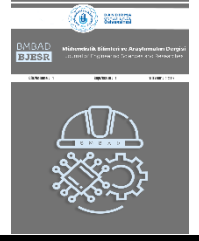






BMBAD
BJESR

Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi
Journal of Engineering Sciences and Researches



Helisel Kanatçıklara Sahip Bir Boruda Nanoakışkan Kullanımının ve Helisel Kanatçık Sayısının Değişiminin Isı Transferi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

Investigation of the Effects of Nanofluid Usage and Variation of Helical Fin Number on Heat Transfer in a Pipe With Helical Fins

¹Mustafa DOĞAN , ²*Tolga DEMİRCAN 

^{1,2}*Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 71450 Yahşihan, Kırıkkale

¹mustafa.dogan7144@gmail.com, ²*tolgademircan@kku.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 23 June 2022

Accepted : 10 September 2022

Keywords:

Nanofluids, HBN, Heat Transfer, CFD

ABSTRACT

In this study, the effects of nanofluid usage on heat transfer in a pipe with helical fins on its inner surface were investigated. In this context, four model geometries were determined as finless, single helical fin, double helical fin and triple helical fin tube. It is assumed that hBN-water (hexagonal boron nitride-water) nanofluid with constant inlet temperature passes through the pipe, and a constant heat flux is applied to the pipe surfaces. Water was used as the base fluid. 0%, 0.5%, 1%, 1.5%, 2% and 2.5% hBN nanoparticles were added to the water. Numerical analyses were carried out with the help of Computational Fluid Dynamics. As a result of the study, it was observed that the average fluid temperature, heat transfer coefficient and Nusselt number increased with increasing the number of fins and the mixing ratio of the nanofluid. The lowest Nusselt number was determined as 25.93 in the case of water flowing from the finless pipe, and the highest Nusselt number was determined as 97,036 in the case of three helical fins and 2.5% volumetric mixture. Therefore, it was observed that adding helical fins to a pipe and using hBN-water nanofluid had a positive effect on heat transfer.

© 2022 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 23 Haziran 2022

Kabul : 10 Eylül 2022

Anahtar Kelimeler:

Nanoakışkan, HBN, Isı Transferi, HAD

ÖZET

Bu çalışmada iç yüzeyinde helisel kanatçıklara sahip bir boruda nanoakışkan kullanımının ısı transferi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda kanatçıksız, tek helisel kanatçıklı, çift helisel kanatçıklı ve üç helisel kanatçıklı boru olmak üzere dört model geometrisi belirlenmiştir. Borunun içerisinden sabit giriş sıcaklığına sahip hBN-su (hekzagonal bor nitrür-su) nanoakışkanı geçtiği, boru yüzeylerinde sabit ısı akışı uygulandığı varsayılmıştır. Baz akışkan olarak kullanılan suyun içerisine hacimsel olarak %0, %0,5, %1, %1,5, %2 ve %2,5 oranında hBN nano partikülü katıldığı düşünülmüştür. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yardımıyla sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda kanatçık sayısının ve nanoakışkanın karışım oranının artırılmasıyla ortalama akışkan sıcaklığının, ısı taşınım katsayısının ve Nusselt sayısının arttığı görülmüştür. En düşük Nusselt sayısı kanatçıksız borudan su aktığı durumda 25,93 olarak, en yüksek Nusselt sayısı ise üç helisel kanatçık ve %2,5 hacimsel karışım olduğu durumda 97,036 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla bir boru içerisine helisel kanatçık eklemenin ve hBN-su nanoakışkan kullanımının ısı transferi üzerinde olumlu yönde etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

© 2022 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayımlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. GİRİŞ

Dünyamızda kişi başına düşen ortalama enerji tüketimi hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu durum enerji kaynaklarının daha dikkatli ve daha verimli kullanılması gerektiğini göstermektedir. Günümüzde enerji ihtiyacı büyük oranda fosil kaynaklı yakıtlar ile karşılanmaktadır. Ancak fosil yakıtların rezervleri kısıtlıdır ve kullanıldıklarında çevreye zarar vermektedirler. Bundan dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması önemli bir gerekliliktir. Bu nedenle bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinin daha verimli kullanılması üzerine yoğunlaşılmıştır. Bu kapsamda parabolik bir güneş kolektörünün toplayıcı borusunun geliştirilerek, güneşten elde edilen enerjinin daha verimli olması amaçlanmıştır. Bu amaçla bir borunun iç kısmına helisel şekilde kanatçık eklentisi yapılarak gerçekleşen ısı transferinin artırılması planlanmıştır. Ayrıca borunun içinden ısı iletkenliği yüksek bir nanoakışkan geçirilerek ısı transferi geliştirilmeye çalışılmıştır.

Nanoakışkan, bir baz akışkan içerisine çok küçük boyutta nano partiküllerin belirli bir hacimsel oranda eklenmesi ile oluşturulan yeni akışkanlardır. Bu oluşturulan yeni akışkan, baz akışkana göre daha yüksek ısı iletkenliğe sahip olmaktadır. Nanoakışkanlarda kullanılan nanopartiküller genel olarak metallere, karbürlerden, oksitlerden veya karbon nanotüplerden oluşmaktadır. Baz sıvı olarak ise genellikle su, yağ ve etilen glikol vb. gibi akışkanlar kullanılmaktadır. Literatür incelendiğinde nanoakışkanların ısı değiştiricileri, ısı boruları, yakıt hücreleri, motor soğutma sistemleri vb. gibi birçok mühendislik uygulamasında ısı transferini geliştirmek amacıyla kullanıldığı görülmüştür. Literatürde bulunan ve nanoakışkanlar üzerine yapılmış bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Çiftçi ve ark. [1] bir ısı borusunda nanopartikül olarak TiO_2 (Titanyum dioksit) ilave edilmiş bir nanoakışkanın kullanımının ısı performans üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Nanopartikül eklenmesi ile akışkanın buharlaşma sıcaklığının normalden $10^\circ C$ azaldığını belirtmişlerdir. Nano partikül ilavesi ile akışkanın ısı iletkenliğinin arttığını gözlemlemiştir. Nanoakışkan kullanımı ile ısı borusunun ısı veriminin %11,76 arttığını belirtmişlerdir. Elçioğlu ve ark. [2] nanoakışkan viskozitesinin tahmininde kullanılan farklı modelleri karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Sonuç olarak, hacimsel karışım oranı arttıkça nanoakışkanın viskozitesinin arttığını gözlemlemiştir. Sıcaklık arttığında ise nanoakışkanın viskozitenin azaldığını belirtmişlerdir. Jalili ve ark. [3] çeşitli kanatçıklara sahip çift borulu bir ısı değiştiricisinde, nanoakışkan kullanımının ısı transfer üzerindeki etkilerini incelemiştir. Nanoakışkanın hacimsel karışım oranını %0,4, %2, %4, %6 olacak şekilde değiştirmişlerdir. Sonuç olarak, su-alüminyum oksit nanoakışkanının, su-titanyum dioksit nanoakışkanına ve saf suya oranla daha yüksek ısı transfer katsayısına sahip olduğunu gözlemlemiştir. Nanoakışkan konsantrasyon oranının %0,4'den %6'ya artırılması ile ısı transfer katsayısının yaklaşık %12 arttığını belirtmişlerdir. Ziyadanoğulları ve Yücel [4] farklı hacimsel oranlara sahip Al_2O_3 -su nanoakışkan kullanımının ısı transfer üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmalarının sonucunda partikül hacimsel karışım oranının artışı ile birlikte ısı iletkenlik değerinin arttığını belirtmişlerdir.

Kahveci ve Koca [5] sıcak su hazırlama sisteminde yer alan bir ısı değiştiricisinde grafit-su nanoakışkan kullanımının ısı transferine olan etkilerini incelemiştir. Yaptıkları deneylerin sonucunda plakalı bir ısı değiştiricisinde nanoakışkan kullanımının ısı transferini arttırdığını gözlemlemiştir. Tekir ve ark. [6] yamuk kesite sahip bir kanalın içerisinde Al_2O_3 -Cu/su hibrit nanoakışkan kullanımını termodinamik açıdan incelemiştir. Sonuç olarak, %2,0 hacimsel derişime sahip hibrit nanoakışkan kullanımında, tek parçacıklı nanoakışkanlara oranla ısı taşınım katsayısının yaklaşık %34 arttığını belirlemiştir. En düşük entropi üretiminin hibrit nanoakışkanla gerçekleştiğini belirlemiştir. Tokgoz ve ark. [7] içerisinde dikkörtgen kesitli oyuklar bulunan bir kanalda Al_2O_3 -su nanoakışkan kullanımının ısı transferine etkilerini sayısal olarak incelemiştir. Reynolds sayısını 500-2000 aralığında, nanoparçacık hacimsel karışım oranını 0-0,08 aralığında, faz açılarını ise $180-0$ derece arasında değiştirerek analizler yapmışlardır. Reynolds sayısının ve faz açısının artışı ile türbülans yoğunluğunun arttığını belirtmişlerdir. Nanoakışkanın hacimsel karışım oranının artması ile ısı transferinin arttığını göstermişlerdir. Akçay ve ark. [8] pulsatif akışın ve Al_2O_3 -su nanoakışkanının ısı transferine olan etkilerini sayısal olarak incelemiştir. Pulsatif parametrelerin değişiminin ısı transferini etkilediğini belirtmişlerdir. Akışın genliği ve frekansı arttıkça ısı transferinin arttığı, ancak bu artışın sürtünme faktörünü de arttırdığını gözlemlemiştir.

Yu ve ark. [9] 4,5 mm çapa sahip bir boru içinden su- Al_2O_3 nanoakışkan aktığında gerçekleşen zorlanmış konveksiyonu sayısal olarak incelemiştir. Reynolds sayısını 1050 olacak şekilde sabit tutmuşlar ve nanoakışkanın hacimsel karışım oranını değiştirerek analizlerini tekrarlamışlardır. Sonuç olarak nanoakışkanın Al_2O_3 hacimsel karışım oranı arttıkça Nusselt sayısının ve ısı transferinin arttığını gözlemlemiştir. Rahman ve ark. [10] nanoakışkan ile doldurulmuş üçgen bir boşluk içindeki karışık konveksiyonu sayısal olarak incelemiştir. Prandtl sayısı 6,2 için, nanoakışkan hacimsel karışım oranını %0-%10 aralığında değiştirerek analizler yapmışlardır. Baz akışkana nanopartiküllerin dahil edilmesi ile ısı transfer katsayısında artış gözlemlemiştir. Isı aktarım hızının Richardson sayısına büyük ölçüde bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Sheikholeslami ve ark. [11] türbülator kullanılan nanoparçacıkların türbülanslı ısı transferini ve entropi üretimini incelemiştir. Bu amaçla CuO-su nanoakışkanını kullanmışlardır. Çalışmalarının sonucunda, türbülator yüksekliğinin artışı ile Nusselt sayısının arttığını gözlemlemiştir. Bant yüksekliği ve pompalama gücü arttığında sürtünmenin arttığı, termal bileşenin ise azaldığı sonucuna varmışlardır. Hosseini ve ark. [12] mikro kanallı bir ısı alıcısında (MCHS) manyetik alanın nanoakışkan akışı üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışmalarında Al_2O_3 -su nanoakışkanını kullanmışlardır. Isıl iletkenliği ve viskoziteyi hesaplamak için KKL

korelasyonunu, gözenekli ortam için ise Darcy denklemini kullanmışlardır. Çalışmalarının sonucunda, mikro kanallı ısı alıcısına manyetik alan uygulanması ile Nusselt sayısının değerinin etkilendiğini belirtmişlerdir Karabulut ve ark. [13] bir boru içinde Grafen Oksit partikülü içeren nanoakışkanın ısı transferini sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda %0,02'lik hacimsel karışım oranı için ısı taşınım katsayısının %13,9 arttığını gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak Grafen Oksit nanoakışkanının ısı transferi uygulamalarında alternatif olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Ghasemi ve Ranjbar [14] parabolik oluklu güneş kolektörlerinde nanoakışkan kullanımının ısı performans üzerindeki etkilerini sayısal olarak ele almışlardır. Elde ettikleri sayısal sonuçların deneysel veriler ve ampirik korelasyonlar ile uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. Nanoparçacık hacimsel karışım oranının artmasıyla Nusselt sayısının arttığını gözlemlemişlerdir. Isı transfer katsayısının Al₂O₃-su ve CuO-su nanoakışkanları için sırasıyla %28 ve %35'e kadar arttığını belirtmişlerdir. Demir [15] mini kanallarda nanoakışkan kullanıldığı durumda gerçekleşen ısı geçişi üzerine sayısal ve deneysel çalışmıştır. Al₂O₃-su ve ZnO-su nanoakışkanlarını kullanmıştır. Al₂O₃ nano akışkanı kullanımında ısı transferinde %14,35, taşınım katsayısında ise %20,90 artış sağlandığını gözlemlemiştir. Benzer olarak ZnO nano akışkanı kullanımında ise ısı transferi ve taşınım katsayısı değerinde sırasıyla %7,42 ve %10,01 artış gerçekleştirdiğini belirtmiştir.

Hasan ve ark. [16] nanoakışkan kullanılan helisel bir ısı eşanjörünün ısı performansını sayısal olarak incelemişlerdir. Bu kapsamda baz akışkan olarak kullanılan suyun içerisine %4 hacimsel karışım oranında Al₂O₃, CuO ve SiO₂ nano partikülleri ilave etmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda helisel sarımın ısı transferini artırdığını belirtmişlerdir. En yüksek ısı transferini Al₂O₃ nanoakışkanında elde etmişlerdir. Ramasubramania ve ark. [17] bakır kaplamalı helisel bir boruya sahip bir ısı değiştiricisinde nanoakışkan kullanımını deneysel olarak incelemişlerdir. Nanoakışkan olarak Al₂O₃-su karışımını kullanmışlar, farklı hacimsel karışım oranları ve akış hızları için deneyler yapmışlardır. Çalışmalarının sonucunda nanoakışkan kullanımı ile ısı transfer oranında yaklaşık olarak %20 iyileşme gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Zheng ve ark. [18] nanoakışkan kullanılan çift borulu bir ısı değiştiricisinin termal verimliliğini incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, hacimsel karışım oranı %1,5 olan SiC-su nanoakışkanı kullanıldığında, sadece su kullanımına kıyasla Nusselt sayısında %106,7 artış gözlemlemişlerdir.

Rajput ve ark. [19] ısı eşanjörlerinde nanoakışkan kullanımı ile Nusselt sayısının iyileştirilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu amaçla, ısı transfer akışkanı olarak Al₂O₃-su ve TiO₂-su nanoakışkanlarını kullanmışlardır. Farklı karışım oranları ve farklı akış hızları için incelemeler yapmışlardır. Çalışmalarının sonucunda nanoakışkan kullanımının Nusselt sayısını artırdığını belirtmişlerdir. Bu artışın en fazla Al₂O₃-su nanoakışkanının kullanıldığı durumda gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir. Malika ve ark. [20] gövde borulu bir ısı değiştiricisinde düşük hacimsel karışım oranlara sahip hibrit nanoakışkanının kullanımının ısı performans üzerindeki etkilerini sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında ısı transfer akışkanı olarak CuO-ZnO/su hibrit nanoakışkanını kullanmışlardır. Reynolds sayısı 17448 için hibrit nanoakışkan kullanımı ile Nusselt sayısının %33, basınç düşüşünün ise %13 arttığını belirlemişlerdir. Saleh ve Sundar [21] Ni-su nanoakışkanı kullanılan bir ısı değiştiricisinde ısı transferi, sürtünme faktörü, entropi ve ekserji verim analizleri üzerine deneysel incelemeler yapmışlardır. Çalıştıkları parametre aralığında, nanoakışkan kullanımı ile ısı transfer katsayısında %38,6, Nusselt sayısında %42,68, ekserji veriminde ise %42,27 oranında bir artış gözlemlemişlerdir. Fares ve ark. [22] bir gövde borulu ısı değiştiricisinde nanoakışkan kullanımının ısı transfer analizini yapmışlardır. Bu kapsamda, nanoakışkanların konsantrasyonu, akış hızı ve giriş sıcaklığı gibi farklı parametreleri incelemişler ve bu parametrelerin ısı transfer katsayısı ve termal verimlilik üzerindeki etkilerini irdelemişlerdir. Grafen-su nanoakışkanının kullanılması ile ısı transfer katsayısında yaklaşık %29, ısı veriminde ise %13,7 artış gözlemlemişlerdir.

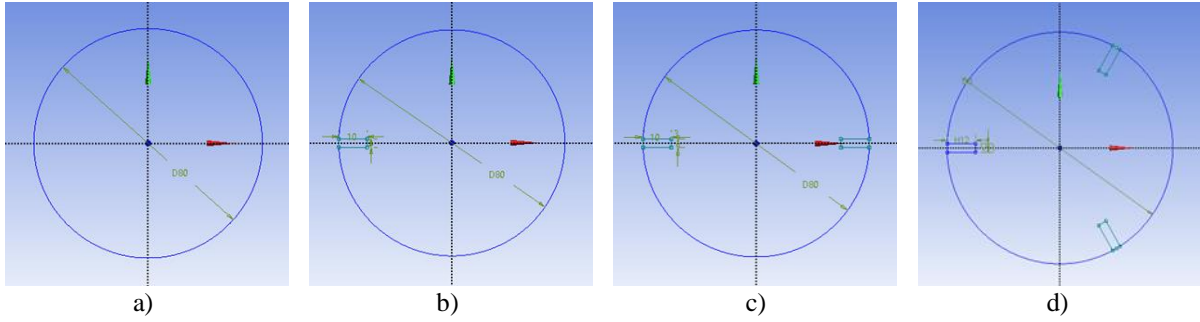
Literatür incelemesinden de görüldüğü üzere, geleneksel olarak kullanılan ısı transfer akışkanlarının içine nanopartikül eklenmesi üzerine yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar da genel olarak Al₂O₃, CuO, ZnO, TiO₂ vb. gibi sık kullanılan nano partiküller üzerine yoğunlaşmıştır. Literatür incelemesinde nanopartikül olarak hBN nano parçacığının kullanıldığı çalışmalara çok az rastlanılmıştır. Bundan dolayı bu çalışmada, hBN nano parçacığı ile oluşturulan nanoakışkanın ısı performansı üzerine yoğunlaşmıştır. Bu amaçla bu çalışmada helisel olarak sarılmış kanatçıklara sahip bir boruda, helisel kanatçık sayısının değişimi ve hBN-su nanoakışkanının kullanımı ile gerçekleşen ısı transferi ele alınmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Problemin Tanıtımı ve Matematiksel Yaklaşım

Bu çalışmada içinde boru uzunluğu boyunca helisel olarak sarılmış kanatçıklara sahip bir boruda nanoakışkan kullanımı ile gerçekleşen ısı transferi ele alınmıştır. Bu kapsamda kanatçiksiz, tek helisel kanatçıklı, çift helisel kanatçıklı ve üç helisel kanatçıklı olmak üzere dört farklı model geometrisi oluşturulmuştur. Boru girişinden 298 K sabit sıcaklıkta nanoakışkan girdiği, boru dış yüzeyine ise 1200 W/m² sabit ısı akısı uygulandığı varsayılmıştır. Tüm model geometrileri için farklı hacimsel karışım oranlarında (%0, %0,5, %1, %1,5, %2 ve %2,5) hBN nanoakışkanı kullanılarak Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yardımıyla sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan model geometrilerin şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiştir. Oluşturulan modellerde dikdörtgen helisel kanatçık sayısı 0, 1, 2 ve 3 olarak belirlenmiştir. Her dört modelde de boru çapı 80 mm, uzunluğu

ise 2000 mm olarak sabit tutulmuştur. Kanatçıkların uzun kenarı 10 mm, kısa kenarı ise 3 mm, boru uzunluğu boyunca helisel sarım sayısı ise sabit olacak şekilde ayarlanmıştır.



Şekil 1. Bu çalışmada incelenen geometriler a) Kanatçiksız, b) Tek helisel kanatçıklı, c) Çift helisel kanatçıklı ve d) Üç helisel kanatçıklı.

Yukarıda da belirtildiği üzere, 4 farklı model geometrinin boru uzunlukları ve çapları eşdeğerdir. Bu modelleri birbirinden ayıran en önemli özellik borunun sahip olduğu helisel kanatçık sayısıdır. İlk geometri kanatçiksız düz borudur. İkinci model geometride 1 adet helisel kanatçık, üçüncü model geometride aralarında 180° açı olacak şekilde 2 adet helisel kanatçık ve dördüncü model geometride ise aralarında 120° açı olacak şekilde 3 adet helisel kanatçık bulunmaktadır. Isı transfer akışkanı olarak kullanılan hBN-su nanoakışkanı, baz akışkan olan suyun içerisinde farklı hacimsel karışım oranlarında hBN partikülü ilave edilerek hazırlanmaktadır.

Problemin süreklilik, momentum ve enerjinin korunumu denklemlerinin genel hali aşağıdaki şekilde yazılabilir [13]:

Süreklilik Denklemi

$$\nabla \cdot (\rho_{nf} V_m) = 0 \quad (1)$$

Momentum Denklemi

$$\nabla \cdot (\rho_{nf} V_m V_m) = -\nabla P + \nabla \cdot (\mu_{nf} \nabla V_m) \quad (2)$$

Enerji Denklemi

$$\nabla \cdot (\rho_{nf} c_p V_m T) = \nabla \cdot (k_{nf} \nabla T) \quad (3)$$

Yukarıda verilen diferansiyel denklemlerin çözümlenebilmesi için kullanılan sınır şartları, 4 model geometrinin hepsinde aynı alınmıştır. Borunun dış yüzeyi için “wall” sınır şartı tanımlanmıştır. Bu yüzeye sabit 1200 W/m² değerinde ısı akışı uygulandığı kabul edilmiştir. Boru girişinde “inlet” sınır şartı kullanılmıştır. Reynolds sayısının sabit olması ancak model geometrilerin hidrolik çapının farklı olmasından dolayı akışın giriş hızları geometriye göre farklılık göstermiştir. Bu kapsamda kanatçiksız, tek kanatçıklı, çift kanatçıklı ve üç kanatçıklı borular için sırasıyla 0,0188 m/s, 0,01699 m/s, 0,0151 m/s ve 0,0132 m/s giriş hızı tanımlanmıştır. Akışkan giriş sıcaklığı ise sabit 298 K olarak belirlenmiştir. Borunun çıkış kısmına ise “outlet” sınır şartı tanımlanmıştır ve akışkanın atmosfer şartlarına çıktığı kabul edilmiştir.

Oluşturulan nanoakışkanın temel özellikleri hacimsel karışım oranına göre değişiklik göstermektedir. Bu çalışmada farklı karışım oranlarındaki nanoakışkanın ısı transferi üzerinde ki etkileri üzerinde durulmaktadır. Dolayısıyla farklı karışım oranları için yapılan analizlerde, nanoakışkanın termofiziksel özellikleri değişiklik göstermektedir. Literatürde nanoakışkanın termofiziksel özelliklerini belirlemek için kullanılan ampirik bağıntılar bulunmaktadır. Bu bağıntılardan nanoakışkanın ısı iletim katsayısını [5], viskozitesini [4], yoğunluğunu [5] ve özgül ısıyı [5] belirlemek için kullanılanları aşağıda verilmiştir.

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

$$\mu_{nf} = \mu_{bf}(1 + 2,5\phi) \quad (5)$$

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

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

Bu denklemlerde “k” ısı iletim katsayısını, “μ” viskoziteyi, “ρ” yoğunluğu, “c_p” sabit basınçta özgül ısı kapasitesini, “nf” nanoakışkanı, “bf” baz akışkanı, “np” nanopartikülü, ve “Ø” nanoakışkanın hacimsel karışım oranını temsil etmektedir.

Bu çalışmanın sayısal çözümünde çoklu faz yaklaşımı kullanılmıştır. Yapılan analizlerden elde edilen özellik değerleri, yukarıdaki denklemlerden elde edilen sonuçlar ile kıyaslanmış ve sonuçların birbiri ile oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. Bundan dolayı, sayısal çözüm aşamasında kullanılan çoklu faz yaklaşımının kullanımının güvenilir bir seviyede olduğu söylenebilir.

İncelenen nanoakışın Reynolds sayısı ise aşağıda verilen Eşitlik 8 [7] aracılığı ile belirlenmektedir.

$$Re = \frac{\rho_f \bar{u} D_h}{\mu_f} \quad (8)$$

Burada “ \bar{u} ” nanoakışkanın ortalama hızını “ D_h ” ise hidrolik çapı temsil etmektedir. Hidrolik çapın değeri boru çapı (D) olarak alınmıştır. Akışın ortalama ısı taşınım katsayısı (h) ise Eşitlik 9 [7] yardımıyla belirlenmektedir. Burada, “ T_w ” duvar sıcaklığı ve “ T_m ” ise bulk sıcaklığıdır. Bulk sıcaklığı ise, akışkanın giriş sıcaklığı ile çıkış sıcaklığının aritmetik ortalamasıdır.

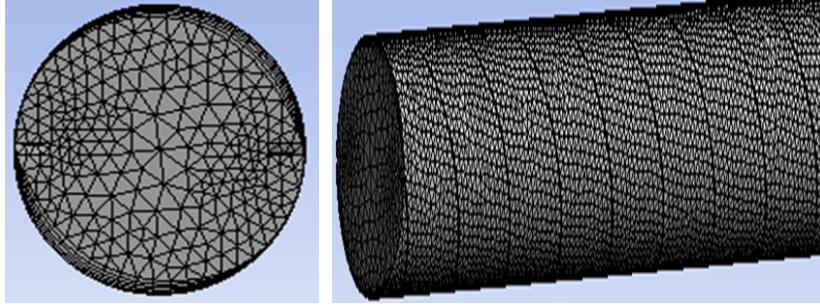
$$h = \frac{q''}{\Delta T} = \frac{q''}{T_w - T_m} \quad (9)$$

Ortalama ısı taşınım katsayısı Eşitlik 10’da yerine yazılarak ortalama Nusselt sayısı [7] belirlenmektedir.

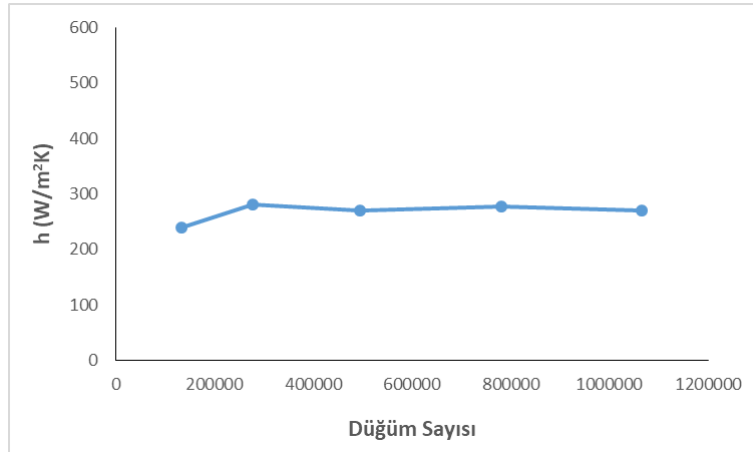
$$Nu = \frac{h D_h}{k} \quad (10)$$

2.2. Sayısal Yöntem

Bu çalışmada incelenen modellerin süreklilik, momentum ve enerji denklemleri hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) aracılığı ile sayısal olarak çözülmüştür. Bu amaçla Fluent paket programı kullanılmıştır. Diferansiyel denklemlerin sayısal olarak çözümü için SIMPLE algoritması tercih edilmiştir. Nanoakışın modellenmesinde çoklu faz yaklaşımı kullanılmıştır. Problemin çözümünde kullanılan ağ yapısı, akışın hız ve sıcaklık değerlerinin fazla değişim gösterdiği helisel kanatçığa ve boru yüzeylerine yakın bölgelerde sık, diğer bölgelerde daha gevşek bir yapıda olacak şekilde oluşturulmuştur. Örnek olarak çift kanatçıklı model geometri için oluşturulan ağ yapısı Şekil 2’de verilmiştir. İncelenen dört model geometri için, farklı eleman sayılarına sahip ağ yapılarında analizler tekrarlanarak ağ yapısından bağımsızlaştırma işlemi yapılmıştır. Örnek olarak çift kanatçıklı model geometri için, farklı ağ yapılarında elde edilen sonuçlar Şekil 3’de görülmektedir. Bu geometri için optimum düğüm sayısı 495700 olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. Çift kanatçıklı modelin ağ yapısı.

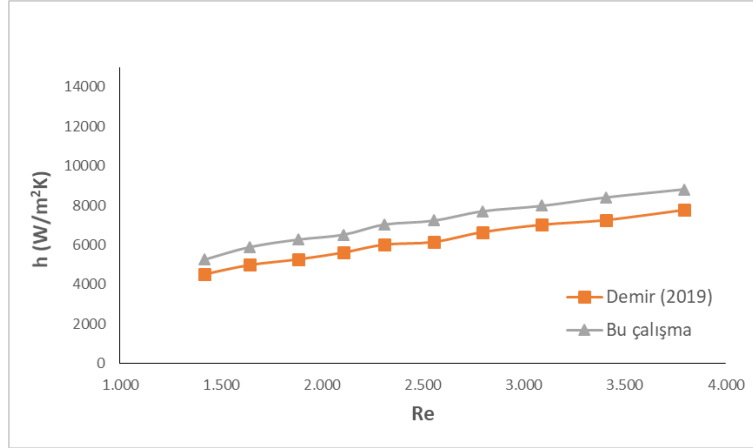


Şekil 3. Çift kanatçıklı model için, ısı taşınım katsayısının ağ yapısındaki eleman sayısı ile değişimi.

Bu çalışmada kullanılan sayısal yöntemin güvenilirliğini kontrol etmek amacıyla literatürde yer alan benzer başka bir çalışmanın sonuçları kullanılmıştır. Bu kapsamda, Demir [15] tarafından yapılan çalışmaya ait geometri ve sınır koşulları, %0,5 hacimsel orandaki Al_2O_3 nanoakışkanı için aynen kullanılarak sayısal analizler yapılmıştır. Analizlerden elde edilen sonuçlar Demir’in [15] sonuçları ile karşılaştırılmıştır. İki çalışmadan elde edilen sonuçların karşılaştırılması Şekil 4’de verilmektedir.

Şekil 4’de ısı taşınım katsayısının Reynolds sayısı ile değişimini gösteren eğriler iki çalışma için birlikte görülmektedir. Şekil incelendiğinde, her iki çalışmada da Reynolds sayısının artışı ile ısı taşınım katsayısının

arttığı görülmektedir. İki çalışmanın sonuçları genel olarak benzer bir yapıdadır ve birbirini ile uyumludur. Bundan dolayı bu çalışmadan elde edilen sonuçların kabul edilebilir bir güvenilirlikte olduğu söylenebilir.

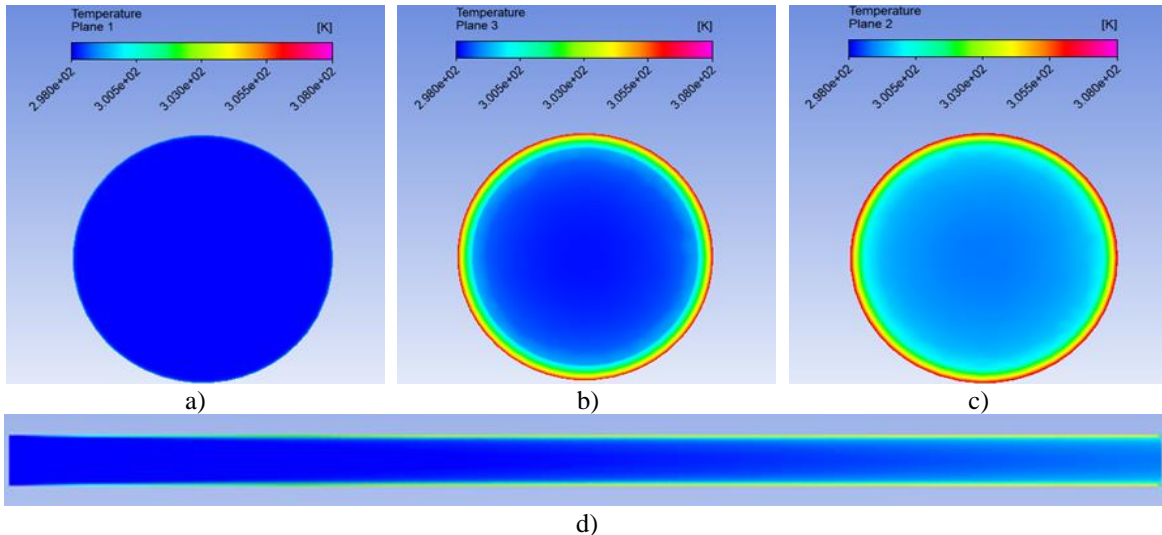


Şekil 4. %0.5 Al₂O₃ için, bu çalışmanın sonuçları ile literatür [15] sonuçlarının karşılaştırılması.

3. BULGULAR

Bu çalışmada iç yüzeyinde helisel yapıda sarmal kanatçık bulunan bir borunun içinden nanoakışkan (hBN-su) akıtılmasının ısı transferi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu doğrultuda incelenen boru için dört model geometri oluşturulmuştur. Bu modeller için, nanoakışkanın hacimsel karışım oranı %0, %0,5, %1, %1,5, %2 ve %2,5 olacak şekilde analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda akışın hız ve sıcaklık dağılımları belirlenmiştir. Ek olarak, akışkanın ortalama çıkış sıcaklığı, ortalama yüzey sıcaklığı, ortalama ısı taşınım katsayısı ve ortalama Nusselt sayısı hesaplanarak grafikler oluşturulmuştur. Bu sayede bu çalışma kapsamında incelenen parametrelerin ısı transferi üzerindeki etkileri irdelenmiştir. Çalışmanın sonuçlarından elde edilen bazı önemli grafikler aşağıda açıklanmıştır.

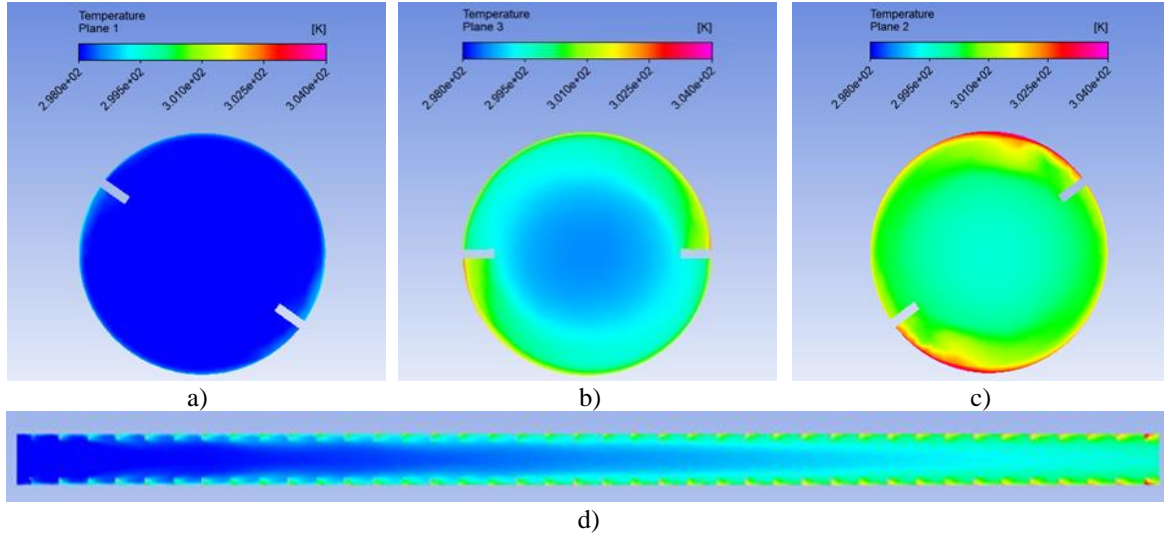
Şekil 5'de kanatçiksız düz boru için hacimsel karışım oranı %0 (sadece su) olduğu durumda farklı kesit alanları için çizilen sıcaklık dağılımları verilmektedir. Bu kapsamda Şekil 5'in a, b ve c şıklarında sırasıyla boru girişinden 0,01 m, 1 m (borunun tam ortası) ve 1,99 m sonra alınan kesitlerdeki sıcaklık dağılımları, Şekil 5'in d şikkında ise boru uzunluğu boyunca alınan bir kesit için sıcaklık dağılımı görülmektedir. Şekiller incelendiğinde boru girişinden düşük sıcaklıkta giren akışkanın, boru yüzeyine uygulanan ısı akısı nedeniyle ortalama sıcaklığının arttığı ısıl sınır tabakanın ise genişlediği görülmektedir. Ayrıca boru yüzeyinden boru merkezine doğru akışkan sıcaklığı azalış göstermektedir. Boru çıkışında ise, akışkanın ortalama sıcaklığı maksimum seviyeye ulaşmaktadır.



Şekil 5. Kanatçiksız boru ve hacimsel oran %0 olduğunda, boru uzunluğu boyunca farklı kesitler için sıcaklık dağılımı a) 0,01 m, b) 1 m, c) 1,99 m ve d) Boru uzunluğu boyunca.

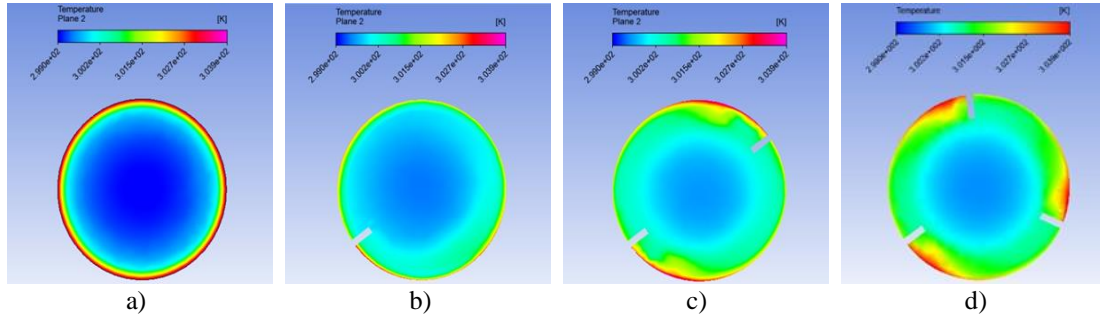
Şekil 6'da ise çift helisel kanatçıklı boru ve hacimsel karışım oranı %2,5 olduğu durum için farklı kesit alanlarında çizilen sıcaklık dağılımları birlikte verilmektedir. Bir önceki şekle benzer olarak, akış boyunca akışkan ortalama sıcaklığı artmakta ve sınır tabaka ise genişlemektedir. Boru yüzeyinden boru merkezine doğru ise akışkan sıcaklığı azalmaktadır. Ancak düz boruda oluşan sıcaklık dağılımından farklı olarak, kanatçık eklentisi ile boru yüzeyine yakın bölgelerdeki sıcaklık dağılımının farklılaştığı görülmektedir. Kanatçığın helisel yapısından kaynaklı olarak

radyan yönde ısı sınır tabaka kalınlığı bozulmaktadır. Bundan dolayı kanatçığın bir tarafında yüksek sıcaklık bölgelerinin diğer tarafında ise düşük sıcaklık bölgelerinin olduğu görülmektedir. Ayrıca su içerisine nanopartikül ilave edilmesi ile ısı transferinin arttığı ve bundan dolayı boru çıkışında ortalama akışkan sıcaklığının bir önceki şekle göre arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 6. Çift helisel kanatçıklı boru ve hacimsel oran %2,5 olduğunda, boru uzunluğu boyunca farklı kesitler için sıcaklık dağılımı a) 0,01 m, b) 1 m, c) 1,99 m ve d) Boru uzunluğu boyunca.

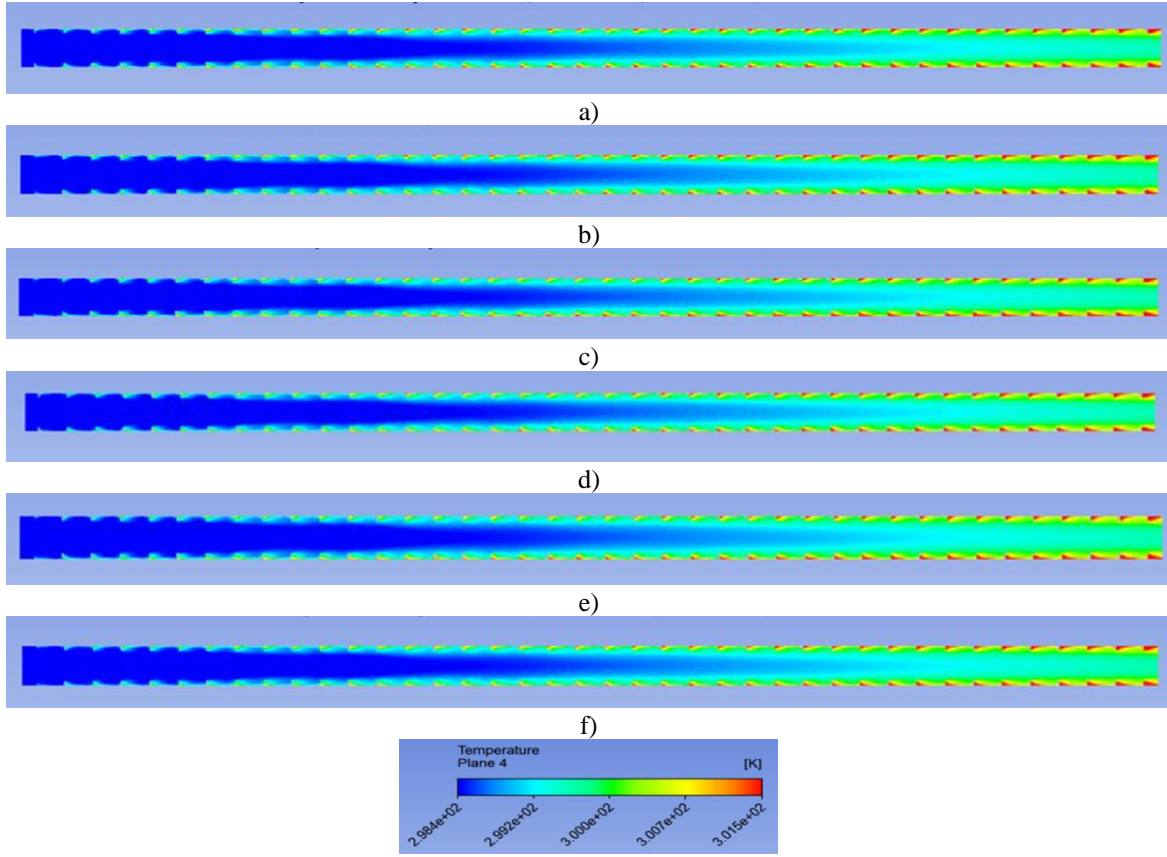
Şekil 7’de hacimsel karışım oranı %2,5 olduğu durumda, 4 model geometrinin boru girişinden 1,99 m sonrasında alınan bir kesit için elde edilen sıcaklık dağılımları verilmektedir. Dört geometride de boru yüzeyinden boru merkezine doğru bir sıcaklık azalışı görülmektedir. Kanatçiksız borunun yüzey sıcaklığının, diğer modellere göre daha yüksek sıcaklıkta olduğu gözlemlenmiştir. Kanatçık eklentisi ile boru yüzey sıcaklığının azaldığı, akışkan sıcaklığının ise arttığı belirlenmiştir. Kanat sayısı arttıkça akışkanın ısı sınır tabakasının kalınlığının arttığı, ancak kanatçığa yakın bölgelerde ısı sınır tabakanın genel yapısının bozulduğu görülmüştür. Çift kanatçıklı ve üç kanatçıklı borularda, kanatçıkların bir tarafında yüksek yüzey sıcaklıkları diğer tarafında ise düşük yüzey sıcaklıkları gözlemlenmiştir.



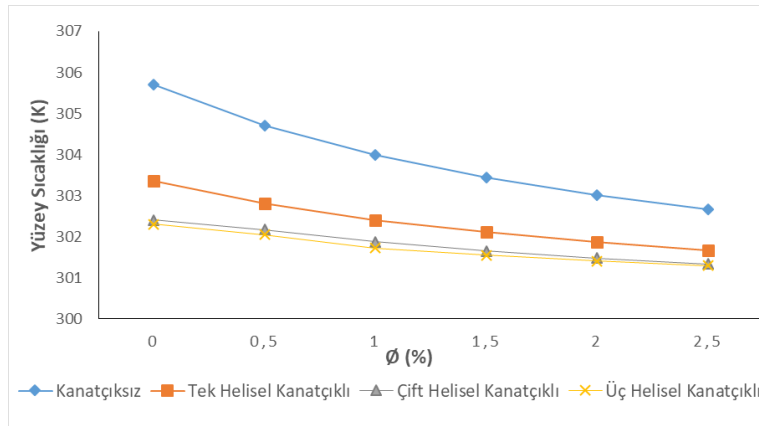
Şekil 7. Hacimsel karışım oranı %2,5 iken farklı model geometrileri için sıcaklık dağılımları a) Kanatçiksız, b) Tek helisel kanatçıklı, c) Çift helisel kanatçıklı ve d) Üç helisel kanatçıklı.

Şekil 8’de çift helisel kanatçığa sahip modelde, farklı hacimsel karışım oranları için boru eksenı boyunca alınan kesitin sıcaklık dağılımları birlikte verilmiştir. Şekiller incelendiğinde, helisel kanatçık kaynaklı olarak boru uzunluğu boyunca ısı sınır tabakanın dalgalı bir yapı oluşturduğu görülmektedir. Tüm şekillerde akışın boru çıkışından önce ısı olarak tam geliştiği görülmektedir. Akışkanın hacimsel karışım arttıkça, akışın ısı giriş uzunluğu azalmakta ve akış ısı olarak tam gelişmiş şartlara daha önce ulaşmaktadır. Nanoakışkanın hacimsel karışım oranının artırılması ile gerçekleşen ısı transfer de artış göstermektedir.

Şekil 9’da farklı model geometrileri için, ortalama yüzey sıcaklığının hacimsel karışım oranı ile değişimini gösteren eğriler birlikte verilmiştir. Tüm karışım oranlarında en yüksek yüzey sıcaklıkları kanatçiksız boruda görülmüştür. Sabit hacimsel karışım oranı için, kanatçık sayısı arttıkça ortalama yüzey sıcaklığı azalmıştır. Genel olarak tüm modellerde hacimsel karışım oranının artırılması ile ortalama yüzey sıcaklığı azalmıştır. Kanatçiksız boruda hBN-su nanoakışkanının karışım oranının %2,5’e çıkarılması ile, suya (%) göre ortalama yüzey sıcaklığında yaklaşık 5 °C kadar bir azalış gözlemlenmiştir.



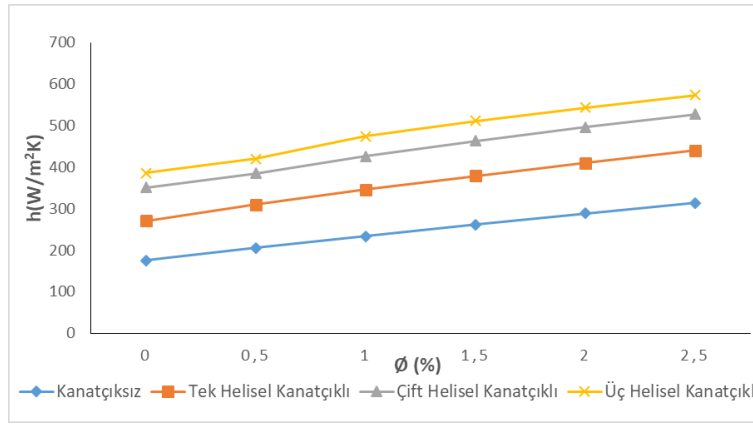
Şekil 8. Çift helisel kanatçıklı boruda farklı hacimsel karışım oranları için sıcaklık dağılımı a) %0, b) %0,5, c) %1, d) %1,5, e) %2 ve f) %2,5.



Şekil 9. Farklı modeller geometrileri için, ortalama duvar sıcaklığının hacimsel karışım oranı ile değişimi.

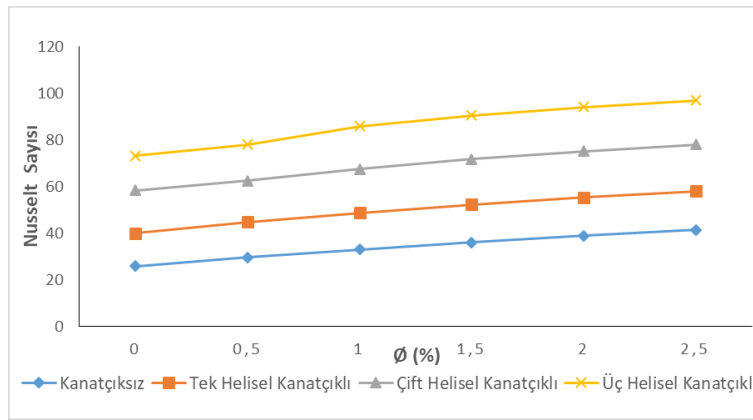
Farklı model geometrileri için, ortalama ısı taşınım katsayısının hacimsel karışım oranı ile değişimi ise Şekil 10'da görülmektedir. Şekil incelendiğinde, tüm karışım oranları için ortalama ısı transfer katsayısının en yüksek değeri üç helisel kanatçıklı boruda, en düşük değeri ise kanatçksız boruda gerçekleşmektedir. Sabit karışım oranı için, helisel kanatçık sayısı arttıkça ısı transfer katsayısı artış göstermektedir. Hacimsel karışım oranının %2,5 için, ısı taşınım katsayısının değeri tek helisel kanatçıklı, çift helisel kanatçıklı ve üç helisel kanatçıklı borularda kanatçksız boruya göre sırasıyla %40,03, %67,95 ve %82,51 kadar artış göstermiştir. Ayrıca tüm geometrilerde, hacimsel karışım oranının artırılması ile ısı taşınım katsayısının değeri de artış göstermektedir. Bu artış saf suya (%0) göre, kanatçksız, tek kanatçıklı, çift kanatçıklı ve üç kanatçıklı geometriler için sırasıyla %78,98, %62,29, %50,15 ve %48,59 kadardır.

Şekil 11'de akışım ortalama Nusselt sayısının nanoakışkanın hacimsel karışım oranıyla değişimi farklı geometrik modeller için birlikte görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, tüm geometrik modeller için hacimsel karışım oranı arttıkça Nusselt sayısının değeri de artış göstermektedir. Nanoakışkanın hacimsel karışım oranının %0'dan %2,5'e çıkarılması ile, kanatçksız, tek helisel kanatçıklı, çift helisel kanatçıklı ve üç helisel kanatçıklı borular için ortalama Nusselt sayısının değeri sırasıyla %59,61, %44,72, %33,89 ve %32,51 kadar artış göstermektedir. Ayrıca kanatçık sayısının artması da Nusselt sayısının değerini artırmaktadır. Hacimsel karışım oranı %2,5 için, tek helisel



Şekil 10. Farklı modeller geometrileri için, ortalama ısı taşınım katsayısının hacimsel karışım oranı ile değişimi.

kanatçıklı, çift helisel kanatçıklı ve üç helisel kanatçıklı boruda ortalama Nusselt sayısının değeri kanatçiksiz boruya oranla sırasıyla %40,03, %88,71 ve %134,41 kadar artış göstermektedir.



Şekil 11. Farklı modeller geometrileri için, ortalama Nusselt sayısının hacimsel karışım oranı ile değişimi.

4. SONUÇ

Bu çalışmada iç yüzeyinde helisel kanatçıga sahip borularda hBN-su nanoakışkanının kullanımının ısı transferi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla kanatçiksiz, tek helisel kanatçıklı, çift helisel kanatçıklı ve üç helisel kanatçıklı olmak üzere dört farklı model belirlenmiştir. Boru yüzeyine sabit bir ısı akısı uygulanmıştır. Nanoakışkanın hacimsel karışım oranı %0 ile %2,5 aralığında değiştirilerek analizler yapılmıştır. Analizlerin sonucunda, düz boruya helisel yapıda kanatçık ilave edilmesinin ısı transferini geliştirdiği gözlemlenmiştir. Helisel kanatçık sayısı arttıkça, akışın ısı taşınım katsayısı ve Nusselt sayısı artış göstermiştir. Üç helisel kanatçıklı borunun ısı taşınım katsayısı ve Nusselt sayısında kanatçiksiz boruya oranla sırasıyla yaklaşık %82,51 ve %134,41 kadar artış gözlemlenmiştir. Nanoakışkanın hacimsel karışım oranının artırılması da ısı transferini artırmıştır. Üç helisel kanatçıklı boru için hacimsel karışım oranının %0'dan %2,5 artırılması ile, ısı taşınım katsayısı ve Nusselt sayısının sırasıyla yaklaşık %48,59 ve %32,51 kadar arttığı görülmüştür. Sonuç olarak düz bir boruya helisel kanatçık eklentisinin ve su yerine hBN-su nanoakışkanının kullanımının ısı transferi üzerinde olumlu yönde etkisi olduğu belirlenmiştir.

Yazar Katkıları

Mustafa Doğan: Literatür incelemesine, sayısal doğrulamaya, ağ yapısından bağımsızlığın sağlanmasına, sayısal analizlerin yapılmasına, makalenin taslağının yazımına, şekil ve grafiklerin oluşturulmasına katkı sağlamıştır.

Tolga Demircan: Makalenin konusunun ve kapsamının belirlenmesine, makalenin yazımına, şekil ve grafiklerin irdelenmesine, makale içeriğinin derlenmesine ve metnin son okumasına katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler

KAYNAKÇA

[1] E. Çiftçi, A. Sözen, E. Karaman, "TiO₂ İçeren Nanoakışkan Kullanımının Isı Borusu Performansına

Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi", Politeknik Dergisi, vol.19, no. 3, pp. 367-376, 2016.

- [2] E. B. Elçioğlu, A. G. Yazıcıoğlu, S. Kakaç, "Nanoakışkan Viskozitesinin Karşılaştırmalı Değerlendirmesi", *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, vol. 34, no.1, pp. 137-151, 2014.
- [3] B. Jalili, N. Aghaee, P. Jalili, D. D. Ganji, "Novel usage of the curved rectangular fin on the heat transfer of a double-pipe heat exchanger with a nanofluid", *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 35, p. 102086, 2022.
- [4] N. B. Ziyadanoğulları, H. L. Yücel, "Al₂O₃-Su Nanoakışkan İle Isı Transferinin İyileştirilmesi", *Batman University Journal of Life Sciences*, vol. 7, no. 2/2, pp. 253-260, 2017.
- [5] M. Kahveci, T. Koca, "Plaka Tip Isı Değiştiricide Grafit/Saf Su Nanoakışkan Kullanımının Isıl Performansa Etkisi", *European Journal of Science and Technology*, no. 25, pp. 400-405, 2021.
- [6] M. Tekir, M. Bayat, K. Arslan, "Energy, Entropy and Exergy Analyses of Hybrid Nanofluid Flow in a Trapezoidal Channel", *Mugla Journal of Science and Technology*, vol. 7, no. 1, pp. 106-116, 2021.
- [7] N. Tokgoz, V. Ozbolat, B. Sahin, "Investigation of Heat Transfer Enhancement by Using Al₂O₃/Water Nanofluid in Rectangular Corrugated Channel", *KSU. Journal of Engineering Sciences*, vol. 19, no. 2, pp. 42-51, 2016.
- [8] S. Akçay, Ü. Akdağ, O. Hacıhafizoğlu, D. Demiral, "Boru demeti üzerinden geçen Al₂O₃-su nanoakışkanın pulsatif akışının ısı transferine etkisi", *DÜMF Mühendislik Dergisi*, vol.10, no. 2, pp. 621-631, 2019.
- [9] K. Yu, C. Park, S. Kim, H. Song, H. Jeong, "CFD Analysis of nanofluid forced convection heat transport in laminar flow through a compact pipe", *Journal of Physics: Conference Series*, pp. 1-7, 2017.
- [10] M. M. Rahman, M. M. Billah, A. T. M. M. Rahman, M. A. Kalam, A. Ahsan, "Numerical investigation of heat transfer enhancement of nanofluids in an inclined lid-driven triangular enclosure", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 38, no. 10, pp. 1360-1367, 2011.
- [11] M. Sheikholeslami, M. Jafaryar, A. Shafee, Z. Li, R. Haq, "Heat transfer of nanoparticles employing innovative turbulator considering entropy generation", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 136, pp. 1233-1240, 2019.
- [12] S. R. Hosseini, M. Sheikholeslami, M. Ghasemian, D. D. Ganji, "Nanofluid heat transfer analysis in a microchannel heat sink (MCHS) under the effect of magnetic field by means of KKL model", *Powder Technology*, vol. 324, pp. 36-47, 2018.
- [13] K. Karabulut, E. Buyruk, F. Kılınç, "Grafen Oksit Nanoparçacıkları İçeren Nanoakışkanın Taşınım Isı Transferi ve Basınç Düşüşü Artışı Üzerindeki Etkisinin Düz Bir Boruda Deneysel Olarak Araştırılması", *Mühendis ve Makine*, vol. 59, no. 690, pp. 45-67, 2018.
- [14] S. E. Ghasemi, A. A. Ranjbar, "Thermal performance analysis of solar parabolic trough collector using nanofluid as working fluid: A CFD modelling study", *Journal of Molecular Liquids*, vol. 222, pp. 159-166, 2016.
- [15] U. Demir, "Mini Kanalda Nanoakışkan Kullanımının Isı Transferine Etkisinin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği A.B.D, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak*, 2019.
- [16] M. J. Hasan, S. F. Ahmed, A. A. Bhuiyan, "Geometrical and coil revolution effects on the performance enhancement of a helical heat exchanger using nanofluids", *Case Studies in Thermal Engineering*, vol.35, 102106, 2022.
- [17] S. Ramasubramanian, S. Baskar, R. S. Santhosh, "Experimental analysis of copper coated helical coiled tube heat exchanger using nanofluid and water", *Materials Today: Proceedings*, Available online, in Press, 2022.
- [18] D. Zheng, J. Du, W. Wang, J. J. Klemeš, J. Wang, B. Sundén, "Analysis of thermal efficiency of a corrugated double-tube heat exchanger with nanofluids", *Energy*, vol. 256, p. 124522, 2022.
- [19] N. S. Rajput, D. D. Shukla, L. Ishan, K. S. Madhav, "Enhancement of Nusselt number by using Al₂O₃ and TiO₂ Nanofluids in Heat Exchangers", *Materials Today: Proceedings*, vol. 47, no.18, pp. 6515-652, 2021.
- [20] M. Malika, R. Bhad, S. S. Sonawane, "ANSYS simulation study of a low volume fraction CuO-ZnO/water hybrid nanofluid in a shell and tube heat exchanger", *Journal of the Indian Chemical Society*, vol. 98, no. 11, p. 100200, 2021.
- [21] B. Saleh, L. S. Sundar, "Experimental study on heat transfer, friction factor, entropy and exergy efficiency analyses of a corrugated plate heat exchanger using Ni/water nanofluids", *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 165, p. 106935, 2021.
- [22] M. Fares, M. AL-Mayyahi, M. AL-Saad, "Heat transfer analysis of a shell and tube heat exchanger operated with graphene nanofluids", *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 18, p. 100584, 2020.