

PAPER DETAILS

TITLE: Parabolik Günes Kolektörlerinde Nanoakiskan Kullaniminin Isi Transfer Performansi Üzerine Olan Etkileri

AUTHORS: Mukaddes KAYA,Tolga DEMIRCAN,Bahadır GEMICIOGLU

PAGES: 167-178

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1059528>



Parabolik Güneş Kolektörlerinde Nanoakışkan Kullanımının Isı Transfer Performansı Üzerine Olan Etkileri **Effects of using Nanofluids on Heat Transfer Performance in Parabolic Solar Collectors**

Mukaddes Kaya¹, Tolga Demircan², Bahadır Gemicioğlu^{3*}

^{1,2,3} Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği, Kırıkkale, TÜRKİYE

Sorumlu Yazar / Corresponding Author *: bahadirdemircioglu@kku.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 20.04.2020

Kabul Tarihi / Accepted: 17.08.2020

Atıf şekli/ How to cite: KAYA, M., DEMİRCAN, T., GEMİCİOĞLU, B.(2021). Parabolik Güneş Kolektörlerinde Nanoakışkan Kullanımının Isı Transfer Performansı Üzerine Olan Etkileri. DEUFMD, 23(67), 169-178.

Araştırma Makalesi/Research Article

DOI:10.21205/deufmd.2021236715

Öz

Bu çalışma kapsamında parabolik bir güneş kolektörünün toplayıcı tüp borusu içinde, kanatçık eklentisi ve nanoakışkan kullanımının, gerçekleşen akış ve ısı transfer karakteristiklerine olan etkileri incelenmiştir. Bu amaçla toplayıcı boru için kanatçiksız, 3 kanatçıklı, 4 kanatçıklı ve 5 kanatçıklı olmak üzere dört adet model geometri belirlenmiştir. Borunun içinden, baz akışkan olarak belirlenen Syltherm800 yağına Al₂O₃ nano partikül ilave edilmesi ile oluşturulan nanoakışkanın geçtiği düşünülmüştür. Güneşten toplayıcı boru yüzeylerine gelen ısı akısı sabit kabul edilerek, tüm model geometrileri için %0, %0,25, %0,5, %1, %2, %3 hacimsel orana sahip Al₂O₃+Syltherm800 nanoakışkan kullanımları için Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yardımıyla sayısal analizler tekrarlanmıştır. Bu analizler 3 boyutlu, laminar ve iki fazlı akış yaklaşımı kullanılarak yapılmıştır. Çalışma kapsamında nanoakışkanın hacimsel konsantrasyon oranının ve kanatçık kullanımının, incelenen boru içerisinde oluşan sıcaklık dağılımına ve gerçekleşen ısı transfer performansına etkisi irdelenmiştir. Sonuç olarak, diğer tüm parametreler sabitken kanatçık sayısındaki artışın, akışkanın ortalama sıcaklığını ve gerçekleşen ısı transferini artırdığı gözlemlenmiştir. Benzer olarak, nanoakışkanın içindeki Al₂O₃ partikülünün hacimsel konsantrasyon oranındaki artışın ortalama Nusselt sayısını, ortalama ısı transfer katsayısını artırdığı belirlenmiştir. Yapılan irdelemeler neticesinde en yüksek ısı taşınım katsayısı değeri, Model 4 ve nanoakışkan konsantrasyon oranının %3 olduğu durumda 300 W/m²K olarak gerçekleşmiştir. En düşük ısı taşınım katsayısı değeri ise, Model 1 ve konsantrasyon oranının %0 olduğu durumda 50 W/m²K olarak gerçekleşmiştir. Dolayısıyla incelenen parametre aralığında, nano partikül ilave oranının artışı ve kanatçık sayısının artışı ile ısı taşınım katsayısında 6 katlık bir artış gerçekleştiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nanoakışkan, Parabolik güneş kolektörü, Kanatçık, Isı transferi

Abstract

Within the scope of this study, the effects of the use of fin add and using nanofluid on the flow and heat transfer characteristics of a parabolic solar collector's collector tube pipe were investigated. For this purpose, four model geometries have been determined for the collector pipe, without fin, 3 fin, 4 fin and 5 fin. The nanofluid prepared by the addition of Al₂O₃ nanoparticles to the Syltherm800 oil, which is determined as the base fluid, is thought to pass through the pipe. Numerical analysis was

repeated with the help of Computational Fluid Dynamics for the use of Al_2O_3 + Syltherm800 nanofluid with 0%, 0.25%, 0.5%, 1%, 2%, and 3% volumetric ratios for all model geometries. These analyzes were done using a 3D, laminar and two-phase flow approach. Within the scope of the study, the effect of the volumetric concentration ratio of the nanofluid and the use of the fin on the temperature distribution occurring in the examined pipe and the realized heat transfer performance were examined. As a result, it was observed that the increase in the number of fins while all other parameters were constant increased the average temperature of the fluid and heat transfer. Similarly, it was determined that the increase in the volumetric concentration ratio of the Al_2O_3 particle in the nanofluid increases the average Nusselt number and the average heat transfer coefficient. As a result of the examinations carried out, the highest heat transfer coefficient was realized as $300 \text{ W/m}^2\text{K}$ when Model 4 and concentration rate was 3%. The lowest heat transfer coefficient value was realized as $50 \text{ W/m}^2\text{K}$ when Model 1 and the concentration rate was 0%. With the increase in the concentration rate and the number of fins, the value of the heat transfer coefficient increased 6 times.

Anahtar Kelimeler: Nanofluid, parabolic solar collector, fin, heat transfer

1. Giriş

Günümüzde üretilen enerjinin büyük bir kısmı doğalgaz, kömür, fueloil vb. fosil kaynaklıdır. Dünyamızda bulunan fosil kaynaklı yakıt miktarı gün geçtikçe azalmakta ve bu durumun yakın gelecekte enerji kıtlığına sebep olabileceği öngörülmektedir. Ayrıca günümüzde artan enerji talebine paralel olarak, enerji maliyetleri de sürekli artmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, araştırmacılar fosil yakıtlara alternatif olarak güneş, rüzgâr, dalga vb. yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmişlerdir. Bu kaynaklardan özellikle güneş enerjisi, ucuz, temiz ve kolay ulaşılabilir olması sebebiyle büyük önem arz etmektedir. Güneş enerjisi, sıcak su temini, konut ısıtma ve soğutma, elektrik üretimi amacıyla da kullanılabilir. Günümüzde üretilen enerjinin büyük bir kısmı doğalgaz, kömür, fueloil vb. fosil kaynaklıdır. Dünyamızda bulunan fosil kaynaklı yakıt miktarı gün geçtikçe azalmakta ve bu durumun yakın gelecekte enerji kıtlığına sebep olabileceği öngörülmektedir. Ayrıca günümüzde artan enerji talebine paralel olarak, enerji maliyetleri de sürekli artmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, araştırmacılar fosil yakıtlara alternatif olarak güneş, rüzgâr, dalga vb. yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmişlerdir. Bu kaynaklardan özellikle güneş enerjisi, ucuz, temiz ve kolay ulaşılabilir olması sebebiyle büyük önem arz etmektedir. Güneş enerjisi, sıcak su temini, konut ısıtma ve soğutma, elektrik üretimi amacıyla da kullanılabilir.

Güneş enerjisi, güneş kolektörleri yardımıyla toplanmaktadır. Birçok güneş kolektör tipi mevcuttur. Bunlardan biriside, bu çalışmada ele alınan parabolik tip güneş kolektörleridir. Bu tip kolektörler genellikle, güneş ışınlarının belli bir bölgeye odaklanması ve bu bölgede bulunan bir akışkana ısının aktarılması prensibi ile çalışırlar. Bu sistemlerde ısı transfer yüzey alanı ve akışkanın termofiziksel özellikleri, ısı transfer performansını etkileyen önemli parametrelerdir. Isı transfer yüzey alanını artırmak için kanatçıklar kullanılabilir. Fakat kanatçık kullanımını akışkanda basınç kaybına neden olabileceği verimi düşürebilmektedir. Genellikle parabolik kolektörlerde, akışkan olarak yağ kullanılmaktadır. Fakat yağın genel termofiziksel özelliklerinin zayıf olması, gerçekleşen ısı transferini olumsuz olarak

etkileyebilmektedir. Sistemin en optimum şekilde çalışması için seçilen bu yağların ortak özelliği ısı iletim katsayılarının düşük olmasıdır. Bu durum iletim ile gerçekleşen ısı transferinin azalmasına sebep olmaktadır.

Araştırmacılar, ısı transfer akışkanının termofiziksel özelliklerini iyileştirmek amacıyla birçok çalışma yapmışlardır. Özellikle son dönemlerde yapılan bazı çalışmalarda, kolektörde kullanılan mevcut akışkan içerisine, ısı iletim katsayısı yüksek olan nanopartikül ilavesi ile oluşturulan yeni tip akışkan kullanımının gerçekleşen ısı transferi üzerinde oldukça olumlu sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir. Oluşturulan yeni nanoakışkanın termal-ısıl sistemlerde ısı transfer performansını, baz akışkan kullanımına göre anlamlı bir şekilde arttırdığını görmüşlerdir. Tüm bu hususlar ışığında, mevcut literatür detaylı olarak incelenmiş ve literatürde bulunan bazı önemli çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Halimi ve ark. [1], parabolik oluklu kolektörlerde u borulu esanjörlü soğurucunun absorbe ettiği çevresel akı dağılımını deneysel olarak irdelemişlerdir. Çalışma kapsamında merkez uzunluğunun, kenar açısının, absorber çapının çevresel akı dağılımına olan etkisi üzerine odaklanmışlardır. Sonuç olarak, parabolik oluklu kolektörde merkez uzunluğu 0,19 m olduğunda en yüksek ısı verimi 0,4 civarında bulmuşlardır. Ghasemi ve Ranjbar [2], güneş ısı elektrik güç santrallerinde parabolik oluklu güneş kolektörlerinde nanoakışkan kullanımının verime olan etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında parabolik oluklu güneş kolektörünün borusundaki nanoakışkan

akışının zorlanmış taşınım ısı transfer performansını nümerik olarak incelemişlerdir. Bu amaçla, üç boyutlu, kararlı, türbülanslı akış ve ısı transfer denklemlerini sonlu hacimler metodu ve SIMPLEC algoritmasıyla çözmüşlerdir. Elde etmiş oldukları nümerik sonuçların deneysel sonuçlarla uyum içerisinde olduğunu gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak baz akışkan yerine nanoakışkan kullanımının ısı transfer performansında iyileşmeye sebep olduğunu tespit etmişlerdir.

Kulahlı ve ark. [3], farklı merkez uzunluklu parabolik reflektör içeren parabolik oluklu güneş kolektörlerinde sayısal simülasyonlar yapmışlardır. Çalışmalarında kolektör geometrisini incelemişler ve hacimsel debi optimizasyonları üzerinde yoğunlaşmışlardır. Geometrinin parametrik olarak incelenmesi sonucunda termal verimde %0,21'lik bir iyileşme ve hacimsel debi optimizasyon çalışmasında ise %0,63'lük net enerji kazancı gerçekleşebileceğini belirtmişlerdir. Quezada-García ve ark. [4] ise, parabolik oluklu güneş kolektör sisteminde ısı verimin belirlenmesinde modelleme ve simülasyon çalışmaları yapmışlardır. Çalışma kapsamında matematiksel model daraltarak parabolik oluklu güneş kolektöründe kararlı hal koşullarında radyal ve aksiyel sıcaklık profilleri elde etmişlerdir. Elde etmiş oldukları sonuçları daha önce yayınlamış iki makale ile doğrulamışlar ve maksimum hata değerinin %10'dan daha az olduğunu belirlemişlerdir. Kullanmış oldukları nanoakışkanın 0,04 ve 0,02 gibi hacimsel oranları için, termal verimi sırasıyla %80 ve %79 olarak belirlemişlerdir. Termal yağ kullanımında ise ısı verimin nano akışkan kullanımına göre daha düşük olduğunu, belirlenen en yüksek ısı verim değerinin %76 olduğunu gözlemlemişlerdir. Marrakchi ve ark. [5], parabolik oluklu güneş kolektörünün sıcaklık dağılımları üzerine çalışmışlardır. Bu amaçla, literatürde nadir bulunan bir konu olan soğurucu tüpteki üç boyutlu sıcaklık dağılımını belirlemeye odaklanmışlardır. Belirlenen parabolik oluklu tip kolektöründe, 1000 W/m² değerinde sabit ısı akışının güneşten uniform olarak geldiği kabul edilerek, COMSOL Multiphysics 5.1 paket programı aracılığı ile sayısal analizler yapmışlardır. Analizlerinin sonucunda, akışkan ve kılıf sıcaklığının 298 K'den, 318 K'e kadar devamlı olarak arttığını gözlemlemişlerdir.

Tagle-Salazar ve ark. [6], parabolik oluklu güneş kolektörlerinde nanoakışkan kullanımının ısı performans üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla hem deneysel hem de sayısal analizler yapmışlardır. Çalışmaları kapsamında ısı transfer akışkanı olarak alümina-su nanoakışkanın kullanımını, farklı değişken aralıklarında test etmişlerdir. Sonuç olarak sayısal modelin ve deneysel çalışmanın yüksek bir uyumluluk içerisinde olduğunu tespit etmişlerdir. Rashidi ve ark. [7], Al₂O₃ ve su kullanılarak oluşturulan nanoakışkanın eşkenar bir üçgenden oluşan engel üzerinde oluşturduğu maksimum ısı transfer oranı ve minimum sürtünme katsayısının belirlenebilmesi için optimizasyon analizleri yapmışlardır. Çalışmalarında Re sayısının 1-180 aralığı, nanopartikülün hacimsel konsantrasyonunun 0< ϕ <0,05 oranları ve farklı üçgen engel açıları (0-60°) için analizler yapmışlardır. Simülasyonlarında kullanılan nano parçacıkların boyutu 100 nm' den daha az olacak şekilde Yapmış oldukları çalışmalar neticesinde maksimum Nu sayısının $\lambda=8.49^\circ$, Re=180, $\phi=0.05$ parametre değerleri için hesaplanabildiğini belirlemişlerdir. Minimum sürtünme katsayısını ise $\lambda=35.13^\circ$, Re=97.6, $\phi=0.01$ parametre değerlerinde gerçekleştirdiğini tespit etmişlerdir. Kumar ve ark. [8], Al₂O₃/su nanoakışkanını kullanan helezonik kıvrımlı ısı eşanjörlerinde ısı transferini ve basınç düşümünü incelemişlerdir. Bu amaçla, Dean sayısını 1650-2650 aralığında, hacimsel konsantrasyon oranını ise %0.1, %0.4 ve %0.8 olacak şekilde değiştirerek simülasyonları tekrarlamışlardır. Maksimum Dean sayısı için, nanoakışkan kullanılması durumunda su kullanımına oranla Nusselt sayısının değerinin %30 ve basınç kaybının ise %9 arttığını belirlemişlerdir. Yapmış oldukları simülasyon sonuçlarının deneysel ve teorik sonuçlarla uyum gösterdiğini belirtmişlerdir.

Bellos ve ark. [9], parabolik oluklu kolektörlerde nanoakışkan ve türbülantör kullanımının ısı transfer performansına etkileri üzerine çalışmışlardır. Kanatçık tipi, kanatçık sayısı, nanoakışkan tipi ve yağ tipi gibi değişkenleri irdeleyerek çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, nanoakışkan kullanımı ile termal verimde %0,76'lık, içten kanatçık kullanımı ile ise yine termal verimde %1,1'lik bir iyileşme sağlandığını tespit etmişlerdir. Her iki yöntemin kombine edildiği sistemde ise, termal verimde

%1,54'lük bir artış gerçekleştirdiğini belirtmişlerdir.

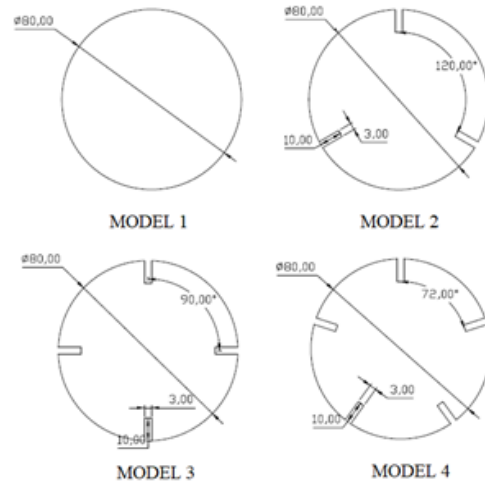
Mohammed ve ark. [10], bir düz boruda aseton/ $ZnBr_2$ çözeltisinin nanoakışkan olarak kullanımının, ısı transfer özelliklerine olan etkilerini hesaplamalı akışkanlar dinamiği yardımıyla incelemişlerdir. Laminer ve türbülanslı akış koşulları için, iki fazlı akış modelini kullanarak analizler yapmışlardır. Reynolds sayısının solüsyonun konstrasyonuna bağlı olarak değiştiğini tespit etmişlerdir. Reynolds sayısının ve nanopartikül konsantrasyon oranının artması ile, ısı transfer katsayısının arttığını gözlemlemişlerdir. Akbarzadeh [11] isothermal borularda nanoakışkan akışı için gerçekleşen ısı transferinin tam analitik çözümü üzerinde çalışmıştır. Laminer ısıl tam gelişmiş bölgede nanoakışkanın boru içi akışı incelemiştir. Bu amaçla, Whittaker fonksiyonu ve perturbation tekniğini kullanmıştır. Nanoakışkan modelinde nanopartikül ve baz akışkanın ortalama özellikler için tek fazda olduğu varsayımını yapmıştır. Reynolds sayısının, nanopartikülün hacimsel oranının, Peclet sayısının ve nanopartikül çapının, ortalama ısı transfer katsayısı, yüzey kütle transferi ve Nusselt sayısına olan etkilerini irdelenmiştir.

Özellikle son yıllarda nanoakışkanların ısı sistemler üzerinde kullanımının sistemin ısı performansı üzerine olan etkilerinin incelendiği çalışmalarda bir artış olduğu görülmektedir. Ancak yine de, bu konuda yapılan çalışma sayısının yeterli düzeyde olmadığı, halen yeni çalışmalara ihtiyaç olduğu görülmüştür. Bundan dolayı, bu çalışma kapsamında bir güneş kolektöründe, sistem akışkanı olarak Al_2O_3 +Syltherm800 karışımından oluşan nanoakışkanın kullanıldığı düşünülerek, sistemin ısı performansları irdelenmiştir. Güneş toplayıcı boru kısmına farklı sayıda kanatçık ilavesinin ve kullanılan Al_2O_3 nanoakışkanın hacimsel konsantrasyon oranındaki değişimin, gerçekleşen ısı transferi üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. Bu parametrelerin değişiminin, sıcaklık dağılımı, akış dağılımı, ortalama Nusselt sayısı, ortalama ısı taşınım katsayısı ve ortalama duvar sıcaklığı üzerine olan etkileri incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1 Problemin Tanımı

Bu çalışma kapsamında bir parabolik güneş kolektörünün toplayıcı borusu içerisindeki akış ele alınmıştır. Bu toplayıcı borunun uzunluğu 2000 mm, çapı ise 80 mm olarak belirlenmiştir. Bu toplayıcı boru içerisinde ısı transfer akışkanının olduğu bölgeye, farklı sayılarda kanatçıklar yerleştirilerek üç, dört, beş kanatçıklı durum ve kanatçiksiz olma durumu için 4 farklı model geometrisi geliştirilmiştir. Kanatçıklar 10 mm x 3 mm'lik dikdörtgen geometridedir ve akışın iç yüzeyinde konumlandırılmıştır. Kanatçık boyu ise kolektör borusunun boyuna eşit olacak şekilde 2000 mm olarak belirlenmiştir. Kolektörünün dış yüzeyinde $1200 W/m^2$ 'lik sabit bir ısı akışı gerçekleştiği kabul edilmiştir. Isı transfer temel akışkanı olarak Syltherm 800 termal yağı kullanılmış ve bu temel akışkana Al_2O_3 nano partikülünün çeşitli hacimsel konsantrasyon oranlarında (%0,25, %0,5, %1, %2 ve %3) eklendiği durumlar için yeni nanoakışkanlar oluşturularak analizler tekrarlanmıştır. İncelenen model geometrilerinin ve boyutlarının gösterimi Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Model geometrileri ve boyutları.

4 farklı model olarak ele alınan kolektör toplama borusu geometrilerinde, tüm modellerin dış boru çapı 80 mm ve boru uzunluğu ise 2000 mm olacak şekilde sabit olarak alınmıştır. Bu modelleri birbirinden ayıran en önemli fark borularda kanatçık

kullanılması veya kullanılmaması durumu, kanatçık kullanıldıysa kanatçık miktarıdır. Model 1’de kanatçık kullanılmamıştır, Model 2’de aralarında 120° olacak şekilde 3 adet, Model 3’te aralarında 90° olacak şekilde 4 adet ve Model 4’te ise aralarında 72° olacak şekilde 5 adet kanatçık bulunmaktadır. Kolektör toplayıcı borusu içerisinden geçen ve ısı transfer akışkanı olarak kullanılan termal yağın ve eklenen nanopartikülün termofiziksel özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. İlgili termofiziksel özellikler, akışkanın kolektör içerisine giriş sıcaklığı olan 300 K için belirlenmiştir. Nanopartikül olarak kullanılan Al_2O_3 partikülü deneysel çalışmalarda yaygın olarak kullanılan ve baz akışkanla diğer nanopartiküllere göre daha iyi karakterize olablen bir partiküldür. Bu çalışmada, bu nedenle nano partikül olarak Al_2O_3 nano partikülü seçilmiştir.

Tablo 1. Syltherm800 termal yağ ve Al_2O_3 nanopartikülünün termofiziksel özellikleri. [16,17]

	Syltherm 800	Al_2O_3 Nanopartikülü
k (W/m ² .K)	0,1337	35
ρ (kg/m ³)	929	3950
c_p (J/kg.K)	1620	880
μ (Pa.s)	0,00975	-

2.2 Çözüm Yöntemi

2.2.1 Diferansiyel Denklemler

Bu çalışmada incelenen problemin temel diferansiyel denklemlerinin genel hali aşağıda verilmiştir [12].

Süreklilik Denklemi

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

Momentum Denklemleri

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i u_j) = \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\mu \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right) - \frac{\partial p}{\partial x_j} \quad (2)$$

Enerji Denklemi

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i T) = \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\frac{k}{c_p} \frac{\partial u_i}{\partial x_i}\right) \quad (3)$$

2.2.2 Sınır Şartları

Bu çalışmada ele alınan 4 modelin tümünde aynı sınır şartları kullanılmıştır. Toplayıcı borunun dış yüzeyi duvar sınır şartı olarak kabul edilmiş

ve bu yüzeye güneşten 1200 W/m² değerinde sabit ısı akısı geçişi olduğu kabul edilmiştir. Model 1 ve saf Syltherm800 akışkanının kullanıldığı durum için Reynolds sayısı 1000 olarak alınmış ve ortalama giriş hızı 0,1311 m/s olarak tespit edilmiştir. Belirlenen bu 0,1311 m/s ortalama giriş hızı, çalışılan tüm model geometrileri ve tüm nano partikül karışım oranları için sabit olarak alınmıştır. Değişken konsantrasyon oranına bağlı olarak değişen viskozite ve yoğunluk değerlerine göre farkı Reynolds sayıları hesaplanmıştır. Bu kapsamda Reynolds sayısının minimum ve maksimum değerleri sırasıyla 932 ve 1207 olarak hesaplanmış ve analizler laminar olarak yapılmıştır. Toplayıcı borunun giriş yüzeyine inlet sınır şartı verilmiş ve bu yüzeyden 300 K sıcaklık ve 0,13 m/s hızda akışkan girişi olduğu varsayılmıştır. Toplayıcı borunun çıkış yüzeyine ise outlet sınır şartı verilmiş ve akışkanın atmosfer basıncına çıktığı kabul edilmiştir.

2.2.3 Matematiksel Formülasyon

Yapılan simülasyonların sonucunda elde edilen veriler, aşağıda verilen matematiksel formülasyon kullanılarak irdelenmiş ve bir parabolik güneş kolektöründe toplayıcı boru içerisinde Al_2O_3 ilaveli nanoakışkan kullanımının ısı transferi performansı üzerindeki etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Farklı hacimsel karışım oranlarında hazırlanan nanoakışkanın temel özellikleri ampirik bağıntılar vasıtasıyla belirlenebilmektedir. Bu amaçla, literatürde bulunan benzer çalışmalarda verilen korelasyonlar aracılığı ile, nanoakışkanın ısı iletim katsayısı [19], viskozitesi [18, 19], yoğunluğu [13] ve özgül ısı kapasitesi [13] sırasıyla Eşitlik 4, 5, 6 ve 7 kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$k_{nf} = k_{bf} + 3\phi \frac{k_{np} - k_{bf}}{2k_{bf} + k_{np} - \phi(k_{np} - k_{bf})} \quad (4)$$

$$\frac{\mu_{nf}}{\mu_{bf}} = e^{[4,91\phi/(0,2092 - \phi)]} \quad (5)$$

$$\rho_{nf} = (1 - \phi)\rho_{bf} + \phi\rho_{np} \quad (6)$$

$$c_{pnf} = \frac{(1 - \phi)(\rho c_p)_{nf} + \phi(\rho c_p)_{np}}{\rho_{nf}} \quad (7)$$

Bu eşitliklerde, k ısı iletim katsayısını, μ viskoziteyi, ρ yoğunluğu, c_p sabit basınçta özgül ısı kapasitesini, n_f nanoakışkanı, bf temel akışkanı, n_p nano partikülü, ϕ ise hacimsel karışım oranını temsil etmektedir. Toplayıcı

boru içerisindeki akışın Reynolds sayısı Eşitlik 8 aracılığı ile belirlenmektedir [14].

$$Re = \frac{\rho_{nf} V D_h}{\mu_{nf}} \quad (8)$$

Burada V akışkanın giriş hızını, D_h ise hidrolik çapını temsil etmektedir. Akışın ısı taşınım katsayısı (h) ise Eşitlik 9 kullanılarak belirlenmektedir [15]. Bu eşitlikte, T_w duvar sıcaklığı, T_{nf} ise nanoakışkanın sıcaklığıdır.

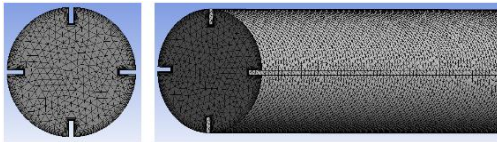
$$h = \frac{q''}{\Delta T} = \frac{q''}{T_w - T_{nf}} \quad (9)$$

Hesaplanan ısı taşınım katsayısı aşağıdaki eşitlikte yerine yazılırsa, akışın Nusselt sayısı belirlenebilir [15].

$$Nu = \frac{h D_h}{k_{nf}} \quad (10)$$

2.2.4 Sayısal Yöntem

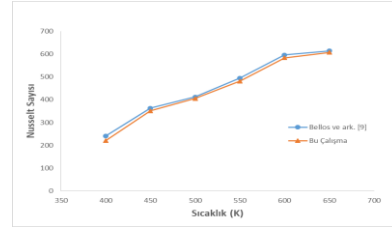
Bu çalışma kapsamında belirlenmiş olan 4 farklı Model geometri için, verilen sınır şartları kullanılarak Ansys-Fluent paket programı aracılığı ile hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) simülasyonları yapılmıştır. Bu amaçla, problem sonlu hacimler metodu kullanılarak simüle edilmiştir. Üç boyutlu, laminar, zamandan bağımsız ve sıkıştırılmaz olarak belirlenen diferansiyel denklemler ayrıştırılarak, SIMPLE algoritması vasıtasıyla çözülmüştür. Nanoakışkanın modellenmesinde iki fazlı yaklaşım kullanılmıştır. Yapılan iterasyonlarda yakınsama kriteri 10^{-6} olarak belirlenmiştir. Modellerin ağ yapıları, akışın hız ve sıcaklık değerlerinin hızlı bir şekilde değişim gösterdiği boru yüzeylerine ve kanatçık yüzeylerine yakın bölgelerde sık, diğer bölgelerde gevşek bir yapıda olacak şekilde belirlenmiştir. Örnek olarak, 4 kanatçıklı bir yapıdan oluşan model 3 için oluşturulmuş olan ağ yapısı Şekil 2'de verilmektedir. Ayrıca tüm model geometrileri için, ayrı ayrı deneme simülasyonları yapılmış ve tüm model geometrileri, ağ yapısından bağımsız hale getirilerek optimum ağ yapıları belirlenmiştir. Tüm simülasyonlar optimum ağ yapıları kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 2. Model 3'ün Ağ Yapısı.

2.2.5 Sayısal Yöntemin Güvenilirliğinin Test Edilmesi

Bu çalışmada incelen geometri ve sınır şartları için yapılacak olan sayısal (nümerik) çalışmaya başlamadan önce, kullanılan sayısal yöntem ve metotların güvenilirliğinin belirlenebilmesi amacıyla literatürde bulunan başka bir çalışma analiz edilmiştir. Bu amaçla Bellos ve ark. [9] tarafından yapılan bir çalışmanın geometrisi ve sınır şartları kullanılarak analizler yapılmış ve her iki çalışmada elde edilen sonuçlar birbirleri ile kıyaslanmıştır. Kolektör toplayıcı boru çapı 60 mm ve uzunluğu 78000 mm olacak şekilde geometri oluşturulmuş, hacimsel konsantrasyon oranı %6 ve ısı akısı ise 1000 W/m^2 için, farklı akışkan giriş sıcaklıkları (300K, 350K, 400K, 450K, 500K, 550K, 600K, 650K) için simülasyonlar tekrarlanmıştır. Her iki çalışmadan elde edilen sonuçlar Şekil 3'de birlikte verilmektedir.



Şekil 3. Bu çalışma ve Bellos ve ark. [9] sonuçlarının karşılaştırılması.

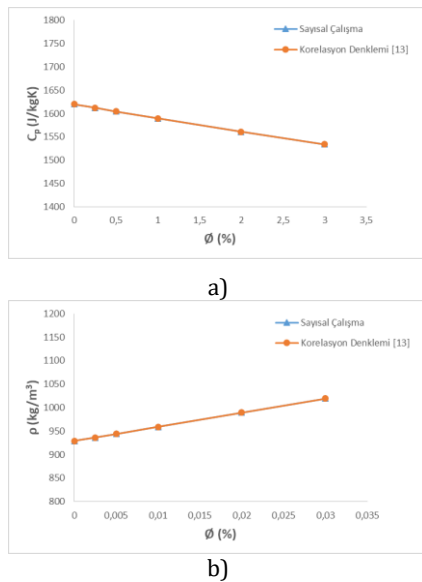
Şekil 3 incelendiğinde Nusselt sayısının akışkan giriş sıcaklığı ile değişimi, bu çalışma ve literatür için birlikte verildiği görülmektedir. Her iki çalışmada da akışkan giriş sıcaklığının artması ile Nusselt sayısının değeri artış göstermektedir. Her iki çalışma için çizilen eğrilerin oldukça benzer bir yapıda olduğu ve büyük oranlarda birbirleri ile örtüştüğü görülmektedir. Dolayısıyla bu çalışma kapsamında kullanılan sayısal yöntemin ve elde edilen sonuçların kabul edilebilir güvenilirlikte olduğu söylenebilir.

3. Bulgular

Bu çalışma kapsamında parabolik bir güneş kolektörünün toplayıcı tüp borusu içinde, kanatçık eklentisi ve nanoakışkan kullanımının, gerçekleşen akış ve ısı transfer karakteristiklerine olan etkileri incelenmiştir. Bu amaçla toplayıcı boru için dört adet model geometri belirlenmiş ve bu borunun içinden Syltherm800+ Al_2O_3 nanoakışkanının geçtiği düşünülmüştür. Toplayıcı boru yüzeylerine gelen ısı akısı 1200 W/m^2 sabit kabul edilerek,

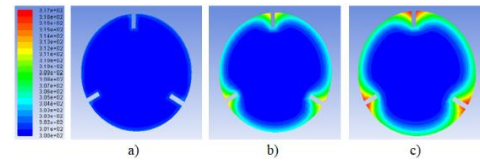
tüm model geometrileri için %0, %0,25, %0,5, %1, %2, %3 hacimsel orana sahip Al_2O_3 +Syltherm800 nanoakışkan kullanımları için Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yardımıyla sayısal analizler tekrarlanmıştır. Yapılan simülasyonlardan elde edilen veriler ışığında, problemin akış ve sıcaklık dağılımları belirlenerek, akışkan çıkış sıcaklığı, ısı taşınım katsayısı ve Nusselt sayısı hesaplanmış ve incelenen parametrelerin ısı transferi üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Yapılan analizlerden elde edilen şekil ve grafiklerden bir kısmı aşağıda verilerek irdelenmiştir.

Şekil 4'de sırasıyla nanoakışkanın özgül ısı kapasitesi ve yoğunluğunun konsantrasyon oranı ile değişimi verilmektedir. Şekiller incelendiğinde, çok fazla analiz çözümlerinden elde edilen sonuçlar için çizilen eğrilerin, literatürde bulunan korelasyon denklemleri [13] için çizilen eğriler ile oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Şekil 4a'da nanoakışkanın hacimsel konsantrasyon oranının artışıyla özgül ısınsının lineer olarak azaldığı görülmektedir. Fakat Şekil 4b incelendiğinde ise nanoakışkanın hacimsel konsantrasyon oranının artışıyla, yoğunluğunun lineer olarak arttığı gözlemlenmektedir. Dolayısıyla nanoakışkanın hacimsel konsantrasyon oranıyla yoğunluğu arasında doğru bir orantı olduğu, özgül ısınsı arasında ise ters bir orantı olduğu söylenebilir.



Şekil 4. Nanoakışkanın temel özelliklerin konsantrasyon oranına göre değişimi, a) Özgül ısı kapasitesi, b) Yoğunluk.

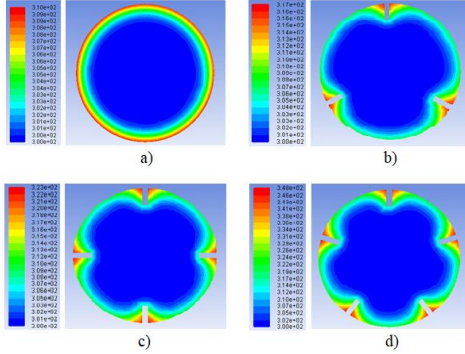
Nanoakışkan konsantrasyon oranı %3 için, Model 2 geometrisinin eksen boyu farklı konumlardaki kesitleri için çizilen eş sıcaklık bölgeleri Şekil 5'de verilmektedir. Şekil 5a incelendiğinde, girişten 0,02 m sonraki bir kesitte kesitin tüm alanında sıcaklık dağılımının pek değişmediği ve yaklaşık olarak akışkan giriş sıcaklığında olduğu görülmektedir. Bu durum ilgili kesitin borunun giriş kısmına çok yakın olmasından dolayı, akışkan ile boru yüzeyleri arasında ısı transferinin yeterli seviyede gerçekleşmemiş olmasından kaynaklanmaktadır. Fakat akışkan boru boyunca ilerlediğinde, boru yüzeylerinden iç akışkana ısı transferi gerçekleşmekte ve ısı sınır tabaka genişlemektedir. Şekil 5b'de verilen kesit borunun tam yarısına tekabül etmektedir. Şekil incelendiğinde gerçekleşen konveksiyon sonucu akışkan sıcaklığının arttığı ve sınır tabakanın kalınlaştığı görülmektedir. Özellikle kanatlara yakın bölgelerde, artan yüzey alanının etkisi ile ısı transferi hızla artmakta ve akışkan sıcaklığı belirgin olarak yükselmeye başlamaktadır. Şekil 5c incelendiğinde ise, akışkanın sıcaklığının kanatçık yakınlarında ve boru yüzeylerinde maksimum seviyeye ulaştığı, sınır tabaka kalınlığının genişlediği görülmektedir.



Şekil 5. Model 2 ve konsantrasyon oranı %3 olduğunda, boru eksen boyu farklı konumlarda ki kesitler için sıcaklık dağılımı a) 0,02 m, b) 1 m, c) 1,8 m.

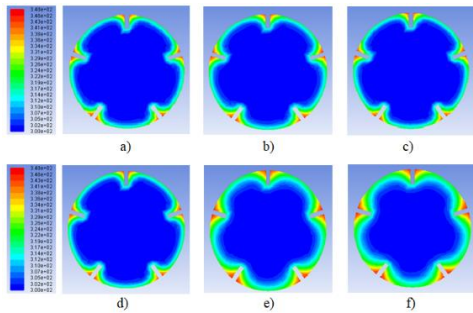
Şekil 6'da ise, incelenen 4 model geometrinin konsantrasyon oranı %2 olarak sabit tutulmuş ve boru girişinden itibaren 1,8 m'de alınan bir kesit için akışın sıcaklık dağılımları birlikte verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü üzere tüm modeller için sıcaklık dağılımları genel olarak birbirine benzer yapıdadır. Genel olarak boru yüzeylerine ve kanatçıklara yakın bölgelerde yüksek sıcaklıklar gözlemlenmekte ve boru merkezine doğru sıcaklık azalmaktadır. Özellikle kanatçıklara yakın bölgelerde, akışkan sıcaklığı artış göstermektedir. İncelenen geometrinin kanat sayısı arttıkça, artan ısı transfer yüzey alanı nedeni ile gerçekleşen ısı transferinin arttığı belirlenmiştir. Bundan dolayı kanat sayısı arttıkça nanoakışkanın maksimum sıcaklığının

da arttığı gözlemlenmiştir. Özellikle Model 4'de, kanat sayısının daha fazla olmasından dolayı ısı sınır tabakanın oldukça kalınlaştığı belirlenmiştir.



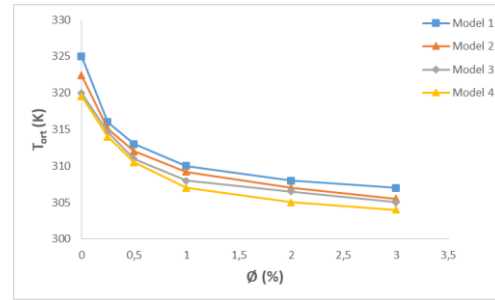
Şekil 6. Konsantrasyon oranı %2 olduğunda farklı model geometrileri için sıcaklık dağılımı a) Model 1, b) Model 2, c) Model 3, d) Model 4.

Şekil 7'de Model 4 geometrisinin boru girişinden itibaren 1,8 m'de alınan bir kesit alanı için, akışın sıcaklık dağılımları farklı nanoakışkan hacimsel konsantrasyon oranları için birlikte verilmiştir. Şekiller birlikte incelendiğinde, kesit alanı içerisinde oluşan sıcaklık dağılımının genel yapısı birbirlerine oldukça benzer bir yapıdadır. Genel olarak boru dış yüzeyine yakın bölgelerde ve yine kanatçık birleşim bölgelerinde yüksek sıcaklık bölgeleri gözlemlenmektedir. Nanoakışkanın hacimsel konsantrasyon oranındaki artış, boru yüzeyinden akışkana geçen ısı transferini artırmaktadır. Bu durum nanoakışkan içerisine eklenen nanopartikül miktarının artması ile, nanoakışkanın ısı iletim katsayısını artırması ile ilişkilidir. Dolayısıyla nanoakışkanın hacimsel konsantrasyon oranı arttıkça, akışkanın sıcaklığı da artış göstermektedir.



Şekil 7. Model 4'de farklı konsantrasyon oranları için sıcaklık dağılımı a) %0, b) %0,25, c) %0,5, d) %1, e) %2, f) %3.

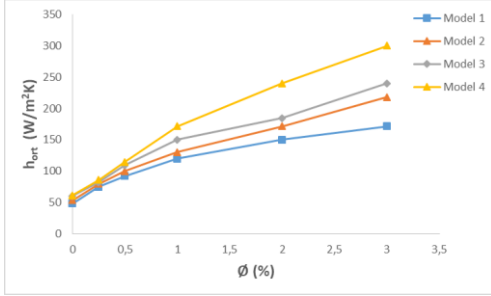
Şekil 8'de nanoakışkanın ortalama yüzey sıcaklığının hacimsel konsantrasyon oranıyla değişimi, incelenen tüm modeller için birlikte verilmektedir. Şekil incelendiğinde, nanoakışkanın hacimsel konsantrasyon oranındaki artış ile, akışkan yüzey ortalama sıcaklığının düştüğü görülmektedir. Özellikle %1 konsantrasyon oranına kadar çok hızlı bir sıcaklık düşüşü söz konusudur, fakat bu konsantrasyon oranından sonra düşüş hızı azalmaktadır. Bu durum çizilen tüm model geometri eğrilerinde benzerlik göstermektedir. Sabit konsantrasyon oranları için, model davranışları birlikte incelendiğinde ise, geometride artan kanatçık sayısı ile ortalama yüzey sıcaklığının azaldığı belirlenmektedir. Tüm konsantrasyon oranları için benzer davranış gözlemlenmektedir. Kanatçık sayısındaki artışın ısı transfer yüzey alanındaki artışa sebebiyet vermesi ve akışkan içerisindeki artan nanopartikül oranının akışkanın ısı iletim katsayısını artırması sonucu, akışkan ile boru yüzeyi arasında gerçekleşen ısı transferi artmaktadır. Bu durumun nanoakışkanın sıcaklığını artırdığı, yüzey sıcaklığını ise azalttığı söylenebilir.



Şekil 8. Farklı modeller için, ortalama yüzey sıcaklığının hacimsel konsantrasyon oranı ile değişimi.

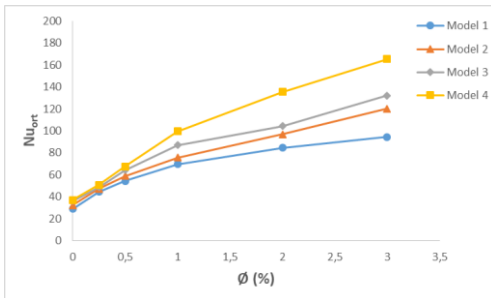
Şekil 9'da nanoakışkanın ortalama taşınım katsayısını hacimsel konsantrasyon oranıyla değişimi, incelenen tüm modeller için birlikte verilmektedir. Şekil incelendiğinde kanatçık sayısındaki artışın ve ısı transfer akışkanı içerisindeki nanopartikül oranındaki artışın ısı transfer katsayısının artırdığı gözlemlenmiştir. Konsantrasyon oranı %0,5'e kadar incelenen modeller arasında önemli bir farklılık oluşmamaktadır. Fakat %0,5 değerinden sonra, konsantrasyon oranı arttıkça, modeller için çizilen ortalama taşınım katsayısı eğrileri birbirlerinden uzaklaşmaktadır. Gerçekleşen ısı transferinde modellerin sahip olduğu kanatçık sayısı, yüksek konsantrasyon oranlarında daha etkin olarak rol

almaktadır. Özellikle konsantrasyon oranı %3 için, hiç kanatçıga sahip olmayan Model 1 ile 5 kanatçıklı Model 4 karşılaştırıldığında, ısı taşınım katsayısının değerinin yaklaşık olarak %100 arttığı görülmektedir.



Şekil 9. Farklı modeller için, ortalama taşınım katsayısının hacimsel konsantrasyon oranı ile değişimi.

Şekil 10'da ise nanoakışkanın ortalama Nusselt sayısının nanoakışkanın hacimsel konsantrasyon oranı ile değişimi, incelenen tüm modeller için birlikte verilmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere, tüm model geometrilerinde akışkan içerisinde ki nanopartikül oranı arttığında, ortalama Nusselt sayısının değerinin de arttığı görülmektedir. Benzer olarak geometrinin sahip olduğu kanatçık sayısının artması da, ortalama Nusselt sayısının değerini artırmaktadır. Dolayısıyla hem konsantrasyon oranının hem de kanatçık sayısının maksimum olduğu, Model 4 geometrisine %3 partikül ilave edildiği durumda maksimum ortalama Nusselt sayısı gözlemlenmiştir.



Şekil 10. Farklı modeller için, ortalama Nusselt sayısının hacimsel konsantrasyon oranı ile değişimi.

Aslında bir nanoakışkanın ısı performansını değerlendirirken Nusselt sayısının kullanılması pek tercih edilen bir yöntem değildir. Çünkü farklı konsantrasyon oranları için hazırlanan

nanoakışkanların her biri farklı ısı iletim katsayısı (k) değerine sahip olacaktır. Nanoakışkana partikül ilave oranı arttıkça bu " k " değeri artacaktır. Nusselt sayısının genel formülünde " k " (ısı iletim katsayısı) değeri bölen durumundadır. Dolayısıyla " k " değeri arttıkça Nusselt sayısı azalma eğilimi gösterebilecektir. Nanoakışkanın konsantrasyon oranının artması ile " k " değerinin artmasına rağmen, akışın Nusselt sayısında meydana gelebilecek bir azalış gerçekleşen ısı transferinin azaldığı yanlışına sebep olabilecektir. Fakat bu çalışma kapsamında incelenen 4 farklı model geometrinin hepsinde de, nanoakışkan içindeki partikül ilave oranının artışıyla Nusselt sayısının da arttığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebin bu çalışmada ele alınan parametre aralığında, nanoakışkana nanopartikül ilavesinin artırılması ile ısı taşınım katsayısının (h) değerinde ki artışın, ısı iletim katsayısının (k) değerinde ki artışa oranla daha fazla olması olarak söylenebilir.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışma kapsamında parabolik bir güneş kolektörünün toplayıcı tüp borusu içinde, kanatçık eklentisi ve nanoakışkan kullanımının, gerçekleşen akış ve ısı transfer karakteristiklerine olan etkileri incelenmiştir. Bu amaçla toplayıcı boru için dört adet model geometri belirlenmiş ve bu borunun içinden Syltherm800+Al₂O₃ nanoakışkanının geçtiği düşünülmüştür. Toplayıcı boru yüzeylerine gelen ısı akısı 1200 W/m² sabit kabul edilerek, tüm model geometrileri için %0, %0,25, %0,5, %1, %2, %3 hacimsel orana sahip Al₂O₃+Syltherm800 nanoakışkan kullanımları için Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yardımıyla sayısal analizler tekrarlanmıştır. Yapılan simülasyonlardan alınan veriler ışığında, problemin akış ve sıcaklık dağılımları elde edilmiştir. Sonuç olarak saf Syltherm800 temel akışkanı ile Al₂O₃ nanopartikülü ilaveli nanoakışkan karşılaştırıldığında, tüm karışım oranları için partikül ilavesinin gerçekleşen ısı transferini artırdığı gözlemlenmiştir. Sabit konsantrasyon oranı için kanatçık sayısı artırıldığında nanoakışkanın ortalama sıcaklığının, taşınım katsayısının ve Nusselt sayısının arttığı, boru yüzey sıcaklıklarının ise azaldığı gözlemlenmiştir. Benzer olarak, sabit geometri için nanopartikül ilave oranı artırıldığında nanoakışkanın ortalama sıcaklığının, taşınım katsayısının ve Nusselt sayısının arttığı, boru yüzey sıcaklıklarının ise

azaldığı gözlemlenmiştir. Yapılan irdelemeler neticesinde en yüksek ısı taşınım katsayısı değeri, Model 4 ve nanoakışkan konsantrasyon oranının %3 olduğu durumda 300 W/m²K olarak gerçekleşmiştir. En düşük ısı taşınım katsayısı değeri ise, Model 1 ve konsantrasyon oranının %0 olduğu durumda 50 W/m²K olarak gerçekleşmiştir. Dolayısıyla incelenen parametre aralığında, nano partikül ilave oranının artışı ve kanatçık sayısının artışı ile ısı

taşınım katsayısında 6 katlık bir artış gerçekleştiği belirlenmiştir. Fakat bu çalışmada kullanılan analiz yönteminin sayısal bir yöntem olduğu unutulmamalıdır. Nano akışkanları kullanarak deneysel çalışma yapacak olan araştırmacıların, gerçek uygulamalarda yüksek konsantrasyon oranlarında ve artan kanatçık sayılarında, kümeleşme, çökme, basınç kayıpları gibi sorunların gerçekleşme ihtimalini göz önünde bulundurmalarıdır.

Kaynakça

- [1] Halimi M., Outana I., Diouri J., El Amrani A., Messaoudi C. 2018. Experimental Investigation of Absorbed Flux Circumferential Distribution of an Absorber with U-Pipe Tube Exchanger for Parabolic Trough Collectors, *Applied Thermal Engineering*, Cilt 129, s. 1230-1239. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2017.10.075
- [2] Ghasemi E. S., Ranjbar A. A. 2017. Effect of Using Nanofluids on Efficiency of Parabolic Trough Collectors in Solar Thermal Electric Power Plants, *International Journal of Hydrogen Energy*, Cilt 42, s. 21626-21634. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2017.07.087
- [3] Kulahli M. C., Özen A. S., Etemoglu B. A. 2019. Numerical Simulation of a Parabolic Trough Collector Containing a Novel Parabolic Reflector with Varying Focal Length, *Applied Thermal Engineering*, Cilt 161, DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2019.114210
- [4] Quezada-García S., Sanchez-Mora H., Polo-Labarrios M., Cazares-Ramirez R. I. 2019. Modeling and Simulation to Determine the Thermal Efficiency of a Parabolic Solar Trough Collector System, *Case Studies in Thermal Engineering*, Cilt 16, DOI: 10.1016/j.csite.2019.100523
- [5] Marrakchi S., Leemrani Z., Asselman H., Aoukili A., Asselman A. 2018. Temperature Distribution Analysis of Parabolic Trough Solar Collector Using CFD, *Procedia Manufacturing*, Cilt 22, s. 773-779. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.03.110
- [6] Tagle-Salazar P. D., Nigam, K.D.P., Rivera-Solorio C. I. 2018. Heat Transfer Model for Thermal Performance Analysis of Parabolic Trough Solar Collectors Using Nanofluids, *Renewable Energy*, Cilt 125, s. 334-343. DOI: 10.1016/j.renene.2018.02.069
- [7] Rashidi S., Bovand M., Abolfazli Esfahani J. 2015. Structural Optimization of Nanofluid Flow Around an Equilateral Triangular Obstacle, *Energy*, Cilt 88, s. 385-398. DOI: 10.1016/j.energy.2015.05.056
- [8] Mukesh Kumar P. C., Palanisamy K., Kumar J., Tamilarasan R., Sendhilnathan S. 2015. CFD Analysis of Heat Transfer and Pressure Drop in Helically Coiled Heat Exchangers Using Al₂O₃/Water Nanofluid, *Journal of Mechanical Science and Technology*, Cilt 29 (2), s. 697-705. DOI: 10.1007/s12206-015-0129-7
- [9] Bellos E., Tzivanidis, C., Tsimpoukis D. 2018. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Enhancing the Performance of Parabolic Trough Collectors Using Nanofluids and Turbulators, Cilt 91, s. 358-375. DOI: 10.1016/j.rser.2018.03.091
- [10] Mohammed I. H., Giddings D., Walker G. S., Power H. 2018. CFD Assessment of the Effect of Nanoparticles on the Heat Transfer Properties Of Acetone/ZnBr₂ Solution, *Applied Thermal Engineering*, Cilt 128, s. 264-273. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2017.08.169
- [11] Akbarzadeh P. 2017. New Exact-Analytical Solution for Convective Heat Transfer of Nanofluids Flow in Isothermal Pipes, *Journal of Mechanics*, Cilt 35 (2), s. 233-242 DOI: 10.1017/jmech.2017.99
- [12] Dal A.R. 2019. Düz Plakalı Borulu Bir Isı Değiştiricisinin optimum kanatçık Aralığının Sayısal Analizi, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 8 (1), s.479-501, DOI:10.28948/ngumuh.517163
- [13] Mehtre N. D., Kore S. S. 2014. Experimental Analysis of Heat Transfer From Car Radiator Using Nanofluids, *International Journal of Mechanical Engineering and Computer Applications*, Cilt 2 (4), s.101-106.
- [14] Çengel, Y. A., Cimbala J. M. 2006. *Fluid Mechanics Fundamentals and Applications*, 1st, McGraw-Hill, New York, 288s.
- [15] Incropera, P.F., Dewitt, P. D., Bergman, L. T., Lavine, S. A. 2007. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 6 th. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 376s.
- [16] SYLTHERM 800 Heat Transfer Fluid Product Technical Data. <https://www.dow.com/content/dam/dcc/documents/en-us/app-tech-guide/176/176-01435-01-syltherm-800-heat-transfer-fluid.pdf?iframe=true> (Erişim Tarihi: 25.07.2020)
- [17] Bellos E., Tzivanidis C., Antonopoulos K.A., Gkinis G. 2016. Thermal Enhancement Of Solar Parabolic Trough Collectors By Using Nanofluids And Converging-Diverging Absorber Tube, Cilt 94, s. 213-222
- [18] Williams, W.C., Buongiorno, J. ve Hu, L.V., 2008. Experimental investigation of turbulent convective heat transfer and pressure loss of alumina/water and zirconia/water nanoparticle colloids, *J. Heat Transfer*, Cilt 130 (4), 042412. DOI: 10.1115/1.2818775
- [19] Turgut A., Sağlanmak Ş., Doğanay S., 2016. Nanoakışkanların Isıl İletkenlik ve Viskozitesinin Deneysel İncelenmesi: Tanecik Boyutu Etkisi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, Cilt 31 (1), s. 95-103. DOI:10.17341/gummfd.25469