



BOR DERGİSİ

JOURNAL OF BORON

<https://dergipark.org.tr/boron>



Güneş kolektörlerinde hegzagonal bor nitrür-su nanoakışkanının kullanımının ısı performans üzerindeki etkilerinin incelenmesi

Enes Arda Samur ¹, Tolga Demircan ^{1,*}

¹Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, 71450, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Makale Geçmişi:

İlk gönderi 7 Mayıs 2022
Kabul 1 Ağustos 2022
Online 30 Eylül 2022

Araştırma Makalesi

DOI: 10.30728/boron.1113557

Anahtar kelimeler:

Hegzagonal bor nitrür
Isıl performans
Nanoakışkan

ÖZET

Bu çalışmada parabolik güneş kolektöründe kullanılan toplayıcı bir borunun içine dikdörtgen spiral bir kanatçık eklenmesi ve nanoakışkan kullanımının ısı performansına olan etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Kanatçığın boru uzunluğu boyunca spiral sarım sayısı değiştirilerek dört adet model geometri oluşturulmuştur. Toplayıcı borunun içinden hegzagonal bor nitrür-su (hBN-su) nanoakışkanının geçtiği kabul edilmiştir. Laminer akışta ve sabit Reynolds sayısında (1500) yapılan hesaplamalarda, nano akışkanın hacimsel karışım oranları %0 ile %4 aralığında değiştirilmiştir. Farklı parametreler için Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yardımı ile analizler yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda, nanoakışkan içindeki hBN partikülünün hacimsel karışım oranı artırıldıkça ısı transferinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, toplayıcı boru içerisine eklenen kanatçığın sarım sayısının artırılması da ısı transferini artırmıştır. Toplayıcı boruya kanatçık eklenmesi ve hBN nanoakışkanının kullanımı ile, kanatçiksız ve içinden sadece su akan bir toplayıcı boruya göre, ısı taşınım katsayısının değeri yaklaşık %284, Nusselt sayısının değeri ise yaklaşık %256 artış göstermiştir.

Investigation of the effects of using hexagonal boron nitride-water nanofluid on thermal performance in solar collectors

ARTICLE INFO

Article History:

Received May 7, 2022
Accepted August 1, 2022
Available online September 30, 2022

Research Article

DOI: 10.30728/boron.1113557

Keywords:

Hexagonal boron nitride
Thermal performance
Nanofluid

ABSTRACT

In this study, the effects of adding a rectangular spiral fin inside a collector pipe used in a parabolic solar collector and the use of nanofluids on thermal performance were numerically investigated. Four model geometries were created by changing the number of spiral turns along the tube length of the fin. It is assumed that hexagonal boron nitride-water (hBN-water) nanofluid passes through the collector pipe. The volumetric mixing ratios of the nanofluid were changed between 0% and 4% under laminar flow and with Reynolds number constant as 1500. Analyses were made with the help of Computational Fluid Dynamics for different parameters. As a result of the study, it was observed that the heat transfer increased as the volumetric mixing ratio of the hBN particle in the nanofluid was increased. In addition, increasing the number of turns of the fin added in the collector pipe also increased the heat transfer. With the addition of fins to the collector tube and the use of hBN nanofluid, the value of the heat transfer coefficient increased by approximately 284% and the value of the Nusselt number increased by approximately 256% compared to a collector tube without fins and only water flowing through it.

1. Giriş (Introduction)

Dünyamızda hızlı nüfus artışı ve teknolojik gelişim sebebi ile her geçen gün enerji ihtiyacı artmaktadır. Bu enerji ihtiyacının büyük bir kısmı fosil kaynaklı yakıtlar ile karşılanmaktadır. Ancak fosil yakıt kullanımı çevre kirliliğine sebebiyet vermektedir. Çevre kirliliğini azaltmanın bir yolu ise alternatif enerji kaynaklarına (rüzgâr, güneş vb.) yönelmektir. Ayrıca enerji tüketiminin azaltılabilmesi için enerji tasarrufuna da dikkat

edilmesi büyük önem arz etmektedir. Bundan dolayı, günümüz araştırmacıları alternatif enerji kaynaklarının kullanılması, ısı enerjisinin kazanılması ve ısı verimini artırılması üzerine yapılan çalışmalara yönelmişlerdir.

Bu çalışmada, alternatif enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinin daha verimli kullanılması üzerinde durulmuştur. Günümüzde güneş enerjisini kullanılabilir enerjiye dönüştürmek için farklı güneş kolektör tipleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada parabolik güneş

*Corresponding author: tolgademircan@kku.edu.tr

kollektörünün toplayıcı borusu ele alınmıştır. Bu toplayıcı borudan gerçekleşen ısı transferi miktarının artırılarak, sistemin ısı performansının artırılması üzerine yoğunlaşmıştır. Toplayıcı boru içerisinde dolaşan akışkan türünün değişimi ile gerçekleşen ısı transferinde artış sağlanabileceği öngörülmüştür. Bu nedenle bu çalışmada incelenen toplayıcı borunun içinden, geleneksel akışkanlara oranla ısı iletkenlikleri daha yüksek olan nanoakışkanların kullanımının ısı performans üzerindeki etkileri incelenmiştir. Nanoakışkanlar (nanopartikül + baz akışkan), baz sıvı olarak su, sentetik yağlar, etilen glikol vb. kullanılan ve içine nano boyutlarda partiküller eklenerek oluşturulan karışımlardır. Eklenen nano partiküllerin ısı iletkenliğinin yüksek olması, nanoakışkanın ısı iletkenliğini yükseltmektedir [1]. Bundan dolayı baz akışkanın içine eklenen nano partiküller (Aluminyum oksit (Al_2O_3), titanyum dioksit (TiO_2), bakır oksit (CuO), vb.) sayesinde, oluşturulan nanoakışkanın ısı iletkenliği artmaktadır. Bu durum kullanıldığı sistemin ısı verimini artırmaktadır. Bu çalışmada baz akışkan olarak belirlenen suyun içine belirli oranlarda hBN nanopartikülü eklenerek oluşturulmuş bir nanoakışkan kullanılmıştır. hBN nano partikülünün kimyasal ve fiziksel özellikleri dikkate alındığında, termal, elektriksel ve mekanik yönden iyi bir bileşik olduğu görülmektedir. Bundan dolayı hBN birçok farklı alanda kullanılabilen bir malzemedir [2,3]. Görünüm olarak alüminaya benzer, zehirsiz ve kaygan bir yapıdadır. Bakır kadar yüksek bir termal iletkenliği sahiptir [2,4]. Bundan dolayı, hegzagonal bor nitrid (hBN) partikülünün su içerisine eklenmesi ile oluşturulan yeni nanoakışkanın ısı iletkenliği suya göre daha yüksek olmaktadır. Dolayısıyla yeni nanoakışkanın ısı transfer performansı da suya göre artış göstermektedir. Bu kapsamda, literatürde ısı sistemlerde nanoakışkan kullanımı üzerine yapılan çalışmalar kapsamlı olarak incelenmiş ve bir kısmı aşağıda verilmiştir.

Ijaz ve ark. [5] çalışmalarında, bir otomobil radyatöründe grafen katkılı nano soğutucunun termal özelliklerinin sayısal olarak incelemişlerdir. Bu kapsamda, grafen oksit (GO) nano partiküllerini baz sıvı olan suya katmışlardır. Giriş kütle akış hızı 2 L/dk ve hacimsel konsantrasyon oranı %6, %8 ve %10 için analizler yapmışlardır. GO nano partiküllerinin hacimsel konsantrasyon oranı %6, %8 ve %10 için sırasıyla 9,68 K, 10,89 K ve 11,9 K sıcaklık düşüşü gözlemlemişlerdir. Ayrıca nano partiküllerin karışıma eklenmesiyle birlikte radyatörün etkinliğinin de arttığını belirtmişlerdir. Naik ve ark. [6] çalışmalarında, nanoakışkanların ısı transferi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Farklı nano partiküller (Ag, TiO_2 , Al_2O_3 , Cu, Fe ve Au) için, hacimsel karışım oranını %2 ila %8 arasında değiştirerek nanoakışkanlar oluşturmuşlardır. Sonuç olarak, nano parçacığın hacimsel karışım oranı arttıkça ısı transfer hızında bir artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca, Au- H_2O nanoakışkanının incelenen diğer nanoakışkan tiplerine kıyasla daha iyi ısı performans gösterdiğini belirtmişlerdir. Huminic ve Huminic [7], çift borulu sarmal ısı değiştiricilerinde nanoakışkan kullanımının ısı transfer özelliklerini incelemek için üç boyutlu bir analiz

yapmışlardır. CuO ve TiO_2 nano partiküllerinin hacimsel karışım oranını %0,5–%3 aralığında değiştirmişlerdir. ısı değiştiricilerinde su yerine nanoakışkan kullanımı ile, ısı transfer oranının yaklaşık %19 arttığını tespit etmişlerdir. Kütleli debinin ve Dean sayısının artışı ile ısı transfer katsayısının arttığını belirtmişlerdir.

Salman ve ark. [8], bir mikrotüpte nanoakışkan kullanımının ısı transferi üzerindeki etkilerini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Bu amaçla 30 nm parçacık büyüklüğüne sahip Al_2O_3 ve silisyum dioksit (SiO_2) katkılı nanoakışkanları kullanmışlardır. Hacimsel karışım oranını %0,5 ile %1 arasında değiştirmişlerdir. Sonuç olarak, SiO_2 -su nanoakışkanının en yüksek, saf suyun ise en düşük Nusselt sayısına sahip olduğunu belirtmişlerdir. Nanoakışkan kullanımı ile ısı transferinin yaklaşık %22 arttığını gözlemlemişlerdir. Tüzün [1] mikro ısı değiştiricilerinde Al_2O_3 -su nanoakışkan kullanımının ısı transferi ve basınç farkı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Nanoakışkanın hacimsel oranlarını %1 ile %8 aralığında değiştirmiştir. Sonuç olarak, %8 hacimsel orana sahip Al_2O_3 -su nanoakışkan kullanımının en iyi termal performans sağladığını belirtmişlerdir. Soylu [9], bir otomobil radyatöründe soğutucu akışkan olarak nanoakışkan kullanmanın ısı performans üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Nanoakışkan olarak saf TiO_2 , gümüş katkılı TiO_2 ve bakır katkılı TiO_2 'yi incelenmiştir. Nano partiküller baz akışkan içerisine hacimsel karışım oranının %0,3-%2 aralığında eklemiştir. Temel akışkan için Reynolds sayısını 337-496 aralığında, nanoakışkanlar içinse 370-830 aralığında değiştirmiştir. Sonuç olarak, en iyi ısı performansın gümüş katkılı nanoakışkan kullanımı ile gerçekleştiğini gözlemlemiştir. Aytaç [10] yapmış olduğu çalışmada, CuO ve çinko oksit (ZnO) nano partikül eklenmiş nanoakışkanların ısı borularında kullanımını incelemiştir. Çalışmasının sonucunda, Reynolds sayısı 8800 ve CuO -su nanoakışkanının kullanımı ile, sıcak hava hızı 0,555 m/s ve soğuk hava hızı 0,751 m/s için sırasıyla ısı dirençte %71,8 ve %73,7 artış olduğunu belirtmiştir. Benzer olarak, ZnO -su nanoakışkanının kullanıldığı durumda ise, ısı dirençlerde sırasıyla %52,9 ve %50,9 artış gerçekleştiğini belirtmiştir.

Veeramanikandan ve ark. [11] çalışmalarında dairesel bir boruda nanoakışkan kullanımının ısı transferine etkisini incelemişlerdir. Nanoakışkan olarak Al_2O_3 - Su karışımı kullanımının ve su kullanımının ısı performansını, farklı kütle akış hızları (60 L/h, 75 L/h, 90 L/h) için karşılaştırmışlardır. Nanoakışkan kullanımının suya kıyasla daha yüksek ısı transferi sağladığını ortaya koymuşlardır. Nano partiküllerin baz sıvıya dahil edilmesiyle gerçekleşen ısı transferinin yaklaşık olarak yüzde 30 arttığını belirlemişlerdir. Dawood ve ark. [12] sabit ısı akısı uygulanmış eliptik bir boruda farklı nanoakışkanların kullanımı ile gerçekleşen ısı transferini sayısal olarak incelemişlerdir. Bu kapsamda, etilen glikol (EG) baz sıvısına, farklı boyutlarda (20, 40, 60 ve 80 nm) Al_2O_3 , CuO , SiO_2 ve ZnO partiküllerini ekleyerek, dört farklı nanoakışkan oluşturmuşlardır. Reynolds sayısının 200-1000 aralığı ve nanoparçacık hacim fraksiyonunun %0-4 aralığı için analizler yapmışlardır. Sonuç

olarak, SiO₂-EG nanoakışkanının en yüksek Nusselt sayısı değerine ulaştığını belirlemişlerdir. En düşük Nusselt sayısının ise saf etilen glikol için gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir. Nano parçacık hacim fraksiyonu ve Reynolds sayısı arttıkça, Nusselt sayısının arttığını ancak nano parçacık çapı arttıkça Nusselt sayısının azaldığını belirtmişlerdir.

Gnanavel ve ark. [13] çalışmalarında, çift borulu bir ısı değiştiricisinde ısı transferini arttırmak için nanoakışkan kullanmışlardır. Bu kapsamda, titanyum dioksit, berilyum oksit, çinko oksit ve bakır oksit olmak üzere dört farklı nanoakışkanın ele almışlardır. Reynolds sayısının artışı ile Nusselt sayısının arttığını, sürtünme faktörünün ise azaldığını belirtmişlerdir. Su yerine nanoakışkan kullanımı ile termal performans faktörünün arttığını gözlemlemişlerdir. Tokgöz ve ark. [14], L ve T tipi tesisat parçalarının içinden nanoakışkan geçirerek, bu tesisat parçalarındaki basınç düşüşünü ve basınç kayıp katsayılarını sayısal olarak incelemişlerdir. Farklı hacimsel oranlarda alüminyum, bakır ve titanyum nano partiküllerini baz akışkanı olan suya ekleyerek nanoakışkan elde etmişlerdir. Sonuç olarak, nanoakışkanın hacimsel oranı arttıkça viskozitenin ve yerel kayıpların arttığını gözlemlemişlerdir. Heris ve ark. [15] çalışmalarında, sabit duvar sıcaklığına sahip dairesel bir tüp içindeki Al₂O₃/su nanoakışkanının ısı transfer performansını deneysel olarak incelemişlerdir. Farklı nano parçacık konsantrasyonları, farklı Peclet ve farklı Reynolds sayıları için deneyler yapmışlardır. Sonuç olarak, nanoakışkan kullanımı ile ısı transferinin arttığını vurgulamışlardır. Nanoakışkanın hacimsel karışım oranı arttıkça, ısı transfer katsayısının arttığını belirtmişlerdir. Çiftçi ve ark. [16], bir ısı borusunda TiO₂ partikülü eklenmiş nanoakışkan kullanımının ısı verim üzerindeki etkilerini ele almışlardır. Bu amaçla, ısı borusunun farklı ısıtıcı güçleri (200 W, 300 W, 400 W) ve farklı su debileri (5 g/s, 7,5 g/s ve 10 g/s) için deneyler yapmışlardır. Sonuç olarak nanoakışkan kullanımı ile yaklaşık %16,5 oranında ısı performans artışı gözlemlemişlerdir. Demir [17], 400 mikrometre çapa sahip bir kanalda nanoakışkan kullanımının ısı transfer üzerindeki etkilerini deneysel ve sayısal olarak ele almıştır. Bu kapsamda Al₂O₃ ve ZnO nanopartikül katkılı nanoakışkanları kullanmıştır. Akışkan giriş debisini 20 ile 50 mL/dk aralığında değiştirmiştir. Sonuç olarak Al₂O₃-su nanoakışkanının ısı geçişinin %14,35, ZnO-su nanoakışkanının ise %7,42 artış gösterdiğini belirlemiştir.

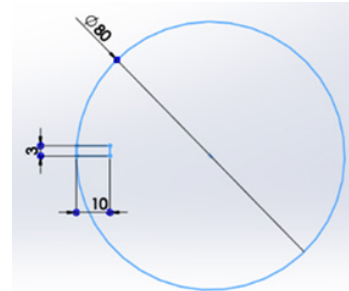
Yukarıda da görüldüğü üzere literatürde nanoakışkanlar üzerine yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda çoğunlukla CuO, TiO₂, Al₂O₃ vb. geleneksel nano partiküllerin katılması ile oluşturulan nanoakışkanlar üzerine yoğunlaşmıştır. Ancak literatürde hBN nano partikül ilaveli nanoakışkanlar üzerine yapılmış çalışmalar oldukça az sayıdadır. Ayrıca bir güneş toplayıcı boruya farklı sarım sayılarında spiral kanat eklentisi üzerine yapılmış çalışmalara da rastlanılmamıştır. Bundan dolayı bu çalışmada, bir parabolik güneş kolektörün toplayıcı borusu içerisine spiral şeklinde kanatçık eklentisi ve hBN-su nanoakışkanının kullanımının ısı performans üzerindeki etkileri üzerine

yoğunlaşmıştır.

2. Malzemeler ve Yöntemler (Materials and Methods)

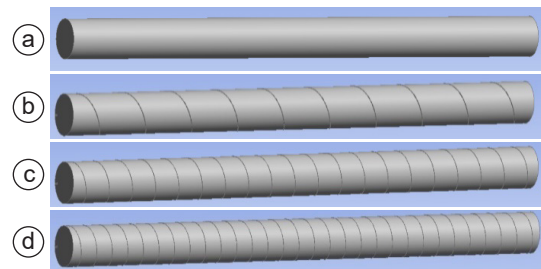
2.1. Problemin Tanımı (Description of the Problem)

Bu çalışmada parabolik bir güneş kolektörünün toplayıcı borusu sayısal olarak modellenmiş ve gerçekleşen ısı transferi incelenmiştir. Bu kapsamda güneş kolektörünün toplayıcı borusu için 4 farklı model geometri oluşturulmuştur. Bu toplayıcı borunun dış yüzeylerine 1200 W/m² değerinde sabit bir ısı akısı uygulandığı kabul edilmiştir. Borunun içinden ise hacimsel karışım oranı %0 ile %4 aralığında değişen hBN-su nanoakışkanının aktığı düşünülmüştür. Akışın Reynolds sayısı 1500 ve akışkan giriş sıcaklığı 293 K olarak kabul edilmiştir. Toplayıcı boru için, 2000 mm uzunluğunda ve 80mm çapında bir boru ana geometri olarak belirlenmiş ve Model-A ismi verilmiştir. Diğer model geometriler bu ana modelin boyutları temel alınarak oluşturulmuştur. Bu kapsamda boru uzunluğu boyunca sarmal şekilde yer alan bir kanatçık Model-A geometrisine eklenmiş ve bu kanatçığın sarım sayısı değiştirilerek farklı model geometrileri oluşturulmuştur. Model-B'nin geometrik ölçüleri Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Model-B'nin ölçüleri (Dimensions of Model-B).

Bu kapsamda Model-A herhangi bir kanatçığa sahip olmayan düz bir boru şeklindedir. Model-B, Model-C ve Model-D'de ise boru uzunluğu boyunca sarmal şekilde yer alan bir kanatçık bulunmaktadır ve bu kanatçığın boru boyunca sarım sayısı sırasıyla 10, 20 ve 30 sarımdır. Oluşturulan bu modellerin görüntüleri Şekil 2'de birlikte verilmiştir.



Şekil 2. Model geometrilerin görünümü a) Model-A, b) Model-B, c) Model-C ve d) Model-D (View of model geometries a) Model-A, b) Model-B, c) Model-C and d) Model-D).

Bu model geometrilerin içinden baz akışkan olan suya farklı hacimsel karışım oranlarında hBN nano partikülünün eklenmesi ile oluşan su-hBN nanoakışkanı aktarmaktadır. hBN nano partikülünün [18] ve suyun [14] bazı temel fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. hBN [18] ve su [14] için temel fiziksel özellikler (Basic physical properties for hBN [18] and water [14]).

	k (W/m.K)	ρ (kg/m ³)	C_p (J/kg.K)	μ (kg/m.s)
Su	0,60	998,2	4182,00	10,03x10 ⁻⁴
hBN	33,47	2270,0	489,86	-

2.2. Çözüm Yöntemi (Solution Method)

2.2.1. Diferansiyel denklemler (Differential equations)

Bu çalışma kapsamında incelenen problemin çözümünün sayısal olarak yapılabilmesi için, problemin diferansiyel denklemlerinin ve sınır şartlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda problemin süreklilik, momentum ve enerji denklemlerinin genel hali aşağıda verilmiştir. Burada " ρ " yoğunluğu, " \vec{V} " hız vektörünü, " P " basıncı, " \vec{T} " gerilme tensörünü, " \vec{g} " yer çekimi kuvvetini, " E " birim enerjiyi, " $k_{eff}\nabla T$ " iletimi, " $\sum h_i j_i$ " difüzyonu, " $T_{eff}\vec{V}$ " viskoz disipasyonunu, " S_h " ise kaynak terimini temsil etmektedir [19].

Süreklilik Denklemi [19]

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho\vec{V}) = 0 \quad (1)$$

Momentum Denklemleri [19]

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\vec{V}) + \nabla(\rho\vec{V}\vec{V}) = -\nabla P + \nabla\vec{T} + \rho\vec{g} + \vec{F} \quad (2)$$

Enerji Denklemi [19]

$$\frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \nabla(\vec{V}(\rho E + p)) = \nabla \left[k_{eff}\nabla T - \sum_j h_i j_i + (\vec{T}_{eff}\vec{V}) \right] + S_h \quad (3)$$

2.2.2. Problemin sınır şartları (Boundary conditions of the problem)

Bu çalışma kapsamında oluşturulan dört farklı model geometrinin hepsine aynı sınır şartları uygulanmıştır. Güneş kolektörünün toplayıcı borusunun dış yüzeyine 1200 W/m² değerinde sabit bir ısı akısı uygulanmaktadır. Akış laminar şartlardadır ve Reynolds sayısı 1500 olacak şekilde sabit tutulmuştur. Akışkanın toplayıcı boruya giriş sıcaklığı sabit 293 K olarak belirlenmiştir. Toplayıcı borusunun çıkışı ise atmosfer şartlarındadır.

2.2.3. Matematiksel formülasyon (Mathematical formulation)

Yürütülen simülasyonlar sonucu elde edilen veriler,

aşağıda verilen matematiksel formülasyonlar kullanılarak irdelenmiştir. Bu sayede hBN-su nanoakışkanı kullanımının ısı transfer performansı üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Hacimsel karışım oranları değiştirilerek hazırlanan hBN-su nanoakışkanın temel fiziksel özellikleri aşağıda verilen ampirik bağıntılar [20] kullanılarak belirlenebilmektedir. Burada " k " ısı iletim katsayısını, " μ " viskoziteyi, " ρ " yoğunluğu, " C_p " ise özgül ısıyı temsil etmektedir. Ayrıca " nf " nanoakışkanı, " bf " baz akışkanı, " np " nanopartikülü, " ϕ " ise hacimsel karışım oranını ifade etmektedir.

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

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

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

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

Bu çalışma kapsamında yapılan analizler "multiphase" yaklaşımı kullanılarak sayısal olarak yapılmıştır. Analizler sonucu elde edilen ısı iletim katsayısı, viskozite, yoğunluk ve özgül ısı kapasitesi gibi özelliklerin değerleri, yukarıda verilen ampirik bağıntılardan elde edilen değerler ile kontrol edilmiş ve sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Akışın Reynolds sayısı ise aşağıdaki eşitlik yardımıyla belirlenmiştir. Burada " V " akışkanın giriş hızı, " D_h " ise borunun hidrolik çapıdır.

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

Isı taşınım katsayısı (h) ise Eş.9 yardımıyla belirlenmiştir. Burada, " T_w " borunun yüzey sıcaklığını, " T_{nf} " ise nanoakışkanın sıcaklığını temsil etmektedir.

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

Isı taşınım katsayısının değeri Eş.10'da yerine yazılarak Ortalama Nusselt sayısının değeri belirlenmektedir.

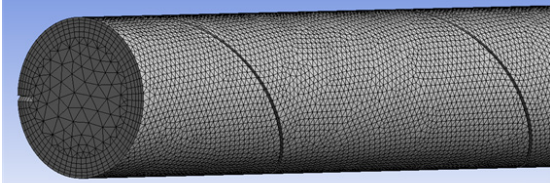
$$Nu = \frac{hD_h}{k_{nf}} \quad (10)$$

2.2.4. Sayısal yöntem (Numerical method)

Bu çalışmada incelenen problemin sayısal olarak çözülmesi için Fluent paket yazılımından yararlanılarak Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yardımı ile

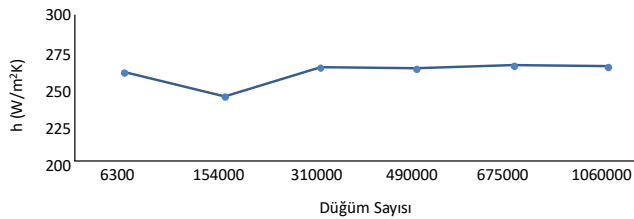
simülasyonlar yapılmıştır. Akışın üç boyutlu, laminar, sıkıştırılmaz ve kararlı şartlarda olduğu kabul edilmiştir. Sayısal çözüm yöntemi olarak SIMPLE algoritması ve First Order Upwind yaklaşımı tercih edilmiştir. Nanoakışkanın modellenmesinde 2 fazlı yaklaşım (Multiphase) kullanılmıştır.

Problemin ağ yapısı boru ve kanatçıkların yüzeylerine yakın bölgelerde daha sık, geri kalan bölgelerde daha gevşek olacak bir şekilde ayarlanmıştır. Model-B geometrisi için oluşturulan ağ yapısı örnek olarak Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Model-B geometrisinin ağ yapısı (Mesh structure of Model-B geometry).

Modeller için farklı düğüm sayılarına sahip ağ yapıları oluşturulmuş ve bu ağ yapıları için simülasyonlar yapılmıştır. Bu sayede her model geometri için optimum bir ağ yapısı belirlenmiştir. Model-B geometrisi için optimum ağ yapısının belirlenme işlemi örnek olarak Şekil 4'de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere ısı taşınım katsayısının değeri 310000 düğüm sayısından sonra fazla değişmemektedir. Bu nedenle Model-B geometrisi için optimum grid sayısı 490000 olarak belirlenmiş ve bu geometri için yapılan tüm simülasyonlarda kullanılmıştır.



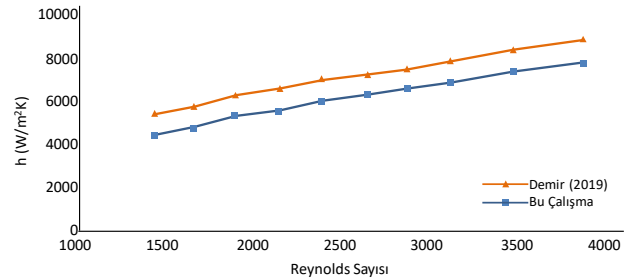
Şekil 4. Model-B için farklı ağ yapı sonuçları (Different mesh results for Model-B).

Yapılan analizler sırasında iterasyon sayısının yakınsama kontrolü iki şekilde yapılmıştır. İlk olarak süreklilik, momentum ve enerji denklemleri için yakınsama kriteri 10^{-6} olarak belirlenmiş ve iterasyonun kendi kendine durması beklenmiştir. Daha sonra ise, çözüm hacmine giren kütleli debi ile çıkan kütleli debi karşılaştırılarak, net kütleli debi kaybının 0'a yakın seviyelerde olup olmadığı kontrol edilmiştir.

2.2.5. Sayısal yöntemin doğrulanması (Validation of the numerical method)

Literatürde bulunan Demir [17] tarafından ZnO nanoakışkanı kullanılarak yapılan benzer bir çalışma, bu çalışmada kullanılan sayısal yöntem ve elde edilen

sayısal bulguların güvenilirliğinin belirlenmesi için seçilmiştir. İlgili çalışmanın sınır şartları ve geometrisi aynen alınarak sayısal analiz yapılmış ve elde edilen sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. İki çalışmanın sonuçları Şekil 5'de birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 5'te görüldüğü gibi ısı taşınım katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi iki çalışmada da benzer bir eğilim göstermektedir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, deneysel sonuçlara oldukça yakın çıkmıştır. Bundan dolayı, bu çalışmada kullanılan sayısal yöntem ve elde edilen bulguların kabul edilebilir güvenilirlikte olduğu söylenebilir.

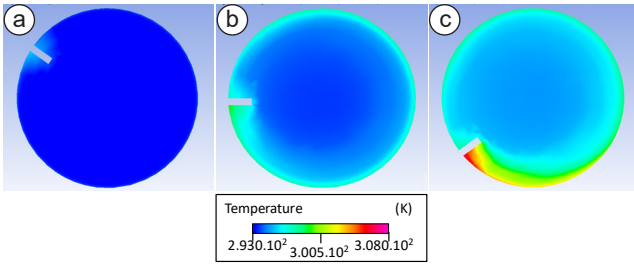


Şekil 5. Bu çalışma ile literatür [17] sonuçlarının karşılaştırılması (Comparison of the results of this study with the literature [17]).

3. Sonuçlar ve Tartışma (Results and Discussion)

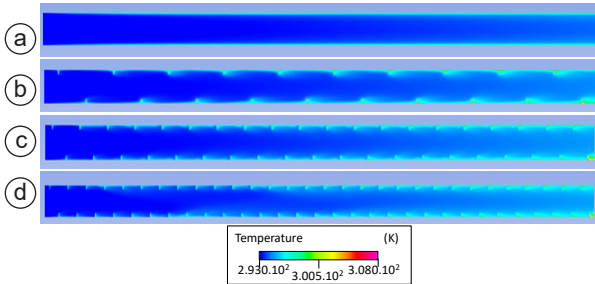
Bu çalışmada bir güneş kolektörünün toplayıcı borusunun içerisine boru uzunluğu boyunca spiral bir kanatçık eklentisinin, kanatçığın sarım sayısının ve nanoakışkan kullanımının ısı performansına olan etkileri birlikte incelenmiştir. Bu amaçla kanatçığın sarım sayısı değiştirilerek dört farklı model geometrisi oluşturulmuş ve borunun içerisinden hBN-su nanoakışkanı farklı hacimsel oranlarda (%0, %1, %2, %3, %4) geçirilmiştir. Borunun dış yüzeyine gelen ısı akısı 1200 W/m^2 sabit kabul edilmiştir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile sayısal analizler tekrarlanmıştır. Yapılan simülasyonlar sonucu akışın sıcaklık ve hız dağılımları belirlenmiş, çıkış sıcaklıkları, duvar sıcaklıkları, ısı taşınım katsayıları ve Nusselt sayıları hesaplanmıştır. Bu hesaplanan değerlerden bazıları aşağıda verilen grafiklerde irdelenmiştir.

Şekil 6'da Model-C ve hacimsel karışım oranı %2 için, akış boyunca farklı kesitler için çizilen sıcaklık dağılımları birlikte verilmiştir. Bu kapsamda boru girişinden hemen sonra 0,01 m'den, borunun tam ortasından ve borunun çıkışından hemen önce 1,99 m'den kesitler alınmıştır. Şekilden de görüldüğü üzere borunun girişinde akışkan henüz soğuktur ve sadece kanatçık yüzeylerine yakın bölgelerde ısı sınır tabaka oluşumu gözlemlenmektedir. Borunun ortasında alınan kesit incelendiğinde ise, boru yüzeylerine ve kanatçığa yakın bölgelerde ısı sınır tabaka görülmektedir. Bu bölgelerde akışkanın sıcaklığı boru merkezine göre daha yüksek değerdedir. Boru çıkışında ise, tüm kesit boyunca akışkanın sıcaklığının arttığı görülmüştür. Özellikle kanatçığın olduğu bölgede yüksek sıcaklık değerleri gözlemlenmiştir.



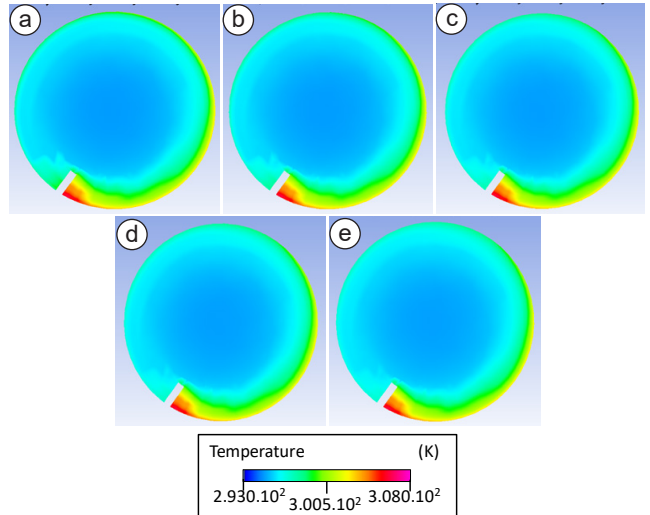
Şekil 6. Model-C ve hacimsel karışım oranı %2 olduğu durumda, boru uzunluğu boyunca farklı boru kesitleri için sıcaklık dağılımı a) 0,01 m, b) 1 m, c) 1,99 m (Temperature distribution for different pipe sections along the pipe length a) 0,01 m, b) 1 m, c) 1,99 m, in case of Model-C and volumetric mixing ratio of 2%).

Hacimsel karışım oranı %3 olduğu durum için boru uzunluğu boyunca sıcaklık dağılımı, bu çalışmada incelenen tüm model geometriler için Şekil 7'de birlikte verilmektedir. Tüm şekillerde benzer olarak, düşük sıcaklıkta boru içerisine giren akışkan akış yönünde ilerledikçe sabit ısı akısı uygulanmış yüzeyler ile ısı transferi gerçekleştirmekte ve sıcaklığı artmaktadır. Kanatçığa sahip olmayan Model-A geometrisinde boru boyunca ince bir ısı sınır tabaka gözlemlenmiştir. Ancak, diğer modellerde kanatçığın boru boyunca sarım sayısının artması ile ısı sınır tabakanın kalınlığının arttığı belirlenmiştir. Bu durum duvar yüzeyinden merkeze doğru gidildikçe farklı eş sıcaklık bölgelerinin oluşmasını sağlamıştır. Artan sarım sayısı ile ortalama akışkan çıkış sıcaklığının da arttığı belirlenmiştir. Dolayısıyla kanatçığın boru boyunca sarım sayısının artırılması sonucu, boru yüzeyi ile akışkan arasında gerçekleşen ısı transferinin arttığı söylenebilir.



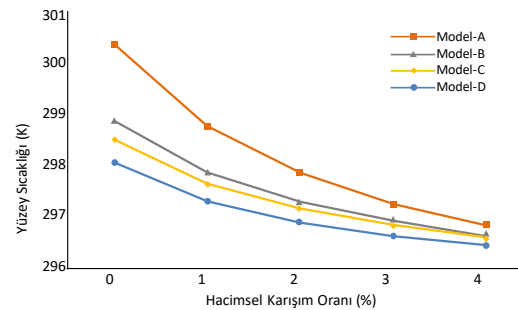
Şekil 7. Hacimsel karışım oranı %3 olduğu durumda, farklı model geometrileri için boru uzunluğu boyunca sıcaklık dağılımı a) Model-A, b) Model-B, c) Model-C, d) Model-D (Temperature distribution along the pipe length for different model geometries of a) Model-A, b) Model-B, c) Model-C, d) Model-D, in case of 3% volumetric mixing ratio).

Şekil 8'de Model-D'nin girişten 1,99 m sonrasında alınan bir kesit için çizilen sıcaklık dağılımları, bu çalışmada incelenen tüm hacimsel karışım oranları için birlikte verilmektedir. Şekil incelendiğinde, tüm hacimsel karışım oranları için çizilen sıcaklık dağılımlarının genel olarak benzer bir yapıda olduğu görülmektedir. Genel olarak maksimum sıcaklık kanatçığa yakın bölgede oluşmuş ve boru çeperinden merkeze doğru akışkan sıcaklığı azalış göstermektedir. Hacimsel karışım oranının artması ile boru yüzeyinden gerçekleşen ısı transferi artış göstermiştir.



Şekil 8. Model-D'nin farklı hacimsel karışım oranları için sıcaklık dağılımları a) %0, b) %1, c) %2, d) %3 ve e) %4 (Temperature distributions for different volumetric mixing ratios of Model-D a) 0%, b) 1%, c) 2%, d) 3% and e) 4%).

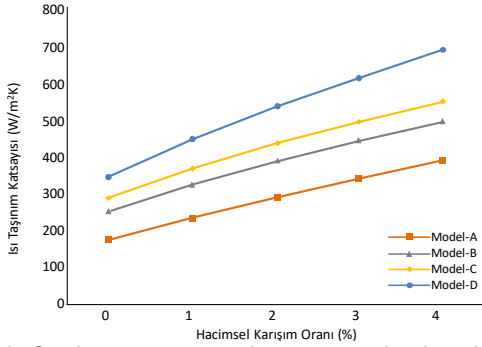
Şekil 9'da ortalama yüzey sıcaklığının hacimsel karışım oranına göre değişimi farklı model geometriler için birlikte verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere tüm model geometrilerde benzer olarak, hBN-su nanoakışkanının hacimsel karışım oranının artırılması ile ortalama yüzey sıcaklığı azalış göstermektedir. Ayrıca sabit hacimsel karışım oranı için, kanatçık sarım sıklığının artmasıyla ortalama yüzey sıcaklığının azaldığı görülmektedir.



Şekil 9. Ortalama yüzey sıcaklığının hacimsel karışım oranları ile değişimi (Variation of average surface temperature with volumetric mixing ratios).

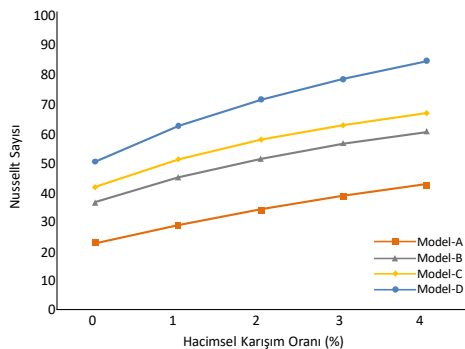
Şekil 10'da ortalama ısı taşınım katsayısının Model-A, Model-B, Model-C ve Model-D için hacimsel oranlara (%0, %1, %2, %3, %4) göre değişim grafiği verilmektedir. Şekil incelendiğinde, ısı taşınım katsayısının değerinin hacimsel karışım oranının artması ile arttığı görülmektedir. Bu durum tüm model geometriler için benzerlik göstermektedir. Tüm hacimsel karışım oranları için, en düşük ısı taşınım katsayısı değerleri düz boru için gözlemlenmiştir. Boru duvarına kanatçık eklenmesi ısı transferini pozitif yönde etkilemiştir. Kanatçığın spiral sarım sayısının artırılması ile ısı taşınım katsayısının değeri artış göstermiştir. Maksimum değerler, kanatçık sarım sayısının en çok olduğu Model-D geometrisi için belirlenmiştir. En düşük ısı taşınım katsayısı Model-A (kanatçıksız) ve %0

hacimsel oran (sadece su) için 180,55 W/m²K, en yüksek ısı taşınım katsayısı ise Model-D (30 sarım) ve %4 hacimsel oran için 694,97 W/m²K olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla hacimsel karışım oranının ve kanatçık spiral sarım sayısının artırılmasının ısı performansını olumlu yönde etkilediği söylenebilir.



Şekil 10. Ortalama ısı taşınım katsayısının hacimsel karışım oranları ile değişimi (Variation of average heat transfer coefficient with volumetric mixing ratios).

Şekil 11'de ise, ortalama Nusselt sayısının hBN-su nanoakışkanının hacimsel karışım oranı ile değişimini gösteren eğriler farklı model geometrileri için birlikte görülmektedir. Şekil incelendiğinde, sabit bir model için nanoakışkanın hacimsel karışım oranının artırılması ile Nusselt sayısının arttığı görülmektedir. Tüm modeller için maksimum Nusselt sayısına hacimsel karışım oranının %4 olduğu durumda ulaşılmıştır. Hacimsel karışım oranının %0'dan %4'e çıkarılması ile, ortalama Nusselt sayısı Model-A, Model-B, Model-C ve Model-D için sırasıyla yaklaşık %83, %63, %58 ve %65 kadar artış göstermiştir. Ek olarak model geometriye kanatçık eklentisi ve kanatçığın sarım sayısının artırılması Nusselt sayısının değerini artırmıştır. Dolayısıyla hem hacimsel karışım oranının artırılması hem de kanatçık sarım sayısının artırılmasının ısı transferini artırdığı görülmüştür. Bu çalışmada ele alınan parametre aralığında, optimum ısı performans Model-D geometrisi ve hacimsel karışım oranı %4 için belirlenmiştir. Bu optimum geometri ve karışım oranında Nusselt sayısının değeri, içerisinden sadece su geçen düz boruya göre (Model-A ve karışım oranı %0) yaklaşık olarak %256 kadar artış göstermiştir. Nusselt sayısında ki bu artışın ışığında, bir güneş kolektörünün toplayıcı borusuna



Şekil 11. Ortalama Nusselt sayısının hacimsel karışım oranları ile değişimi (Variation of the mean Nusselt number with volumetric mixing ratios).

hBN nano partikülünün eklenmesinin ve boru iç yüzeyine bir spiral kanatçık ilave edilmesinin kolektörün ısı performansını geliştirdiği söylenebilir.

4. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışmada bir güneş kolektörünün toplayıcı borusunun içerisine boru uzunluğu boyunca spiral bir kanatçık eklentisinin, kanatçığın sarım sayısının ve nanoakışkan kullanımının ısı performansına olan etkileri birlikte incelenmiştir. Bu amaçla kanatçığın sarım sayısı değiştirilerek dört farklı model geometrisi oluşturulmuş ve borunun içerisinden hBN-su nanoakışkanını farklı hacimsel oranlarda geçirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, hBN-su nanoakışkanının hacimsel karışım oranının ve kanatçık sarım sıklığının artırılması ile, ortalama yüzey sıcaklığının azaldığı ortalama çıkış sıcaklığının ise arttığı gözlemlenmiştir. Isı taşınım katsayısının değeri, hacimsel karışım oranının artışı ve sarım sayısının artışı ile artış göstermiştir. Benzer olarak, nanoakışkanın hacimsel karışım oranının ve kanatçık sarım sayısının artırılması ile Nusselt sayısının arttığı belirlenmiştir. En yüksek ısı performans boru boyunca kanatçık sarım sayısı 30 ve hacimsel karışım oranı %4 olduğu durumda gerçekleşmiştir. Kanatçık eklentisi ve hBN-su nanoakışkanını kullanımı ile, içinden sadece su akan kanatçüksüz bir toplayıcı boruya göre Nusselt sayısı yaklaşık %256 kadar artış göstermiştir. Dolayısıyla bir güneş kolektörünün toplayıcı borusunun içinde hBN-su nanoakışkanının kullanımının ve boru iç yüzeyine bir spiral kanatçık ilave edilmesinin kolektörün ısı performansını geliştirdiği söylenebilir.

Kaynaklar (References)

- [1] Tuzun, A. H. (2019). Mikro ve mini kanallı ısı değiştiricilerde nanoakışkan kullanımının ısı transferi ve basınç kaybına etkisinin incelenmesi [Numerical method of thermal-hydraulic performance nanofluids in different concentrations] [M.Sc. thesis, Pamukkale University]. Institute of Science Mechanical Engineering.
- [2] Oz, M. (2016). Thermal behavior of hexagonal boron nitride in the open atmosphere. *Cumhuriyet University Faculty of Science Science Journal*, 37(1), 57-64.
- [3] Weimer, A. W. (1997). Carbide, Nitride and Boride Materials Synthesis and Processing. Chapman and Hall, London.
- [4] Haubner, R., Wilhelm, M., Weissenbacher, R., Lux, B. (2002). Boron Nitrides - Properties, Synthesis and Applications. In: Jansen, M. (eds) *High Performance Non-Oxide Ceramics II* (pp. 1-45). Springer.
- [5] Ijaz, H., Raza, H., Gohar, G., Ullah, S., Akhtar, A., & Imran, M. (2020). Effect of graphene oxide doped nano coolant on temperature drop across the tube length and effectiveness of car radiator—a CFD study. *Thermal Science and Engineering Progress*, 20, 100689.
- [6] Naik, B., Hosmani, A. K., Kerur, S. M., Jadhav, C. C., Benni, S., Annigeri, S., Javali, T., & Aralikatti, P. (2021). Numerical analysis of two tube helical heat exchanger using various nano-fluids. *Materials Today Proceedings*,

- 47, 3137-3143.
- [7] Huminic, G., & Huminic, A. (2011). Heat transfer characteristics in double tube helical heat exchangers using nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54, 4280-4287.
- [8] Salman, B. H., Mohammed, H. A., & Kherbeet, A. S. (2014). Numerical and experimental investigation of heat transfer enhancement in a microtube using nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 59, 88-100.
- [9] Soylu, S.K. (2018). *Otomobil radyatöründe TiO₂ esaslı nanoakışkan kullanımının ısı transfer performansı üzerine etkisinin incelenmesi* [Investigation of the effect of TiO₂ based nanofluid usage on heat transfer performance in automobile radiator] [PhD. thesis, Akdeniz University]. Council of Higher Education Thesis Center (Thesis Number 537249).
- [10] Aytac, İ. (2021). Investigation of the effect of CuO/water and ZnO/water nanofluids on heat pipe performance. *Polytechnic Journal*, 24(3), 963-971.
- [11] Veeramaniandan, K., Vignesh, S., Pitchia Krishnan, B., Mathanbabu, M., & Ashokkumar, M. (2021). Investigation of Al₂O₃-water nano fluid flow through the circular tube. *Materials Today: Proceedings*, 46(17), 8288-8295.
- [12] Dawood, H., Mohammed, H., Sidik, N. A., Munisamy, K., & Alawi, O. A. (2017). Heat transfer augmentation in concentric elliptic annular by ethylene glycol based nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 82, 29-39.
- [13] Gnanavel, C., Saravanan, R., & Chandrasekaran, M. (2020). Heat transfer augmentation by nano-fluids and circular fin insert in double tube heat exchanger-a numerical exploration. *Materials Today: Proceedings*, 21(1), 934-939.
- [14] Tokgoz, N., Avci, M., Erdinc, M. T., & Kaska, O. (2021). Numerical investigation of flow characteristics of nanofluid usage in L and T. *Cukurova University Journal of the Faculty of Engineering*, 23(67), 457-472.
- [15] Heris, S. Z., Esfahany, M. N., & Etemad, S. G. (2007). Experimental investigation of convective heat transfer of Al₂O₃/water nanofluid in circular tube. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 28(2), 203-210.
- [16] Çiftçi, E., Sözen, A., & Karaman, E. (2016). Experimental investigation of nano fluid usage including TiO₂ on the effect of heat pipe performance. *Polytechnic Journal*, 19(3), 367-376.
- [17] Demir, U. (2019). *Mini kanalda nanoakışkan kullanımının ısı transferine etkisinin deneysel ve sayısal olarak incelenmesi* [Experimental and numerical investigation of the effect of nanofluid usage on heat transfer in mini channel] [M.Sc. thesis, Zonguldak Bulent Ecevit University]. Council of Higher Education Thesis Center (Thesis Number 611298).
- [18] Çağlar, Ç. (2010). *Nano boyutta titanyum diborür katkılı sıcak preslenmiş hegzagonal bor nitrid-titanyum diborür kompozitlerinin özelliklerinin incelenmesi* [An investigation on the properties of nano titanium diboride reinforced hexagonal boron nitride-titanium diboride composites] [M.Sc. thesis, Istanbul Technical University]. Council of Higher Education Thesis Center (Thesis Number 293938).
- [19] Taştan, G. (2022). *Dairesel bir borudaki zorlanmış taşınım ısı transferine nanopartikül şekil etkisinin sayısal olarak incelenmesi* [Numerical investigation of nanoparticle shape effect on forced convection heat transfer in a circular pipe] [M.Sc. thesis, Karabük University]. Council of Higher Education Thesis Center (Thesis Number 719885).
- [20] Ocal, S. (2019). *Isı transferi uygulamaları için çeşitli hibrit nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin incelenmesi* [Investigation of thermophysical characteristics of various hybrid nanofluids for heat transfer applications] [M.Sc. thesis, Nigde Omer Halisdemir University]. Council of Higher Education Thesis Center (Thesis Number 554854).