konik kanatlar ile elde edilen modelin farklı Reynoldss sayılarında Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü deneysel olarak incelenmiş olup en yüksek Nusselt sayısı artışı bükme açısı 5° ve bükme adım sayısı 2,27 iken elde edilmiş, en yüksek PEC sayısının Reynolds sayısı 460, bükme açısı 5° ve adım sayısı 3 iken elde edilmiştir. Yılmaz ve ark. (2020)'nin yapmış oldukları çalışmada oluşturulan yeni türbülatorlü boruda düz tip boru ile karşılaştırıldığında akışkan debisi 13m³/h den düşük değerlerde 450 K akışkan sıcaklığı girişinde termal verim artışı %1,2, 650K akışkan girişinde termal verim artışı %1,4 olarak görülmüştür. PEC değeri 0,68 ile 0,82 arasında ve ısı transfer performansı artışı da %183 oranında gerçekleşmiştir. Kurşun (2001)'in yapmış olduğu çalışmada düz tip ve sinüzoidal kanatçık ile sırasıyla Nusselt sayısında %28 ve %78 artış elde edilmiştir.

Liu ve ark. (2019)'un yaptıkları çalışmada farklı Reynolds sayılarında ısı kaybındaki azalma maksimum %82,1, Nusselt sayısındaki artış aralığı %45 ila %203, sürtünme faktöründeki artış aralığı 6,17 kat ila 17,44 kat, ortalama termal-hidrolik performans artış aralığı 0,70 ila 1,3 ve termal verimdeki artış aralığı %0,02 ila %5,04, entropi üretimindeki maksimum azalma %74,2 ve ekserji veriminde ulaşılabilecek maksimum iyileştirme %5,7 olarak tespit edilmiştir. Saha ve ark. (2013)'ün yaptıkları çalışmada düz boru ile kıyaslandığında; sabit pompa gücüne karşılık ısı transferindeki artış %32-49 aralığında gerçekleşmiştir.

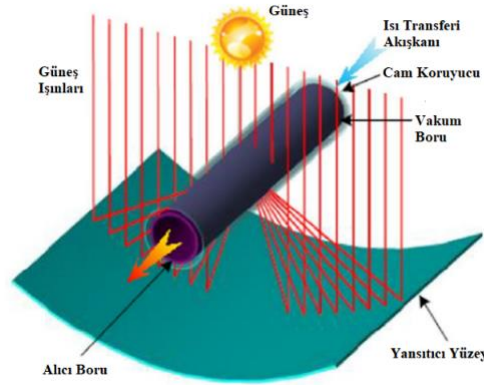
Feizabadia ve ark. (2019)'un yaptıkları çalışmada boru içi eklentiler ile Nusselt sayısında %122,4 ve sürtünme faktöründe %78,4 değerinde artış meydana gelmiştir. Saha ve ark. (2012)'nin yaptıkları çalışmada sürtünme faktöründeki artış %40-%50 aralığında, Nusselt sayısındaki artış ise %80-%100 aralığında gerçekleşmiştir.

Bu çalışmada; alıcı boru içerisine önce sadece güneş ışınlarının toplandığı yansıtıcı yüzeye bakan boru yüzeyinin iç tarafına eşit aralıklar ile altı adet kanatçık ilavesiyle oluşan model ve borunun tüm iç yüzeyine eşit aralıklar ile on iki adet eğrisel kanatçık ilavesi ile meydana gelen model üzerinde oluşan ısı transferi özelliklerinin değişimleri HAD yöntemi ile incelenmiştir. Yapılan analizlerde yeni oluşturulan alıcı boru modellerinde elde edilen Nusselt sayıları, basınç düşümü değerleri ve sürtünme faktörleri değerlerinin düz tip alıcı boruya göre değişimleri araştırılmıştır. Bu çalışmanın diğer

çalışmalardan farkı parabolik oluk güneş kolektöründe bulunan düz tip alıcı borunun farklı bir geometride tasarımı yapılarak boruya ait ısı transferi özelliklerinin iyileştirilmesidir. Yapılan analizlerde boru içi ısı transferi alanlarının arttırılması ile Nusselt sayılarında artış olduğu ve akışkana daha çok ısı aktarıldığı, boru içi sıcaklık dağılımının daha üniform hale geldiği görülmüştür.

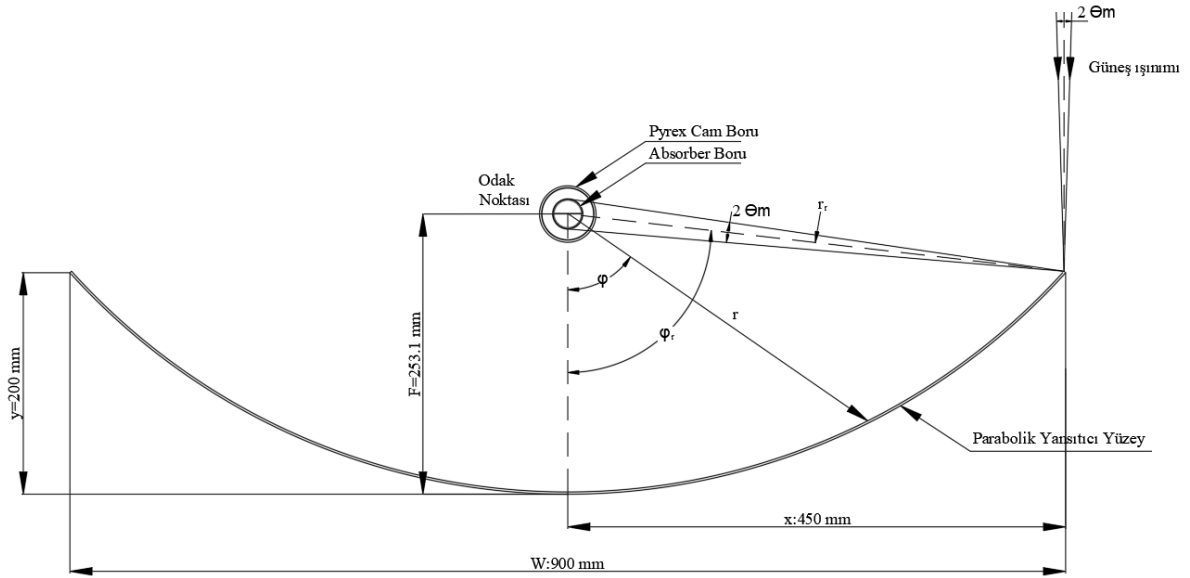
2. Materyal ve Metot

Bir parabolik oluk tipi güneş kolektörü parabolik şekilde bükülmüş sac yansıtıcı malzemeden imal edilir. Güneş ışınlarına doğru yönlendirilen parabolik yansıtıcı yüzey gelen güneş ışınlarını odak noktasındaki alıcı boruya yansıtır. Alıcı boruda toplanan güneş enerjisi alıcı boru içerisindeki ısı transfer akışkanına aktarılır böylece güneş enerjisi faydalı enerjiye dönüştürülmüş olur. (Kalogirou, 2012). Bir parabolik oluk tipi kolektörün şematik görünümü Şekil 1’de gösterilmektedir (Qiu ve ark., 2017).



Şekil 1. Parabolik oluk güneş kolektörü şematik görünümü (Qiu ve ark., 2017)

Şekil 2’de görüldüğü üzere güneş ışınları $0,534^\circ$ genişlik açısına sahip konidir ve parabolik kolektöre yarım kabul açısı θ_m $0,267^\circ$ alınmış olup kolektör kenar açısı $83,2^\circ$ bulunmuştur. Böylelikle yansıtıcıdan alıcı boruya yansıyan güneş ışınlarının boruyu kestiği kenar çizgisi bulunmuştur. Çizginin oluşturduğu düzlem boruyu iki parçaya bölmekte ve güneş ışınları yansıtıcı yüzeye bakan boru alt yüzeyinde toplanmaktadır. Bahsedilen düzlem boru merkez düzleminden $0,46$ mm yukarıdadır. Şekil 2’de görülen kolektör belirtilen ölçülerde katı model programında modellenmiş ve iç akış hacmi oluşturulmuştur (Ercoskun ve ark., 2013).



Şekil 2. Parabolik güneş kolektörü kesiti (Ercoşkun ve ark., 2013)

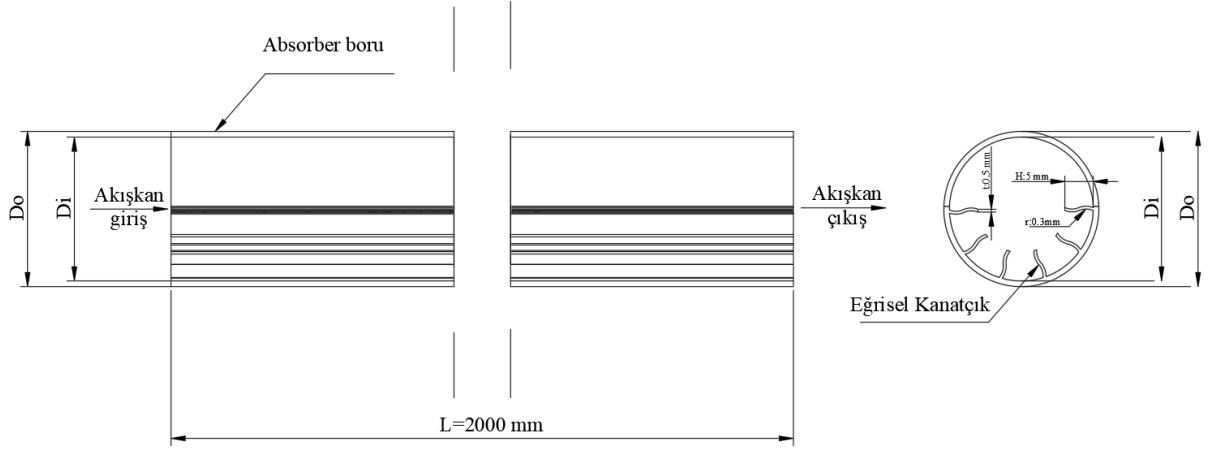
Bu analizde kullanılacak olan parabolik kolektöre ait kesit Şekil 2’de fiziksel özellikler ise Tablo 1’de gösterilmektedir. Yansıtıcı yüzey paslanmaz çelik üzerine yüksek yansıtıcı oranına sahip yüzeyi parlatılmış alüminyum kaplanmıştır. Alıcı boru olarak yüksek termal iletkenliğe sahip bakır boru kullanılmış, üzeri ise yüksek yutucu değerine sahip selektif yüzey kaplanmıştır. Boru ve cam boru arası vakum altına alınmıştır. Kolektör güneşi takip sistemine sahip olup bir saatlik güneş ışınımının tamamını dik olarak almaktadır.

Tablo 1. İncelenen parabolik kolektör fiziksel özellikleri

Yansıtıcı yüzey yay uzunluğu	1250 mm
Yansıtıcı yüzey genişlik (W)	900 mm
Yansıtıcı yüzey uzunluğu (L)	2000 mm
Yansıtıcı yüzey et kalınlığı	2 mm
Kolektör odak noktası	253,1 mm
Alıcı boru iç çapı	25 mm
Alıcı boru dış çapı (D_{bd})	27 mm
Alıcı boru malzemesi	Bakır boru (selektif yüzey kaplı)
Pyrex cam boru iç çapı	47 mm (Et kalınlığı 2 mm)
Alıcı boru malzemesi	Bakır boru (selektif yüzey kaplı)
Yansıtıcı yüzey malzemesi	Paslanmaz çelik sac üzeri yüzeyi parlatılmış alüminyum

Yapılacak olan HAD analizlerinde üç farklı model kullanılmıştır. İlk model düz tip alıcı boruya sahip parabolik kolektör, ikinci model boru içerisinde sadece güneş ışınlarının toplandığı yüzeyin iç kısmına farklı açılarla yerleştirilmiş 6 adet eğrisel kanatçık ilavesiyle oluşturulmuş yeni model en son

olarak da alıcı borunun tüm iç yüzeyine eşit mesafelerde 12 adet eğrisel kanatçık ilavesiyle oluşturulmuş yeni model. Şekil 3'te altı adet eğrisel kanatçık ilavesiyle oluşturulmuş model gösterilmektedir.



Şekil 3. Altı adet eğrisel kanatçık ilavesi ile oluşan alıcı boru modeli

Tablo 2'de analizi yapılacak üç farklı durumun fiziki şartları gösterilmektedir. 1.Durum düz tip alıcı boru, 2.durum altı eğrisel kanatçık ilaveli alıcı boru, 3.durum ise oniki kanatçık ilaveli alıcı boru modelidir.

Tablo 2. Analizde incelenecek model bilgisi

	1.Durum	2.Durum	3.Durum
Boru iç çap (D_i)	25,4 mm	25,4 mm	25,4 mm
Boru dış çap (D_o)	27,4 mm	27,4 mm	27,4 mm
Kanatçık sayısı (n)	-	6 adet	12adet
Kanatçık yüksekliği (H)	-	5 mm	5 mm
Kanatçık et kalınlığı (t)	-	0,5 mm	0,5 mm
Kanatçık eğrisel yarıçap (r)	-	0,3 mm	0,3 mm
Boru uzunluk(L)	2000 mm	2000 mm	2000 mm
Kanatçık uzunluk(L)	2000 mm	2000 mm	2000 mm

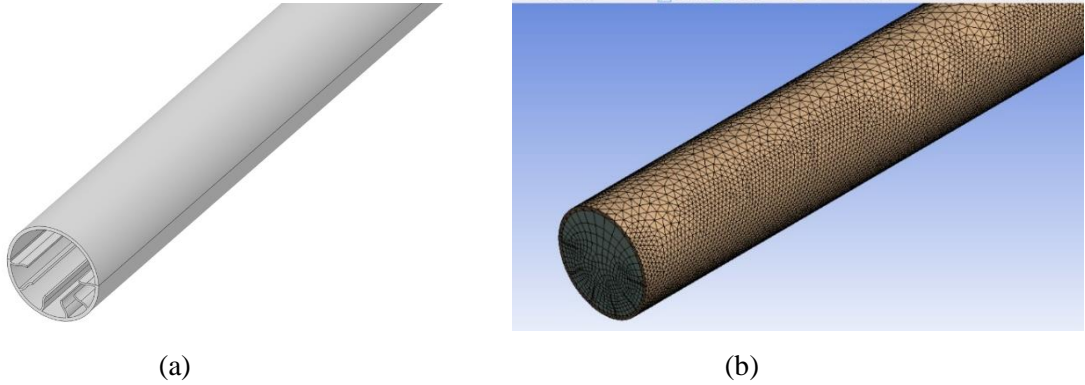
Tablo 3'te analizde kullanılacak olan akışkan ve boru malzemesine ait termofiziksel özellikler, Tablo 4'te de cam boru fiziki özellikleri görülebilir.

Tablo 3. Malzemelerin termofiziksel özellikleri (30 °C)

	Akışkan (su)	Boru (Bakır)
Özgül Isı (j/kgK)	4178,37	383
Termal iletkenlik (W/mK)	0,61741	386
Yoğunluk(kg/m ³)	995,74	8954
Kinematik Viskozite ν (m ² /s)	0,80145x10 ⁻⁶	-
Dinamik Viskozite μ (kg/ms)	0,00080082	

Tablo 4. Pyrex cam boru fiziksel özellikleri

Doğrusal Genleşme Katsayısı (20-300 °C)	3,3 x 10e-6
En yüksek çalışma sıcaklığı	500 °C
Fiziksel deformasyon limit sıcaklığı	530 °C

**Şekil 4.** Kanatçık İlaveli 3D Model (a) ve Mesh Görüntüsü (b)

Yansıtıcı yüzeyde 430 2BA paslanmaz çelik sac ve üzeri yüzeyi parlatılmış alüminyum sac kullanılmıştır. Güneşten elde edilebilecek enerji aşağıdaki eşitlik ile belirlenebilir;

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

Kolektör Açıklık Alanı;

$$A_a = (W - D_{bd}) \times L \quad (2)$$

Alıcı boru tarafından kazanılan enerji;

$$Q_{abs} = Q_g \times \eta_{opt} \quad (3)$$

Kolektör optik verimi η_{opt} aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\eta_{opt} = \gamma_{yans} \times \gamma_{cam} \times \gamma_b \times \gamma_{kol} \times \gamma_{\theta} \quad (4)$$

Tablo 5’de parabolik oluk güneş kolektörünü oluşturan parçalara ait optik verimler belirtilmiştir.

Tablo 5. Kolektöre ait optik verimler

Simge	γ_{yans}	γ_{cam}	γ_b	γ_{kol}	γ_{θ}	η_{opt}
Değer	0,9	0,9	0,93	0,95	0,999	0,7149

Optik verim hesabında kullanılan diğer alt verimler aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

γ_{yans} : Yansıtıcı yansıtma oranı

γ_{cam} : Cam örtü geçirgenlik oranı

γ_b : Alıcı boru absorblanması

γ_{kol} : Kesişme faktörü

γ_{θ} : Geliş açısı niteleyici

Analizi yapılacak olan parabolik güneş kolektörü konumuna ait coğrafik koordinat bilgileri 38,49178 Kuzey Enlemi, 27,70625 Doğu Boylamı olarak belirlenmiştir. Analiz, belirtilen konum için 21 Temmuz günü direkt güneş radyasyonunun maksimum olduğu saat 13:00'deki güneş ışınım değerleri baz alınarak yapılmıştır. Tablo 6'da saatlik güneş ışınım değerleri ile kolektörde elde edilebilecek ve alıcı boru tarafından kazanılan enerji değerleri görülmektedir.

Tablo 6. 21 Temmuz günü için hesaplanan güneş ışınım değerleri

Saat (h)	Direkt güneş Işınımı I_d (W/m ²)	Elde edilebilecek toplam enerji Q_g (W)	Alıcı boru tarafından kazanılan enerji Q_{abs} (W)
07:00	319,918	558,5768	399,3266
08:00	610,093	1065,2224	761,5275
09:00	739,826	1291,7362	923,4622
10:00	807,17	1409,3188	1007,5220
11:00	844,548	1474,5808	1054,1778
12:00	864,518	1509,4484	1079,1047
13:00	872,366	1523,1510	1088,9007
14:00	869,916	1518,8733	1085,8425
15:00	856,609	1495,6393	1069,2325
16:00	829,188	1447,7622	1035,0052
17:00	779,608	1361,1956	973,1187
18:00	688,301	1201,7735	859,1479
19:00	500,434	873,7578	624,6494
20:00	77,5618	132,4229	96,8138

Saat 13:00 için güneş ışınlamı değeri 1088,9007 W/ m²'dir. Güneş ışınlarının yansıtıcı yüzeye gelerek buradan alıcı boru üzerine toplandığı alan büyüklüğü 0,08792 m² olup HAD programına 1 m² için girilmesi gereken ısı transferi değeri 12385,1308 W olarak hesap edilebilir.

Su akışkanına ortalama akışkan sıcaklığı aşağıdaki gibi belirlenmiştir;

$$T_m = (T_o + T_i)/2 \quad (5)$$

Boru iç yüzeyine ait sıcaklık T_w HAD analiz sonucunda her bir farklı Reynolds sayısında farklı bir değer bulunup kaydedilmiştir. Isı taşınım katsayısı aşağıdaki eşitlikten bulunmuştur;

$$h = \frac{Q}{A(T_m - T_w)} \quad (6)$$

Reynolds sayısı hidrolik çap $D_h = \frac{4A_c}{S}$ dikkate alınarak aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$Re = \frac{uD_h}{\nu} \quad (7)$$

Nusselt sayısı h bilindiğinden dolayı aşağıdaki eşitlikten hesaplanır;

$$Nu = \frac{hD_h}{k} \quad (8)$$

Zorlanmış akışta Nusselt sayısı Reynolds sayısı, sürtünme faktörü (f) ve Prandtl (Pr) cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

Burada Prandtl sayısı 5,2 alınmış olup Nusselt sayısı yukarıdaki eşitlikten bulunduğu için sürtünme faktörü aşağıdaki eşitlikten sürtünme faktörü hesap edilmiştir.

$$Nu = \frac{\left(\frac{f}{8}\right)(Re_D - 1000)Pr}{1 + 12.7 \left(\frac{f}{8}\right)^{\frac{1}{2}} (Pr^{\frac{2}{3}} - 1)} \quad (9)$$

Basınç düşümü aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

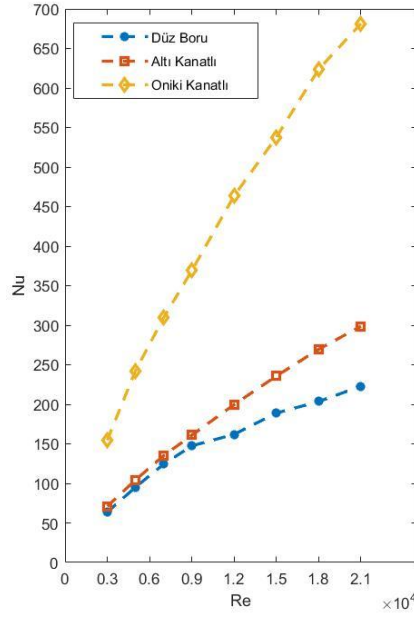
$$\Delta P = f \left(\frac{L}{D_h} \right) \left(\frac{\rho u^2}{2} \right) \quad (10)$$

Analizde yapılan kabuller sırasıyla;

- Sistem sürekli denge halinde ve akış tam gelişmiş türbülanslıdır.
- Türbülans modeli olarak k-epsilon-Relizable-Enhancement Wall Treatment modeli seçilmiştir.
- Akışkan sıkıştırılmaz su akışkanıdır.
- Suyun termofiziksel özellikleri sabittir.
- Bakır alıcı borunun termofiziksel özellikleri sabittir.
- Alıcı borudan çevreye taşınım veya ışınlım yoluyla herhangi bir ısı kaybı yoktur.

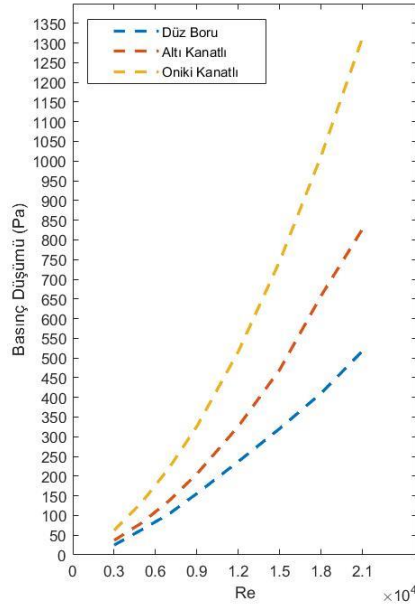
3. Bulgular ve Tartışma

Düz alıcı boru model, altı kanatçık ilaveli alıcı boru model ve oniki kanatçık ilaveli alıcı boru model Reynolds sayısı 3000 ila 21000 arasında ANSYS Fluent analiz programı aracılığıyla Sonlu Hacimler Metodu kullanılarak analizler yapılmış ve her bir Reynolds sayısı için farklı Nusselt sayısı, basınç düşümü ve sürtünme faktörü değerleri elde edilmiştir. Kanatçık ilavesi ile elde edilen yeni Nusselt sayıları Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5. Artan Reynolds sayılarına karşılık elde edilen Nusselt sayılarının karşılaştırılması

Düz boruya karşılık altı adet eğrisel kanatçık ilavesiyle oluşturulan yeni modelde elde edilebilecek maksimum Nusselt sayısı değeri Reynolds sayısı 21000 iken 1,34 kat, oniki adet eğrisel kanatçık ilavesiyle oluşturulan yeni modelde elde edilebilecek maksimum Nusselt sayısı değeri ise Reynolds sayısı 18000 iken 3,057 kat olarak gerçekleşmiştir. Kanatçık ilavesi ile elde edilen basınç düşümü değerleri Şekil 6'da görülmektedir.

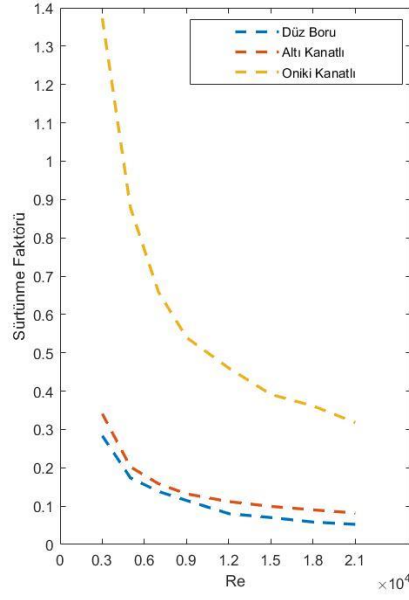


Şekil 6. Artan Reynolds sayılarına karşılık elde edilen basınç düşümü değerlerinin karşılaştırılması

Düz boruya karşılık altı adet eğrisel kanatçık ilavesiyle oluşturulan yeni modelde meydana gelen maksimum basınç düşümü değeri Reynolds sayısı 18000 iken 1,6 kat, oniki adet eğrisel kanatçık ilavesiyle oluşturulan yeni modelde meydana gelen maksimum basınç düşümü değeri ise Reynolds sayısı 21000 iken 2,53 kat olarak gerçekleşmiştir.

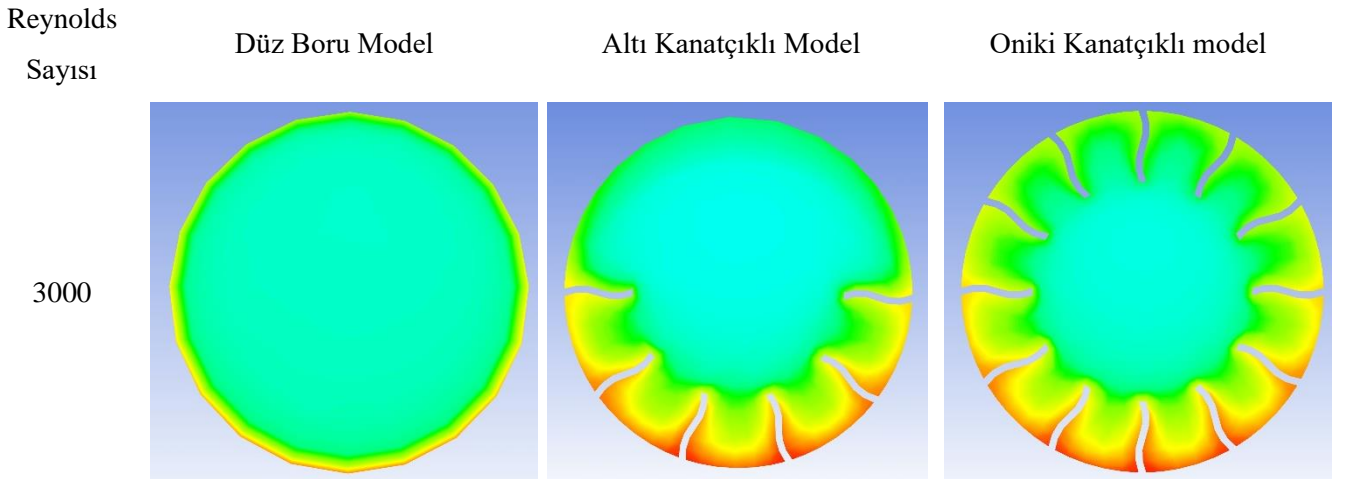
Maksimum Nusselt sayılarının elde edildiği durumlarda düz boruya oranla basınç düşümü artışı sırasıyla altı kanatçıklı alıcı boruda 1,598 kat, oniki kanatçıklı boruda 2,46 kat olarak gerçekleşmiştir.

Boru içerisine eğrisel kanatçık ilavesiyle oluşturulan yeni modellerde basınç düşümünde meydana gelen artış sebebiyle akışkanın pompalanması için gereken güçte artış olacak bu da pompanın harcayacağı elektrik tüketim maliyetini artıracaktır. Ancak akışkan çıkış sıcaklığında elde edilen sıcaklık artışı ve Nusselt sayısındaki azımsanmayacak olan artış dikkate alındığında bu durum göz ardı edilebilir. Parabolik kolektör sisteminin imalatından önce sistemin termo-ekonomik analizinin yapılması, pompalama gücünde meydana gelen artış sebebiyle harcanacak ilave elektrik bedelinin elde edilebilecek ısı transferi artışıyla kıyaslanması gerekmektedir. Kanatçık ilavesi ile elde edilen sürtünme faktörü değerleri Şekil 7’de görülmektedir.

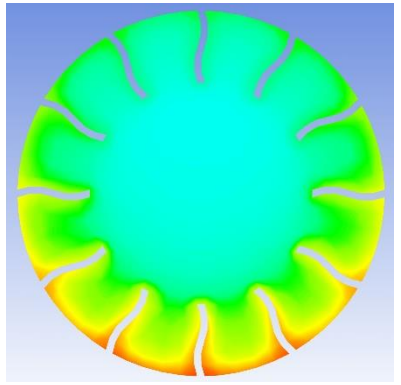
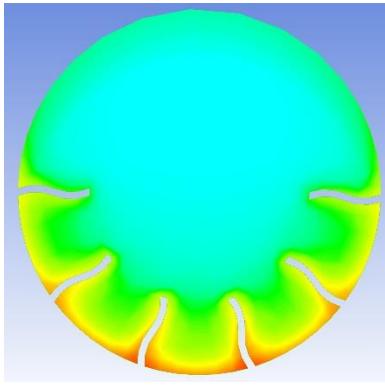
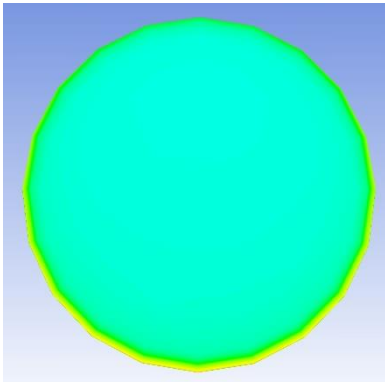


Şekil 7. Artan Reynolds sayılarına karşılık elde edilen sürtünme faktörü değerlerinin karşılaştırılması

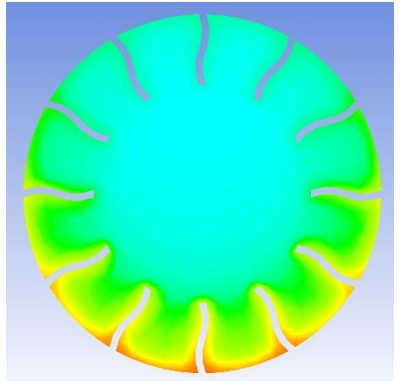
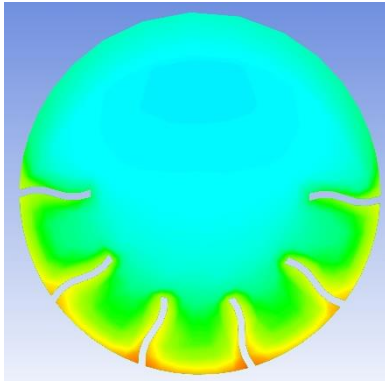
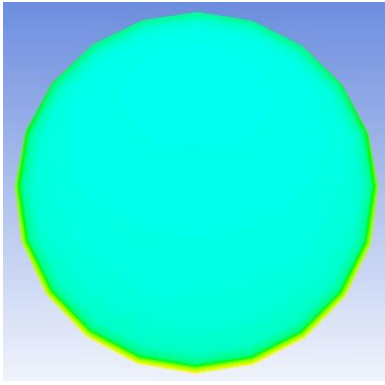
Düz boruya karşılık altı adet eğrisel kanatçık ilavesiyle oluşturulan yeni modelde elde meydana gelen maksimum sürtünme faktörü değeri Reynolds sayısı 18000 iken 1,582 kat, oniki adet eğrisel kanatçık ilavesiyle oluşturulan yeni modelde meydana gelen sürtünme faktörü değeri ise Reynolds sayısı 18000 iken 6,18 kat olarak gerçekleşmiştir. Maksimum Nusselt sayılarının elde edildiği durumlarda düz boruya oranla sürtünme faktörü artışı sırasıyla altı kanatçıklı alıcı boruda 1,56 kat, oniki kanatçıklı boruda 6,18 kat olarak gerçekleşmiştir. Artan Reynolds sayılarına göre akışkan boru çıkış sıcaklıklarının değişimi Şekil 8’de görülebilir.



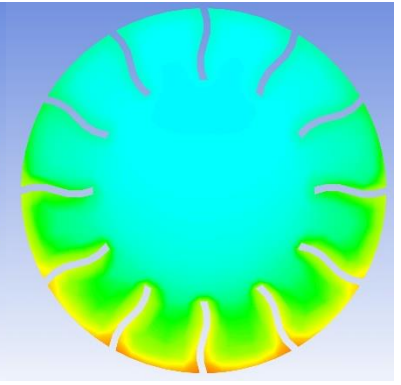
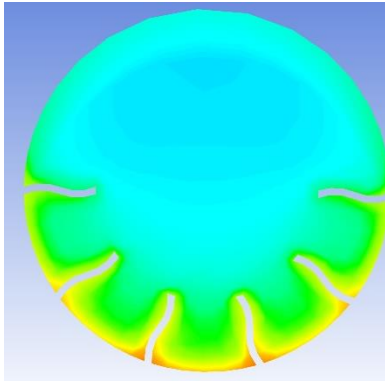
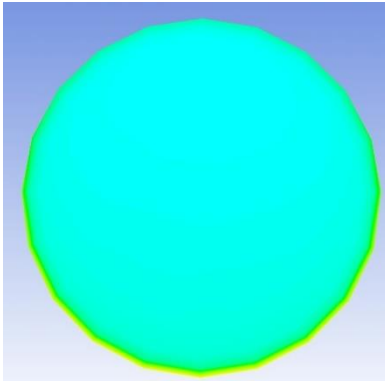
5000



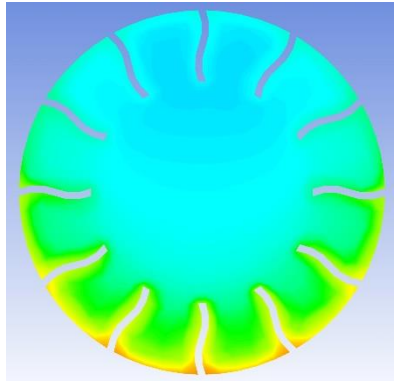
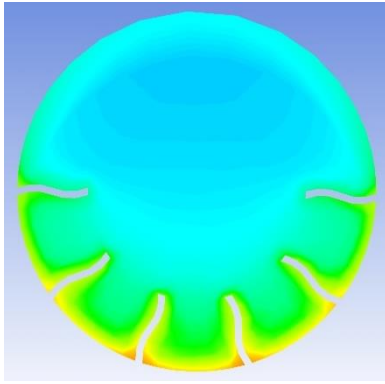
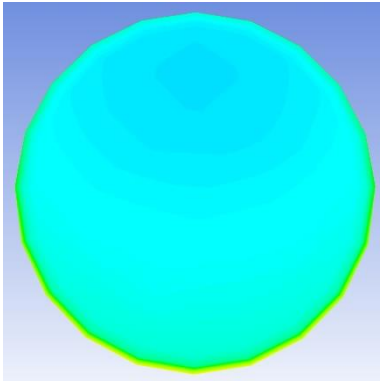
7000

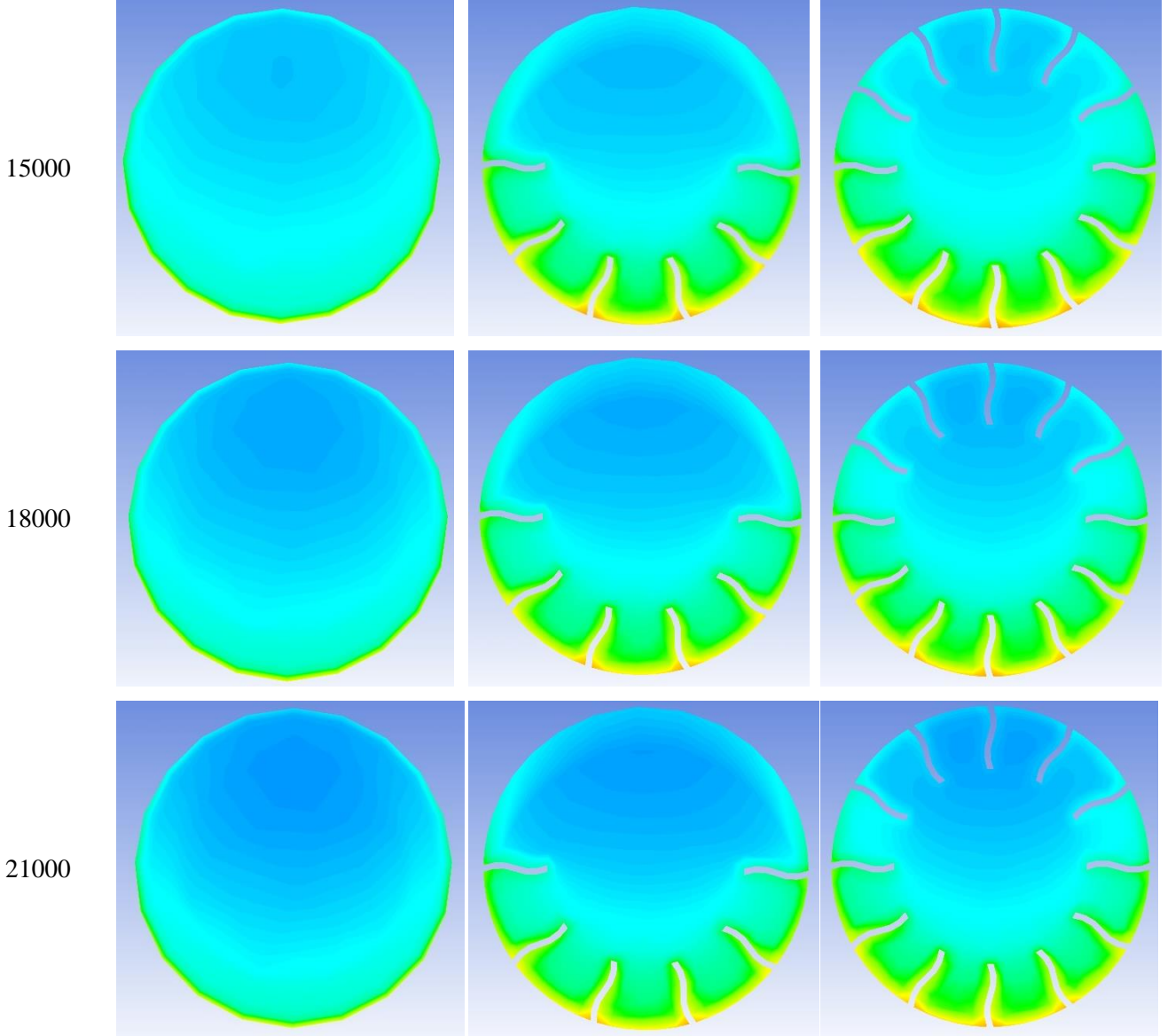


9000



12000





Şekil 8. Reynolds sayılarına göre akışkanın alıcı boru çıkışındaki sıcaklık karşılaştırılması

4. Sonuç

Yapılan analizler neticesinde düz alıcı boru içerisine eğrisel kanatçık ilavesiyle Nusselt sayısında ve akışkan çıkış sıcaklığında artış elde edilmiştir. Ancak ısı transferi değerlerindeki bu artışın elde edilmesine karşılık basınç düşümünde ve sürtünme faktöründe artış olduğu görülmüştür. Isı taşınım katsayısındaki artışa karşılık basınç düşümünde de meydana gelen bu artış beklenen bir durum olup, sistemin imalatından önce HAD yöntemleri ile analiz edilmesi büyük avantajlar sağlamaktadır. Yapılan HAD analiz ile gereksiz maliyet ve zaman kaybından tasarruf elde edilmiştir.

Düz boruya karşılık altı adet eğrisel kanatçık ilavesiyle oluşturulan yeni modelde elde edilebilecek maksimum Nusselt sayısı değeri Reynolds sayısı 21000 iken 1,34 kat ve buna karşılık basınç düşümü 1,598 kat gerçekleşmiştir. Düz boruya oniki adet eğrisel kanatçık ilavesiyle oluşturulan yeni modelde

elde edilebilecek maksimum Nusselt sayısı değeri ise Reynolds sayısı 18000 iken 3,057 kat ve buna karşılık basınç düşümü 2,46 kat olarak gerçekleşmiştir. İlave edilen kanatçıklar neticesinde Nusselt sayılarında artış olmakla birlikte artan türbülans ile basınç düşümü artmakta ve akışkanı sirküle edebilmek için pompaya verilmesi gereken güçte de artış meydana gelmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Tüm yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Akbarzadeh S., Valipour MS. Heat transfer enhancement in parabolic trough collectors: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2018; 92: 198-218.
- Akbarzadeh S., Valipour MS. The thermo-hydraulic performance of a parabolic trough collector with helically corrugated tube. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 2021; 44: 101013.
- Al-Rashed AAAA., Alnaqi Abdulwahab A., Alsarraf J. Thermo-hydraulic and economic performance of a parabolic trough solar collector equipped with finned rod turbulator and filled with oil-based hybrid nanofluid. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 2021; 1-13.
- Bahiraie M., Gharagozloo K., Moayedi H. Experimental study on effect of employing twisted conical strip inserts on thermohydraulic performance considering geometrical parameters. *International Journal of Thermal Sciences* 2020; 149: 106178.
- Bellos E., Tzivanidis C., Antonopoulos KA., Gkinis G. Thermal enhancement of solar parabolic trough collectors by using nanofluids and converging-diverging absorber tube. *Renewable Energy* 2016; 94: 213-222.
- Bellos E., Tzivanidis C., Tsimpoukis D. Enhancing the performance of parabolic trough collectors using nanofluids and turbulators. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2018; 91: 358-375.
- Chang C., Sciacovelli A., Wu Z., Li X., Li Y., Zhao M., Deng J., Wang Z., Ding Y. Enhanced heat transfer in a parabolic trough solar receiver by inserting rods and using molten salt as heat transfer fluid. *Applied Energy* 2018; 22: 337-350.
- Chekifi T., Boukraa M. Thermal efficiency enhancement of parabolic trough collectors: a review. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. Article in Press, 2022.

- Ercoşkun GT., Keskin A., Gürü M., Altıparmak D. Çift oluklu parabolik oluk tipi güneş kollektörünün tasarımı, imalatı ve performansının incelenmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 2013; 28: 855-863.
- Feizabadia A., Khoshvaght-Aliabadib M., Rahimia AB. Experimental evaluation of thermal performance and entropy generation inside a twisted U-tube equipped with twisted-tape inserts. *International Journal of Thermal Sciences* 2019; 145: 106051.
- Ghadirijafarbeiglooa SH., Zamzambianb AH., Yaghoubic M. 3-D numerical simulation of heat transfer and turbulent flow in a receiver tube of solar parabolic trough concentrator with louvered twisted-tape inserts. *Energy Procedia* 2014; 49: 373-380.
- Ghasemi SE., Ranjbar AA. Numerical thermal study on effect of porous rings on performance of solar parabolic trough collector. *Applied Thermal Engineering* 2017; 118: 807-816.
- Jebasingh VK., Herbert GMJ. A review of solar parabolic trough collector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2016; 54: 1085-1091.
- Kalogirou SA. A detailed thermal model of a parabolic trough collector receiver. *Energy* 2012, 48: 298-306.
- Kurşun B. Thermal performance assessment of internal longitudinal fins with sinusoidal lateral surfaces in parabolic trough receiver tubes. *Renewable Energy* 2019; 140: 816-827.
- Liu P., Lv J., Shan F., Liu Z., Liu W. Effects of rib arrangements on the performance of a parabolic trough receiver with ribbed absorber tube. *Applied Thermal Engineering* 2019; 156: 1-13.
- Liu P., Zheng N., Liu Z., Liu W. Thermal-hydraulic performance and entropy generation analysis of a parabolic trough receiver with conical strip inserts. *Energy Conversion and Management* 2019; 179: 30-45.
- Manikandan GK., Iniyana S., Goic R. Enhancing the optical and thermal efficiency of a parabolic trough collector – A review. *Applied Energy* 2019; 235: 1524-154.
- Nazir MS., Shahsavari A., Afrand M., Arıcı M., Nižetić S., Ma Z., Öztop HF. A comprehensive review of parabolic trough solar collectors with turbulators and numerical evaluation of hydrothermal performance of a novel model. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 2021; 45: 101103.
- Qiu Y., Li M., He Y., Tao W. Thermal performance analysis of a parabolic trough solar collector using supercritical CO₂ as heat transfer fluid under non-uniform solar flux. *Applied Thermal Engineering* 2017; 115: 1255-1265.
- Saedodin S., Zaboli M., Ajarostaghi SSM. Hydrothermal analysis of heat transfer and thermal performance characteristics in a parabolic trough solar collector with Turbulence-Inducing elements. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 2021; 46: 101266.
- Saha SK., Bhattacharyya S., Pal PK. Thermohydraulics of laminar flow of viscous oil through a circular tube having integral axial rib roughness and fitted with center-cleared twisted-tape. *Experimental Thermal and Fluid Science* 2012; 41: 121-129.

- Saha S., Saha SK. Enhancement of heat transfer of laminar flow of viscous oil through a circular tube having integral helical rib roughness and fitted with helical screw-tapes. *Experimental Thermal and Fluid Science* 2013; 47: 81-89.
- Şahin HM., Baysal E., Dal AR., Şahin N. Investigation of heat transfer enhancement in a new type heat exchanger using solar parabolic trough systems. *International Journal of Hydrogen Energy* 2015; 40: 15254-15266.
- Rashidi S., Zade NM., Esfahani JA. Thermo-fluid performance and entropy generation analysis for a new eccentric helical screw tape insert in a 3D tube. *Chemical Engineering & Processing: Process Intensification* 2017; 117: 27-37.
- Varun K., Arunachala UC., Elton DN. Trade-off between wire matrix and twisted tape: SOLTRACE® based indoor study of parabolic trough collector. *Renewable Energy* 2020; 156: 478-492.
- Xiangtao G., Fuqiang W., Haiyan W., Jianyu T., Qingzhi L., Huaizhi H. Heat transfer enhancement analysis of tube receiver for parabolic trough solar collector with pin fin arrays inserting. *Solar Energy* 2017; 144:185-202.
- Yılmaz İH., Mwesigye A., Göksu TT. Enhancing the overall thermal performance of a large aperture parabolic trough solar collector using wire coil inserts. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 2020; 39: 100696.

Kısaltmalar

HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
A	ısı transfer alanı, m ²
c_p	sabit basınç özgül ısı, j/kgK
D_h	hidrolik çap, m
F	odak noktası
ΔP	basınç düşümü, Pa
f	sürtünme faktörü
h	ısı taşınım katsayısı, W/m ² K
k	termal iletkenlik, W/mK
L	karakteristik uzunluk, m
\dot{m}	kütle akış debisi, kg/s
\dot{Q}	ısı transferi değeri, W
S	ıslak çevre, m
t	kalınlık, m
u	ortalama hız, m/s
Nu	Nusselt sayısı
Pr	Prandtl sayısı
Re	Reynolds sayısı

ρ	yoğunluk, kg/m ³
μ	dinamik viskozite, kg/ms
ν	kinematik viskozite, m ² /s
x	Parabolik yayın orjinden yatay uzaklığı
y	Parabolik yayın orjinden dikey uzunluğu

Alt Simgeler

a	alan
abs	absorbe edilen
bd	boru dış yüzeyi
d	direkt
c	enine kesit
con	taşınm
h	hidrolik
i	giriş
m	ortalama
o	çıkış
s	yüzey
w	duvar