

Araştırma Makalesi - Research Article

Spiral Isı Eşanjöründe Farklı Su- Al_2O_3 Nanoakışkan Karışımlarının Termal Davranışlarının Karşılaştırılması

Comparison of Thermal Behaviors of Different Water/ Al_2O_3 Nanofluid Mixtures in a Spiral Heat Exchanger

Mehmet Kan^{1*}

Geliş / Received: 08/07/2021

Revize / Revised: 05/12/2021

Kabul / Accepted: 09/12/2021

ÖZ

Son zamanlarda nanoteknolojinin gelişmesi, baz akışkanların ısı transfer özelliklerini geliştirmek için kullanılması fikrinin kullanılmasında artış olmuştur. Özellikle ısı eşanjörlerinde nanoakışkanların kullanılması yaygınlaşmıştır. Bu çalışmada, spiral bir ısı eşanjöründe farklı Al_2O_3 su nanoakışkan karışımlarının termal davranışlarının karşılaştırılması nümerik olarak incelenmiştir. Spiral ısı eşanjöründeki ısı transferinin bilgisayar destekli analizi su ve su bazlı nanoakışkanlar üzerinde yapılmıştır. Nanoakışkanlar içerisindeki Al_2O_3 nanoparçacığının farklı hacim konsantrasyonları (%1, %2 ve %3) ve su özellikleri belirlenerek, spiral bir ısı eşanjöründe analizleri gerçekleştirilmiştir. Nanoakışkanların termo fiziksel özelliklerinin nanopartiküllerin hacim konsantrasyonlarına ve sıcaklığa bağlı olarak değişimi gözlemlenmiştir. Isı transferi ve ortalama ısı transfer katsayısı, nanopartiküllerin farklı hacim konsantrasyonları için sayısal olarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışmadaki farklı hacim konsantrasyonları arasında en iyi sonuçlar %3 hacim konsantrasyonuna sahip nanoakışkanda elde edilmiştir. Ayrıca %3 hacim konsantrasyonuna sahip nanoakışkanda suya göre ısı transferinin %47 ve toplam ısı transfer katsayısının %24 daha iyi olduğu hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler- *Spiral Isı Eşanjörü, Nanoakışkan, Su/ Al_2O_3 , CFD*

ABSTRACT

Recently, with the development of nanotechnology, there has been an increase in the use of the idea of using base fluids to improve heat transfer properties. The use of nanofluids, especially in heat exchangers, has become widespread. In this study, the comparison of the thermal behavior of different Al_2O_3 water nanofluid mixtures in a spiral heat exchanger was investigated numerically. Computer aided analysis of the heat transfer in the spiral heat exchanger was carried out on water and water-based nanofluids. Different volume concentrations (1%, 2% and 3%) and water properties of Al_2O_3 nanoparticles in nanofluids were determined and analyzed in a spiral heat exchanger. It was observed that the thermophysical properties of nanofluids change depending on the volume concentration of the nanoparticles and the temperature. Heat transfer and average heat transfer coefficient were calculated numerically for different volume concentrations of nanoparticles, and the obtained results were compared. Among the different volume concentrations in the study, the best results were obtained in the nanofluid with 3% volume concentration. In addition, it has been calculated that the heat transfer is 47% better, and the total heat transfer coefficient is 24% better than water in the nanofluid with 3% volume concentration.

Keywords- *Spiral Heat Exchangers, Nanofluids, Water/ Al_2O_3 , CFD*

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: mehmetkan@sdu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-7336-1489>)
Makine Mühendisliği Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi, 32260, Isparta, Türkiye

I. GİRİŞ

Nanoakışkan teknolojideki gelişmeler doğrultusunda, çalışma sıvılarının ısı transfer özelliklerini iyileştirmek için nanopartiküllerin kullanılması yönelik çalışmalar artmıştır. Nanoakışkanların içerisine; farklı boyut, şekil ve konsantrasyon açısından nanopartiküllerin eklenmesiyle daha iyi soğutma sağlanabilmektedir. Endüstrilerde yaygın olarak kullanılan çalışma sıvıları (su, etilen glikol, yağ vb.), daha düşük termal iletkenlik değerleri nedeniyle genellikle ısı transfer özellikleri daha az olmaktadır. Bununla birlikte, nanopartiküllerin oldukça büyük olması; mikrometre boyutundaki nanopartiküllerden kaynaklanan sorunlar, hızlı yerleşme, aşınma, bileşenlerin kirlenmesi ve akış kanallarının tıkanmasına neden olmaktadır. Chon vd. [1], çalışmalarında Al_2O_3 nanoakışkanlarının termal iletkenliğinde nanoparçacık boyutunun önemini araştırmışlardır. Chopkar vd. [2], yaptıkları çalışmada Al_2Cu ve Ag_2Al nanoparçacık boyutu ve hacim fraksiyonunun, uygun Al-Cu ve Al-Ag elemental toz karışımı elde ederek bu nanoparçacıkları su ve etilen glikol içinde farklı parçacık boyutlarında incelemişlerdir. Bu karışımlarla nanoakışkanın termal iletkenlik oranında yüzde 100'e yakın bir artış gösterdiğini bildirmişlerdir. Ayrıca, ara yüzey tabakasının, nanoakışkanın içerisine nanoparçacık ilave edilmesinin termal iletkenlik oranını önemli ölçüde etkilediğini söylemişlerdir. Das vd. [3], bu çalışmada termal iletkenlik, nanoakışkanın konsantrasyonu ve sıcaklığı ile arttığını söylemişlerdir. Sıcaklıkla birlikte ısıl iletkenlikteki artış olduğunu, %0,3 konsantrasyonlu bir TiO_2 nanoakışkan kullanıldığında verimliliğin 0,73 iken sudan daha yüksek olduğunu hesaplamışlardır. Teng vd. [4], yaptıkları çalışmada, alümina (Al_2O_3)/su nanoakışkanlarının termal iletkenlik oranı üzerinde partikül boyutu, sıcaklık ve ağırlık fraksiyonunun etkisini incelemişlerdir. Yüksek termal iletkenlik oranları ve gelişmiş hassasiyet ile küçük nanoparçacık boyutu ve daha yüksek sıcaklık arasında bir korelasyon elde etmişlerdir. Gallego vd. [5], bu çalışmada, Al_2O_3 nanoparçacıklarının etilen glikol içinde dağıtılmasıyla elde edilen nanoakışkanların dağılımı ve stabilitesi, kütle fraksiyonunda %25'e kadar çeşitli konsantrasyonlarda analiz ettiklerini söylemişlerdir. Chandrasekar vd. [6], yaptıkları bu çalışmada, Al_2O_3/H_2O nanoakışkanın etkin termal iletkenliği ve viskozitesinin teorik olarak belirleyip deneysel olarak irdelemişlerdir. Khanafer vd. [7], yaptıkları bu çalışmada, nanoakışkanların termo fiziksel özellikleri içindeki varyantların inceleyerek kritik değerler için farklı korelasyonlar türetmişlerdir. Temel olarak daha küçük nanopartikül boyutlarına ihtiyaç duyulmuştur. Daha küçük nanopartikül boyutları sayesinde; nanoakışkanlar, üstün termal iletkenlik, geniş yüzey/hacim oranı, uzun süreli ısıl dengede kalma, homojenlik ve akış geçitlerinin tıkanma olasılığının azalması gibi normal çalışma sıvılarına göre birçok üstünlüklere sahip olmuşlardır [8]. Palm vd. [9], yaptıkları bu çalışmada, tipik radyal akışlı soğutma sistemleri içinde asılı metalik nanoparçacıklara sahip soğutucuların ısı transferini artırma yetenekleri sayısal olarak incelenmiştir. Nanoakışkanlarda kullanılan nanopartiküller, oksit seramikler (Al_2O_3 , CuO), metaller (Cu) ve yarı iletkenler (TiO_2) gibi çeşitli malzemelerden yapılmıştır. Al_2O_3 /su nanoakışkanlar ve su karşılaştırılarak ısı transferine etkisini incelemişlerdir. Nanopartikül hacim fraksiyonunun ısı transfer katsayısının arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca Reynolds sayısı ve nanopartikül hacmi fraksiyonu arttıkça kayma geriliminin arttığını söylemişlerdir [10].

Nanoakışkanlar tarafından ısı transferinin iyileştirilmesi, genel çalışma akışkanı olarak su kullanılan ısı eşanjörlerinde verimliliğinin artırılmasına katkı sağlamaktadır. Isı eşanjörleri gibi ısı transferi sağlayan cihazlarında nanoakışkanlar kullanılarak yapılan çalışmaların incelendiğinde, ısı transfer akışkanlarında nanopartiküllerin varlığının ısı transfer akışkanlarının ısıl iletkenlik etkinliğinin arttığını, böylece ısı eşanjörlerinin ısı transfer özelliklerinin geliştiğini ve nanopartiküllerin varlığının termal sınır tabakası kalınlığının azaldığını gözlemlenmişlerdir [11,12]. Farajollahi vd. [13], bu çalışmada, $\gamma-Al_2O_3$ /su ve TiO_2 /su nanoakışkanlarının ısı transfer özellikleri, türbülanslı akış koşulu altında bir kabuk ve borulu ısı eşanjöründe ölçtüklerini söylemişlerdir. Peclet sayısı, asılı nanopartiküllerin hacim konsantrasyonu ve partikül tipinin ısı karakteristikleri üzerindeki etkileri incelemişlerdir. Baz akışkana nanopartiküllerin eklenmesi, ısı transfer özelliklerinin önemli ölçüde arttığını gözlemlemişlerdir. Saiduravd. [14], bu çalışmada, spiral ısı eşanjörlerinde nanoakışkan kullanılması ısı transferine etkisini araştırmışlardır. Suya ilave edilen CuO ve TiO_2 nanopartiküllerinin sayı ve nanopartikül konsantrasyon seviyesine göre ısı transferine önemli ölçüde artırabileceğini gözlemlemişlerdir. Kakaç ve Pramuanjaroenkij [15] yaptıkları bu çalışmada, nanopartikül hacim fraksiyonundaki artışla hız bileşenlerinin arttığı ve bu da nanoakışkanlar içinde enerji taşınmasını arttırdığını söylemişlerdir. [16]. Dravidvd. [17], yaptıkları çalışmada, spiral ve düz boruların gelişen ve tam gelişmiş bölgelerinde sürtünme faktörü ve ısı transferi üzerindeki etkisini karşılaştırmışlardır. Sabit duvar sıcaklığında dikey bir spiral boru içerisinden gliserin akışının ısı transfer hızı ve basınç düşüşünü gözlemlemişlerdir. Spiral borularda ısı transfer katsayısının arttırdığı ve akışkanın sıcaklık artışının spiral geometrisine ve akış hızına bağlı olduğunu tespit etmişlerdir. Patankar vd. [18], bu çalışmada, helisel olarak sarılmış borularda hız ve sıcaklık alanlarını üç boyutlu parabolik akışlar için hesaplamışlardır. Eğrilik ikincil bir akış olduğunu ve Poiseuille akışının simetrik hız profilinden sapmalara neden olduğunu söylemişlerdir. Gelişmekte olan ve tam gelişmiş bölgelerdeki akış ve ısı transferi için korelasyonlar türetmişlerdir.

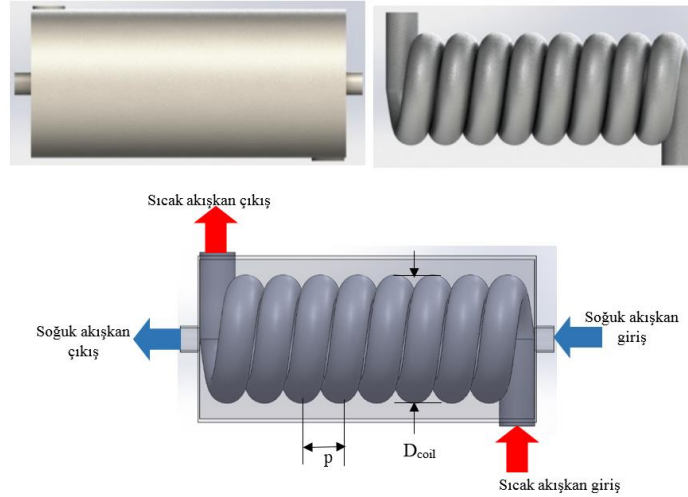
Kubair ve Kuloor [19], yaptıkları çalışmada, farklı spiral boru tiplerinde akan sulu gliserol çözeltilerine basınç düşüşü ve ısı transferini irdelemişlerdir. Literatürde \pm yüzde 10 sapma dahilindeki verileri analiz etmek için geleneksel momentum ve ısı transferi denklemleri türetmişlerdir. Prabhanjan vd. [20], yaptıkları çalışmada, sıvıları ısıtmak için düz borulu bir ısı eşanjörüne karşı helisel olarak sarılmış bir ısı eşanjörü kullanarak arasındaki farkları incelemişlerdir. Naphon ve Wongwises [21], yaptıkları bu çalışmada, kavisli borularda tek fazlı ve iki fazlı akışın ısı transferi ve akış özelliklerini incelemişlerdir. Kavisli boruları; helisel olarak sarılmış borular, spiral olarak sarılmış borular ve diğer sarmal borular olarak karşılaştırmışlardır. Tek fazlı ısı transfer katsayıları ile tek fazlı, iki fazlı sürtünme faktörleri hakkında korelasyonlar türetmişlerdir. Kumar vd. [22], bu çalışmada, boru içinde boru helisel olarak sarılmış (TTHC) bir ısı eşanjörü, hem iç hem de dış borudaki farklı akışkan akış hızları için akışkan akışı ve ısı transfer özellikleri için sayısal olarak incelemişlerdir. Kütle, momentum ve ısı transferi için üç boyutlu temel denklemler, bir kontrol hacmi sonlu farklar yöntemi (CVFDM) kullanılarak korelasyonlar türetmişlerdir.

Bu çalışmadaki temel amaç, spiral ısı eşanjörlerinde farklı su bazlı nanoakışkanlar tarafından ısı transferine etkisi araştırılmıştır. Spiral ısı eşanjöründe çalışma sıvısı olarak su ve Al_2O_3 nanopartiküllerine ait nanoakışkanlar seçilmiştir. Farklı hacim konsantrasyonlarındaki (%1, %2 ve %3) su- Al_2O_3 nanopartikülleri kullanılarak spiral ısı eşanjörünün termal özellikleri incelenmiştir. Isıl iletkenlik ve ısı transferleri için hesaplamalar yapılmış olup simülasyon programıyla analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları ve hesaplanan spiral ısı eşanjörünün verimi de dikkate alınarak elde edilen veriler karşılaştırılmıştır.

II. METERYAL VE METOT

A. Spiral Isı Eşanjörü Özellikleri ve Sınır Şartları

Spiral ısı eşanjöründe kütle akış hızı, spiral çapı ve helis aralığı önemli tasarım parametrelerindedir. Ayrıca nanopartiküller eklenerek, nanopartikül hacim konsantrasyonları olan çalışma sıvısı da başka bir tasarım parametresidir. Spiral ısı eşanjörü ve su tankının geometrisi Şekil 1 'de gösterilmektedir. Ayrıca spiral ısı eşanjöründeki su tankı ve helisel boruların özellikleri Tablo 1 'de verilmiştir.



Şekil 1. Spiral ısı eşanjörü ve su tankının geometrisi

Tablo 1. Spiral ısı eşanjörünün geometrik özellikleri

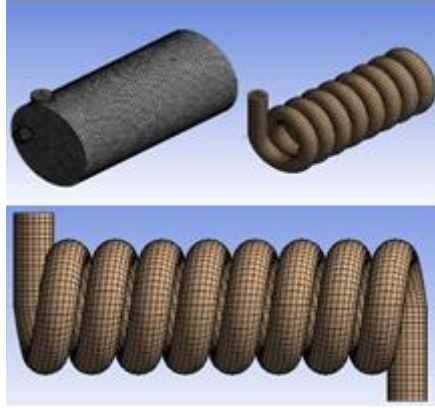
Sıcak akışkan boru giriş ve çıkış çapları (D_{hot})	18 mm
Soğuk akışkan boru giriş ve çıkış çapları (D_{cold})	13 mm
Helis aralığı (p)	21.25 mm
Halka çapı (D_{coil})	54 mm

Helisel boruların giriş ve çıkış çapları 18 mm ve su tankının giriş ve çıkış çapları 13 mm'dir. Analizlerde sıcak ve soğuk suyun giriş sıcaklıkları ve kütle akış oranları sırasıyla $T_{hot}=60$ °C, $T_{cold}=15$ °C ve $\dot{m}_{hot}=0.2$ kg/s, $\dot{m}_{cold}=0.11$ kg/s. Ayrıca farklı hacim konsantrasyonlarındaki (%1, %2 ve %3) su- Al_2O_3 nanopartikülleri kullanılmıştır. nanoakışkanlar sıkıştırılmaz ve akış laminerdir. Baz sıvıdaki katı nanopartiküller çok küçüktür, bu nedenle nanoakışkanların iki fazlı karışımlar olmasına rağmen, tek fazlı sıvı olarak kabul etmişlerdir [20]. Bu

nedenle, yapılan çalışmada da düşük hacimli parçacık fraksiyonlarına sahip nanoakışkanlar tek fazlı akış olarak kabul edilmiştir.

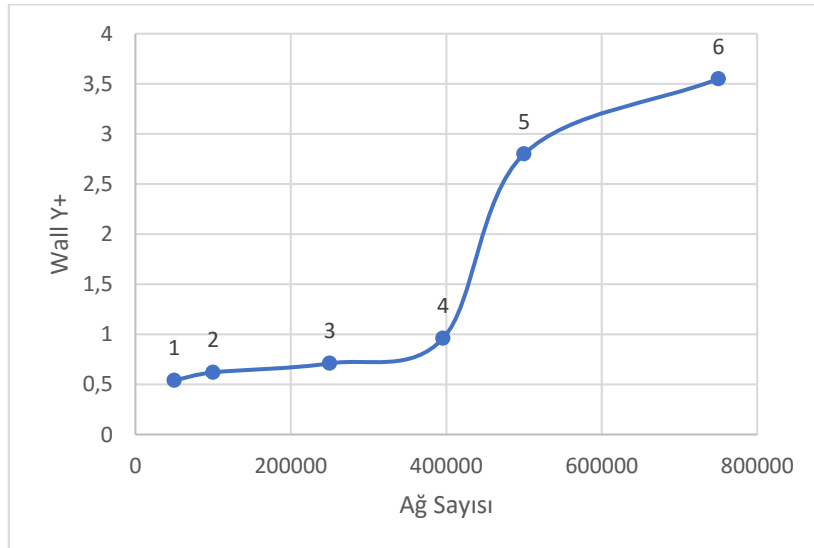
B. Sistemin Sayısal Analizi

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizlerinde sayısal ağ yapısı oluşturulmuştur. Spiral ısı eşanjörü akış hacmi için Tetra Hedral sayısal ağ yapısı geometrisi kullanılmıştır. Şekil 2’de görüldüğü gibi spiral ısı eşanjörü ve su tankı dolmuş analizi için oluşturulan ağ yapısı verilmiştir. Bu modelde 395758 eleman, 128498 adet düğüm noktası bulunmaktadır.



Şekil 2. Spiral ısı eşanjörü ve su tankının ağ yapısı

Sonlu hacimler ile ilgili yapılan sayısal çalışmalarda düzgün ve kaliteli bir ağ oluşturmak sonuçların doğruluğu açısından çok önemlidir. Bu yüzden sayısal çalışmalarda ağ kalitesi aranmaktadır. Ancak analizi yapılan geometrilerin karmaşıklığı arttıkça bu ağ kalitesini elde etmek zorlaşmaktadır. Sayısal çalışmaların doğrulanmasında başvurulan yöntemlerden birisi de ağdan bağımsızlık testleridir. Sayısal çözümlemelerde ağ sayısı artmasına rağmen sonuç belli bir değerden sonra değişmiyorsa, çözümlemelerde ağdan bağımsızlık elde edilmektedir. Şekil 3’te ağ bağımsızlık test grafiği verilmiştir.



Şekil 3. Ağ bağımsızlık test grafiği

Ağdan bağımsızlık testleri sırası 6 farklı ağ sayılarında yapılmıştır. Şekil 3’te görüleceği üzere 395758 düğüm noktasında yapılan çözümlemelerden sonra Wall Y+ değerinde çok fazla değişim gözlemlenmemiştir. Tablo 2’de nümerik hesaplamalarda kullanılan yaklaşımlar verilmiştir.

Tablo 2. Nümerik hesaplamalarda kullanılan yaklaşımlar ve parametreler

Simülasyon koşulu	Zamandan bağımsız
Çözücü tipi	Basınca dayalı çözücü
Viskoz model	Standard $k - \epsilon$ türbülans modeli
Hız-basınç etkileşimi	SIMPLE algoritması
Ayrıklaştırma yöntemi	İkinci dereceden merkezi farklar metodu
Basınç, momentum ve enerji denklemleri	İkinci dereceden merkezi farklar metodu
Türbülans kinetik enerji ve türbülans dağılım oranı	İkinci dereceden merkezi farklar metodu

C. Ansys-Fluent Yazılımında Kullanılan Temel Denklemler ve Analiz Çözümlemesindeki Metotlar

Ansys-Fluent sonlu hacim yöntemine göre diğer modelleme programları kullanılabilir. Örgü dosyası, program sınır koşulları ile sınırlandırılır ve parametreler, sistem için bir çözüm uygulanarak seçilir. Arka planda çalışan Ansys-Fluent programı, aşağıdaki denklemleri kullanarak bir sistem çözümü sunar. Sayısal analiz üç boyutlu çalışır, kütle korunumunu kullanır ve momentum ve enerji denklemlerini çözmek için zamandan bağımsız olduğu varsayılır [25]. Aşağıdaki formülasyon, sarmal borularda üç boyutlu laminer akışı ve tek fazlı modeli yöneten diferansiyel denklemleri temsil eder:

Süreklilik Denklemi Denklem (1)'de gösterilmiştir.

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

Momentum Denklemi Denklem (2)'de gösterilmiştir.

$$\frac{\partial}{\partial x_j} = \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \rho u_j u_i - \delta_{ij} p \right] + \rho g_i = 0 \quad (2)$$

Enerji Denklemi Denklem (3)'te gösterilmiştir.

$$\frac{\partial}{\partial x_j} = \left[k \left(\frac{\partial T}{\partial x_j} - \rho u_j C_p T \right) + \mu \Phi_v \right] = 0 \quad (3)$$

Burada $\mu \Phi_v$ viskoz ısıtma terimini gösterir. Denklem (4)'te Φ_v verilmiştir.

$$\Phi_v = \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \mu_i \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \delta_{ij} \right] \quad (4)$$

Bu çalışmada, tek fazlı modele sahip su bazlı nanakışkanlar içerisinde asılı nanopartiküllerin farklı konsantrasyonu nedeniyle, nanopartiküllerin baz sıvı ile aynı hızda hareket ettiği varsayılmıştır. Spiral ısı eşanjörü tankının duvarı yalıtılmıştır ve bu nedenle duvar koşullarının adyabatik bir sınır durumunda olduğu düşünülmüştür. Termal denge göz önüne alındığında, nanopartikül sıvı karışımının, bileşenlerin işlevleri olarak değerlendirilecek özelliklere sahip klasik tek fazlı homojen bir sıvı gibi davrandığı düşünülmüştür.

D. Isı Eşanjörünün Termodinamik Analizi

Sadece akışkanlar arasında olan ve çevreye ısı kaybının olmadığı adyabatik ortam kabul edilen bir ısı eşanjöründe ısı transferi Denklem (5) ile hesaplanabilir.

$$\dot{Q} = k A \Delta T_m \quad (5)$$

E. Nano sıvıların termofiziksel özellikleri

Nanopartiküllerin temel sıvıya eklenmesi sıvının termo fiziksel özelliklerini değiştirir. Yoğunluk, ısı iletkenlik, özgül ısı kapasitesi ve viskozitesi değişiklik göstermektedir. Literatür araştırmalarına göre, birkaç bilim adamı termo fiziksel özellikleri tahmin etmek için çeşitli bağıntılar önermişlerdir [21-26]. Ancak önerilen bu korelasyonların parçacık malzemesi, boyutu, hacim oranı ve sıcaklık gibi pek çok parametrenin nanoakışkanların özelliklerini etkilediği bildirmişlerdir. Yoğunluk denklemi Denklem 6'da verilmiştir [21]:

Yoğunluk:

$$\rho_{nf} = \phi \rho_p + (1 - \phi) \rho_w \quad (6)$$

Su ve Al_2O_3 'ün yoğunlukları sırasıyla 998.2 ve 3880 kg/m^3 'tür.[22]. Isı kapasitesi Denklem 7'de verilmiştir [23]:

$$C_{pnf} = \phi(\rho_p C_{ps}) + (1 - \phi)(\rho_s C_{ps}) / \rho_{nf} \quad (7)$$

Su ve Al_2O_3 'ün ısı kapasiteleri sırasıyla 4182 ve 729 W/kg. K'dir [22]. Isıl iletkenlik denklemi Denklem 8-11'de gösterilmektedir.

Sabit durumda [24]

$$k_{nf} = \left[\frac{k_p + 2k_w + 2(k_p - k_w)(1 + \beta)^3 \phi}{k_p + 2k_w - (k_p - k_w)(1 + \beta)^3 \phi} \right] k_w \quad (8)$$

Sıcaklığa bağlı olması halinde [25]

$$k_{nf}(1\%) = -7.294 \times 10^{-6} T^2 + 5.851 \times 10^{-3} T - 0.468 \quad (9)$$

$$k_{nf}(2\%) = -7.495 \times 10^{-6} T^2 + 6.011 \times 10^{-3} T - 0.481 \quad (10)$$

$$k_{nf}(3\%) = -7.699 \times 10^{-6} T^2 + 6.175 \times 10^{-3} T - 0.492 \quad (11)$$

Viskozite denklemi Denklem (12-15)'te verilmiştir

Sabit durumda [26]

$$\mu_{nf} = (1 + 2.5\phi) \mu_w \quad (12)$$

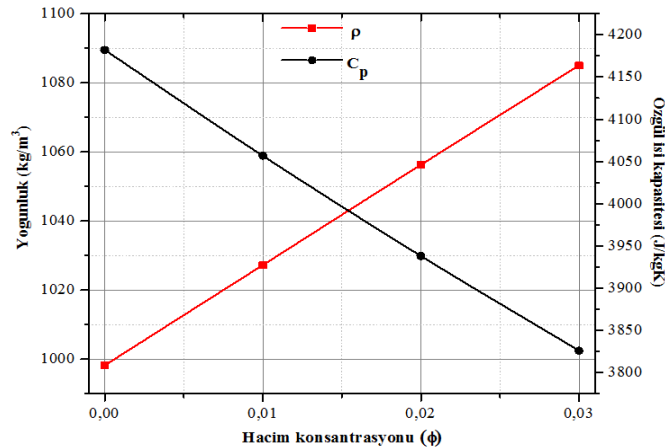
Sıcaklığa bağlı olması halinde [25]

$$\mu_{nf}(1\%) = 3.657 \times 10^{-11} T^4 - 4.882 \times 10^{-8} T^3 + 2.454 \times 10^{-5} T^2 - 5.511 \times 10^{-3} T + 0.467 \quad (13)$$

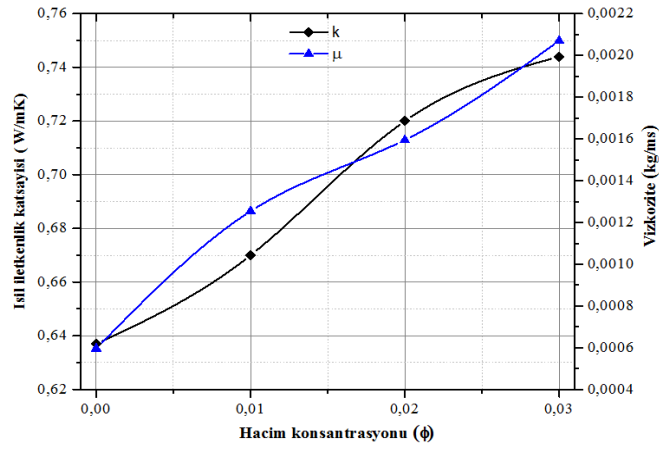
$$\mu_{nf}(2\%) = 3.977 \times 10^{-11} T^4 - 5.309 \times 10^{-8} T^3 + 2.668 \times 10^{-5} T^2 - 5.99 \times 10^{-3} T + 0.508 \quad (14)$$

$$\mu_{nf}(3\%) = 4.514 \times 10^{-11} T^4 - 6.026 \times 10^{-8} T^3 + 3.028 \times 10^{-5} T^2 - 6.801 \times 10^{-3} T + 0.577 \quad (15)$$

Şekil 4 ve 5'te, su- Al_2O_3 'ün farklı hacim konsantrasyonundaki yoğunlukları, özgül ısı kapasiteleri, ısıl iletkenlik katsayıları, dinamik viskoziteleri karşılaştırılmıştır. Su bazlı akışkana Al_2O_3 nanoparçacıklarının eklenmesi, ısı transfer akışkanının yoğunluğunun, dinamik viskozitesinin, termal iletkenliğinin, ısı transfer hızının ve toplam ısı transfer katsayısının artmasına neden olur. Ancak, Al_2O_3 nanoparçacıklarının eklenmesiyle su bazlı akışkanın özgül ısı kapasitesi azalmıştır.



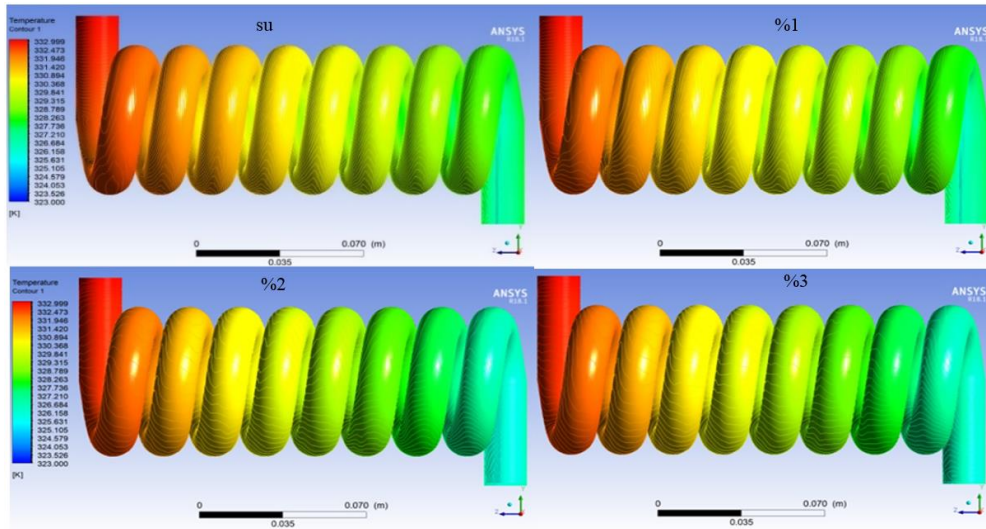
Şekil 4. Farklı hacim konsantrasyonlu nanoakışkanların yoğunluğu ve özgül ısı kapasitesi



Şekil 5. Farklı hacim konsantrasyonlu nanoakışkanların termal iletkenliği ve dinamik viskozitesi

III. ARAŞTIRMA BULGULAR

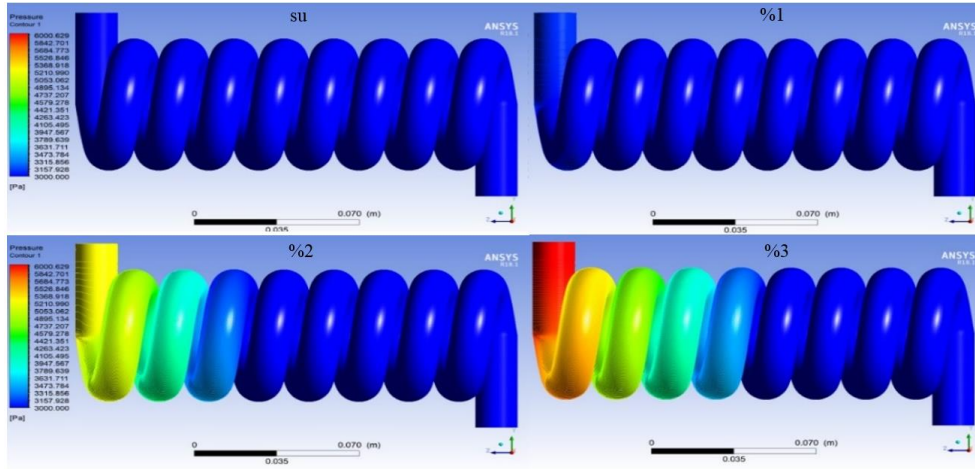
Spiral bir ısı eşanjöründe su ve farklı Al_2O_3 nanoakışkan karışımlarının termal davranışlarına ait CFD simülasyon sonuçları Şekil 6-8'de gösterilmektedir. Al_2O_3 'ün sudaki farklı partikül hacim konsantrasyonları (%1, %2, %3) kullanılmıştır. Şekil 6'da spiral ısı eşanjöründeki farklı hacim konsantrasyonlarının sıcaklık dağılımlarının karşılaştırması gösterilmektedir.



Şekil 6. Spiral ısı eşanjöründe farklı hacim konsantrasyonlarının sıcaklık dağılımlarının karşılaştırılması

Şekil 6'da görüldüğü gibi sıcaklık dağılımları %3 hacim konsantrasyonuna sahip ısı eşanjöründe daha homojen ve daha iyi sıcaklık sonuçları elde edilmiştir. Sıcaklık dağılımının daha homojen olması daha iyi ısı transferi gerçekleştiğini göstermektedir.

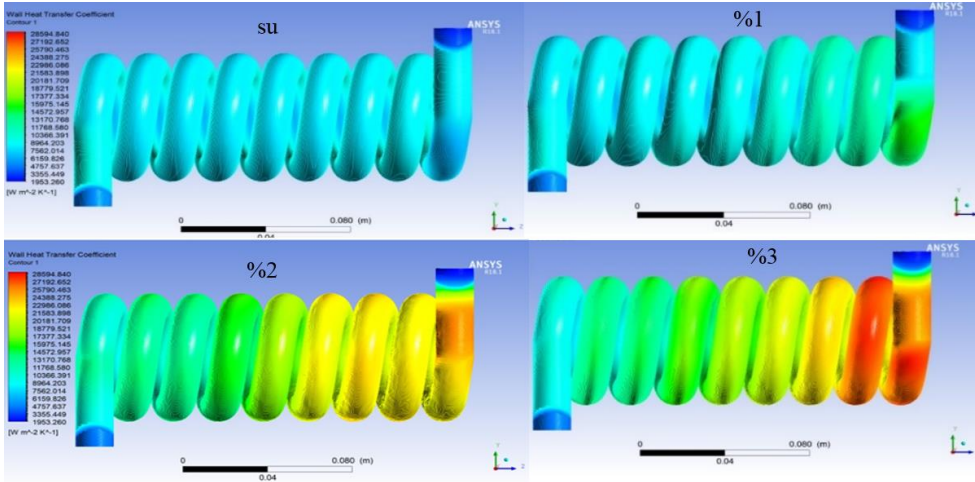
Şekil 7'de spiral ısı eşanjöründeki farklı hacim konsantrasyonlarının basınç dağılımlarının karşılaştırması gösterilmektedir.



Şekil 7. Spiral ısı eşanjöründe farklı hacim konsantrasyonlarının basınç dağılımlarının karşılaştırılması

Şekil 7'de spiral ısı eşanjöründe basınç düşüşü açısından %3 hacim konsantrasyonunda daha fazla olduğu görülmektedir. Basınç düşüşünün daha fazla olmasına rağmen, ısı transferi ve sıcaklık dağılımı yönünden avantajları olduğundan basınç kayıpları göz ardı edilebilmektedir.

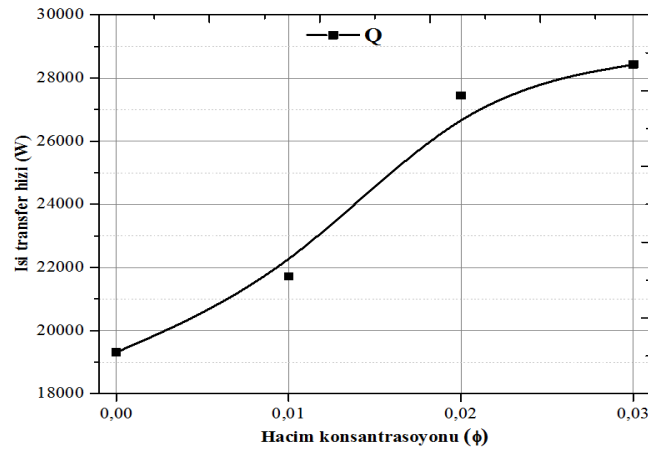
Şekil 8'de spiral ısı eşanjöründeki farklı hacim konsantrasyonlarının duvar ısı transfer katsayısı dağılımlarının karşılaştırılması gösterilmektedir.



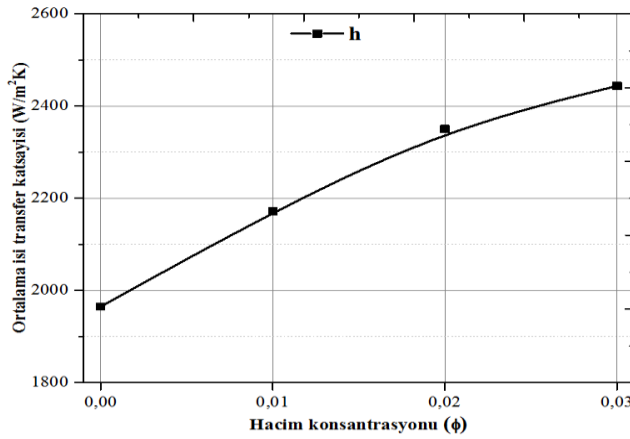
Şekil 8. Spiral ısı eşanjöründe farklı hacim konsantrasyonlarının duvar ısı transfer katsayısı dağılımlarının karşılaştırılması

Şekil 8'de görüldüğü gibi, spiral ısı eşanjöründe en iyi ısı transfer katsayısı %3 hacim konsantrasyonuna sahip ısı eşanjöründe olduğu gözlemlenmiştir. Sonuçlar, partikül hacim konsantrasyonu arttıkça ısı akışının ve ısı transferinin arttığını göstermektedir.

Şekil 9-10'da su- Al_2O_3 'ün farklı hacim konsantrasyonundaki ısı transfer hızları ve toplam ısı transfer katsayıları karşılaştırılmıştır. Su bazlı akışkana Al_2O_3 nanoparçacıklarının eklenmesi, ısı transfer akışkanının yoğunluğunun, dinamik viskozitesinin, termal iletkenliğinin, ısı transfer hızının ve toplam ısı transfer katsayısının artmasına neden olur. Ancak, Al_2O_3 nanoparçacıklarının eklenmesiyle su bazlı akışkanın özgül ısı kapasitesi azalmıştır.



Şekil 9. Farklı hacim konsantrasyonlu nanoakışkanların ısı transfer hızı



Şekil 10. Farklı hacim konsantrasyonlu nanoakışkanların toplam ısı transfer katsayısı

Sonuçlar, partikül hacim konsantrasyonu arttıkça ısı akışının ve ısı transferinin arttığını göstermektedir. Isı transferindeki artış, birçok uygulamalı mühendislik konularında oldukça önemli yere sahiptir. Dolayısıyla bu çalışmanın amacı, nano partiküllerin nanoakışkan ile ısı transferini artıran en iyi koşulu bulmaktır. Helisel borulardan akan nanoakışkanlar için elde edilen sonuçların karşılaştırılması, nanoakışkanların farklı hacim konsantrasyonuna bağlı özelliklerinin ısı transferini etkilediği gözlemlenmiştir. %3 hacim konsantrasyonuna sahip nanoakışkanın sudan %47 daha iyi ısı transferi gerçekleştirdiği ve toplam ısı transfer katsayısı %24 daha yüksek olduğu hesaplanmıştır. Su ve nanoakışkanlar tarafından elde edilen sonuçların karşılaştırılması, nanoakışkanların kullanılmasının her durumda ısı akışını ve ısı transferini geliştirdiğini ortaya koymaktadır.

IV. SONUÇLAR

Farklı hacim konsantrasyonlu nanoakışkanlara sahip spiral ısı eşanjörünün ısı transferi çalışması sayısal olarak değerlendirilmiştir. Çalışma, Al₂O₃ bazlı nanoakışkanların ısı transfer hızı ve toplam ısı transfer katsayısı üzerinde yoğunlaşmıştır. Sonuçlar, bu çalışmada şunlara işaret etmektedir:

- Nanoakışkanların viskozitesi ve termal iletkenliği de nanopartikül sayısı önemli bir faktördür. Bunun için helisel borulardaki sıvı akışının termal performansı gözönünde bulundurulur. Su ve nanoakışkan için elde edilen sonuçların karşılaştırılması ile nanoparçacıkların eklenmesinin termal performansı iyileştirdiği ortaya çıkmıştır.

- Yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, %3 hacimsel konsantrasyonlardaki Al₂O₃-su nanoakışkanına sahip ısı eşanjörünün verimliliğinin en iyi olduğunu göstermektedir. Sonuçlar ayrıca su bazlı ısı transfer akışkanına Al₂O₃ nanoparçacıklarının eklenmesinin sıcak akışkan sıcaklığını arttırdığını göstermektedir.

- Nanoakışkanlı spiral ısı eşanjörünün ısı transfer katsayısı suya göre daha yüksek olduğu hesaplanmıştır.
- Su bazlı akışkanlara nanopartiküllerin eklenmesiyle de termal iletkenlik artışı gözlemlenmiştir.

• Nanoakışkanlar, ısı transfer uygulamasında yeni ısı transfer akışkanları olarak düşünülebileceği ve gelecek çalışmalarda daha da geliştirilebileceği farklı alanlar olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Chon, C. H., Kihm K. D., Lee S. P., & Choi S. U. S. (2005). Empirical correlation finding the role of temperature and particle size for nanofluid (Al_2O_3) thermal conductivity enhancement. *Physics Letter*, 87, 1–3.
- [2] Chopkar, M., Sudarshan S., Das P. K. & Manna I. (2008). Effect of particle size on thermal conductivity of nanofluid. *Metals & Materials Society*, 39, 1535–1542.
- [3] Das, S. K., Choi S. U. S., Yu W. & Pradeep K. (2007). *Nanofluids Science and Technology*. John Wiley & Sons Inc., New York, 389.
- [4] Teng, T. P., Hung Y. H., Teng T. C., Moa H. E. & Hsu H. G. (2010). The effect of alumina water nanofluid particle size on thermal conductivity. *Thermal Engineering*, 30, 2213–2218.
- [5] Gallego, M. J. P., Lugo L., Legido J. L. & Pineiro M. M. (2011). Thermal conductivity and viscosity measurements of ethylene glycol based Al_2O_3 nanofluids. *Nanoscale Research Letters*, 6, 1–11.
- [6] Chandrasekar, M., Suresh S. & Bose A. C. (2010). Experimental investigations and theoretical determination of thermal conductivity and viscosity of Al_2O_3 water nanofluid. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 34, 210–216.
- [7] Khanafer, K., & Vafai K. (2011). A critical synthesis of thermophysical characteristics of nanofluids. *Heat and Mass Transfer*, 54, 4410–4428.
- [8] Mishra, A., Kundan L., & Mallick S. S. (2014). Modeling thermal conductivity for alumina-water nanofluids. *Particulate Science and Technology*, 32, 319–326.
- [9] Palm S.J., Roy G. & Nguyen C.T. (2006). Heat transfer enhancement with the use of nano-fluids in radial flow cooling systems considering temperature dependent proper-ties. *Applied Thermal Engineering*, 26, 2209–2218.
- [10] Roy G., Nguyen C. T. & Comeau M. (2006). Electronic component cooling enhancement using nanofluids in a radial flow cooling system. *Journal of Enhanced Heat Transfer*, 13, 101–115.
- [11] Pawel K., Jeffrey A. E. & David G. C. (2005). Nanofluids for thermal transport. *Materials today*, 8(6), 36–44.
- [12] Mohammed H. A., Bhaskaran G., Shuaib N. H. & Saidur R. (2011). Numerical study of heat transfer enhancement of counter nanofluids flow in rectangular microchannel heat exchanger. *Superlattices and Microstructures*, 50, 215–233.
- [13] Farajollahi B., Etemad S.G. & Hojjat M. (2010). Heat transfer of nanofluids in a shell and tube heat exchanger. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53, 12–17.
- [14] Saidura R., Leong K. Y. & Mohammad H. A. (2011). A review on applications and challenges of nanofluids. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 15, 1646–1668.
- [15] Kakaç S. & Pramuanjareonkij A. (2009). Review of convective heat transfer enhancement with nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52, 3187–3196.
- [16] Soleimani S., Sheikholeslami M., Ganji D.D. & Gorji B. M. (2012). Natural convection heat transfer in a nanofluid filled semi annulus enclosure. *International Communications in Heat and Mass transfer*, 39, 565–574.
- [17] Dravid A. N., Smith K. A., Merrill E. W. & Brain P. L. T. (1971). Effect of secondary fluid on laminar flow heat transfer in helically coiled tubes. *American Institute of Chemical Engineers Journal*, 17, 1114–1122.
- [18] Patankar S. V., Pratap V. S. & Spalding D. B. (1974). Prediction of laminar flow and heat transfer in helically coiled pipes. *Journal of Fluid Mechanics*, 62, 53–551.
- [19] Kubair V. & Kuloor N. R. (1996). Heat transfer to Newtonian fluids in coiled pipes in laminar flow. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 9, 63–75.
- [20] Prabhanjan D. G., Ragbavan G. S. V. & Kenni T. J. (2002). Comparison of heat transfer rates between a straight tube heat exchanger and helically coiled heat exchanger. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 29, 185–191.
- [21] Naphon P. & Wongwises S. (2006). A review of flow and heat transfer characteristics in curved tubes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10, 463–490.
- [22] Kumar, V., Faizee, B., Mridha, M. & Nigam, K. D. P. (2008). Numerical studies of a tube in tube helically coiled heat exchanger. *Chemical Engineering and Processing*, 47, 2287–2295.

- [23] Lee, Y. K. (2014). The use of nanofluids in domestic water heat exchanger. *J. Adv. Res. Appl. Mech*, 3 (1), 9-24.
- [24] Khedkar R. S., Sonawane S. S. & Kailas L. W. (2013). Water to Nanofluids heat transfer in concentric tube heat exchanger: Experimental study. *Procedia Engineering*, 51, 318-323.
- [25] FLUENT Manual, Chapter 14: Modeling Heat Exchangers; ANSYS, Inc.: Canonsburg, PA, USA, 2001. <https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/ug/node489.htm>
- [26] Jamshidi N., Farhadi M., Sedighi K. & Ganji D. D. (2012). Optimization of design parameters for nanofluids flowing inside helical coils. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39, 311-317.