

Otomobil Radyatöründe Su Bazlı Grafen Nanoakışkan Kullanımının Isıl Verimliliğe Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi

Experimental Investigation of the Effect on Thermal Efficiency by Means of Water-Based Graphene Nanofluid Usage in an Automobile Radiator

Tarkan Koca^{1*}

¹ İnönü Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya, tarkan.koca@inonu.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 12 Mayıs 2020
Düzeltilme: 1 Temmuz 2020
Kabul: 9 Temmuz 2020

Anahtar kelimeler:
Grafen, Nanoakışkan, ısı transferini geliştirme, araç radyatörü

ÖZET

Bu çalışmada, bir Renault Clio marka otomobil radyatöründe soğutma akışkanı olarak grafen su bazlı nanoakışkan kullanılmış ve motor soğutma performansı deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel ısı transfer hızındaki artış ve basınç düşüşündeki artış değerleri irdelenmiştir. Deney düzeneği motor soğutma sistemine benzer şekilde tasarlanmıştır. Dört tip çalışma sıvısı kullanılmıştır. Bunlar saf su ve (0.01-0.02-0.03) grafen nanoparçacık konsantrasyonuna sahip nanoakışkanlardır. Deneyde hacimsel debi 4 ile 16 l/dk arasında 6 farklı debide gerçekleştirilmiştir. Otomobil radyatörüne giriş sıcaklığı 70°C olarak sabit tutulmuştur. Deneyler laminar akışta gerçekleştirilmiştir. Reynolds sayısı 224 ile 1482 arasındadır. Yapılan deney sonucunda %0.02 hacimsel nanoparçacık konsantrasyonuna sahip nanoakışkan kullanmanın ısı transfer hızında %47 artış sağladığı görülmüştür. Toplam ısı transfer katsayısında % 52 ve Nusselt sayısında % 34 maksimum bir artış elde edilmiştir. Basınç düşüşündeki artış %49 olarak tespit edilmiştir. Nanopartiküllerin konsantrasyonunu artırarak ısı performanslarının arttığı gözlemlenmiş ancak nanopartiküllerin konsantrasyonunun %0.02'nin üzerine çıkartıldığında motor soğutma performansının düşmeye başladığı izlenmiştir. Çalışma sonucunda en iyi ısı transfer değerlerine %0.02 grafen bazlı su konsantrasyonu kullanıldığında ulaşılmıştır.

Doi: 10.24012/dumf.736458

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 12 May 2020
Revised: 1 July 2020
Accepted: 9 July 2020

Keywords:
Graphene, nanofluid, heat transfer enhancement, vehicle radiator.

ABSTRACT

In this study, engine cooling performance of a Renault Clio automobile radiator (heat exchanger) by utilizing graphene water based nanofluids was studied. In the experiments the heat transfer increase were evaluated. In addition, the increase in pressure drop was investigated. Experiment set was designed similar to the engine cooling system. Four types of fluid were employed. These are water and nanofluids with (0.01-0.02-0.03) graphene nanoparticle concentration. In the experiment, the flow rate was adjusted between 4 and 16 l/min. The coolant inlet temperature to the vehicle radiator is 70 °C. Experiments were carried at the laminar flow. The Reynolds number is between 224 and 1482. Experiments were carried at the laminar flow. The best results were obtained by utilization nanofluid with 0.02% volumetric concentration of graphene. The enhancement in heat transfer rate was obtained 47%. A maximum enhancement in overall heat transfer coefficient was obtained up to 52%. The maximum increase in the nusselt number was 34%. The pressure drop increased by 49%. As a result, the high thermal efficiency was obtained by using nanofluid. Thermal efficiency was the maximum in the fluid experiment with a volumetric concentration of graphene of 0.02%.

* Sorumlu yazar / Correspondence
Tarkan KOCA
✉ tarkan.koca@inonu.edu.tr

Giriş

Günümüzde ısı transferini iyileştirmeye yönelik çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Isı transferini artırmak için genişletilmiş yüzeyler, doğal akış ve cebri akış gibi çeşitli metotlar kullanılmaktadır. Son zamanlarda bu yöntemlere ek olarak nanoakışkanlar kullanılmaya başlanmıştır. İlk olarak Maxwell, 1881 yılında akışkanlara katı parçacıklar ekleyerek ısı transferini artırmaya çalışmıştır [1]. Bu katı parçacıklar 10 ile 100 arasında nanometre boyutuna sahiptir ve nanoakışkanlar bu nanoparçacıklar içerirler [2]. Isıl verimi yükseltmek ve kullanılan akışkanın ısı transferi performansını artırmak amacıyla akışkanlara nanoparçacıklar eklenmektedir. Nanoakışkanlar daha önce kullanılan akışkanlara oranla oldukça yüksek ısıl iletkenlik değerlerine sahiptirler [3]. Nanoakışkanları mühendislik uygulamalarında kullanabilmek için termofiziksel özelliklerin yanı sıra ısı transfer özelliklerinin de araştırılması gerekmektedir [4].

Soğutma sistemlerinde de ısı transferi oldukça önemlidir. Isı transferinin artırılması soğutma sistemlerinin de verimini artıracaktır. Soğutma performansının artırılması da endüstride ihtiyaç duyulan bir eksikliği gidermiş olacaktır. Otomotiv motorlarında soğutma sistemleri oldukça önemlidir. Soğutma sisteminde kullanılan sıvının ısıl performansının yüksekliği araç motorunun verimini artıracaktır. Bir ısı eşanjörü tipi olan radyatörler araçlarda soğutma sisteminin önemli parçalarından biridir. Radyatörün görevi, motordan ısınmış olarak gelen sıvıyı soğutarak, bu sıvı sayesinde motorun soğutulmasını sağlamaktır. Motordan ısınmış olarak gelen su radyatörde soğutulmuş olarak tekrar motora gönderilmektedir. Radyatöre gelen sıvının soğutulması fanlar yardımıyla hava üflenerek gerçekleşmektedir. Radyatörler kanatçıklı yapıda olduklarından ısı transfer yüzeyleri oldukça fazladır. İçten yanmalı motorlarda önemli prensiplerden biri motor sıcaklığının belirli değerler aralığında tutulmasıdır. Araç motorunun fazla ısınması malzemelerin mukavemet ve termal özelliklerini bozmakta ve yakıt tüketimini de artırmaktadır [5]. Soğutma sisteminin en önemli özelliklerinden biri motor çalışma sıcaklığını

belirli aralıklarda tutmasıdır. Motorlarda soğutma sıvısı olarak farklı tip akışkanlar kullanılarak ısı transfer miktarı ve ısı transfer hızı artırılmaya çalışılmıştır [6]. Bu nedenle otomobil radyatöründe nanoakışkan kullanılarak, mekanik kayıpların azaltılması ve motorun ısıl verimliliğini artırılması amaçlanmıştır [7,8]. Leong vd. [9] bir otomobil radyatöründe Bakır (Cu) etilen glikol nanoakışkan kullanmış ve pompa gücünün %12.13'e kadar arttığını gözlemlemişlerdir. Peyghambarzadeh vd. [10] su bazlı alüminyum oksit (Al_2O_3) kullanarak otomobil radyatör soğutma performansını artırmış olup termal verimliliğin % 45 arttığını hesaplamışlardır. Peyghambarzadeh vd. [11] bir araç radyatörü aracılığıyla su bazlı bakır oksit (CuO) ve demir oksit (Fe_2O_3) nanoakışkan kullanarak ısı transferini deneysel olarak incelemiş ve toplam ısı transfer katsayısında %9 artış tespit etmişlerdir. Naraki vd. [12] bir araç radyatörüne su bazlı bakır oksit (CuO) nanoakışkan koyarak deneysel olarak incelemiş ve araç radyatörü için toplam ısı transfer katsayısının %8'e kadar arttığı sonucuna varmışlardır. Hussein ve vd. [13] bir araç radyatöründe su bazlı silikon dioksit (SiO_2) nanoakışkan kullanarak ısı transfer oranının %50 arttığını belirlemişlerdir. Nieh vd. [14] bir araç radyatöründe alüminyum oksit (Al_2O_3) ve titanyum dioksit (TiO_2) nanoakışkan kullanarak ısıl performansı artırmışlardır. Baby ve Ramaprabhu [15] %0.05 konsantrasyon grafen-su nanoakışkanın ile yaptıkları deneyde ısıl transferinde 25 °C'de %16 ve 50 °C sıcaklıkta ise %75 artış elde etmişlerdir. Chavan ve Pise [16] bir otomobil radyatörüne su bazlı alüminyum oksit (Al_2O_3) uygulayarak ısı transfer verimliliğini %45'e çıkarmışlardır. Heris vd. [17] bir araç radyatöründe su bazlı bakır oksit (CuO) nanoakışkanı kullanmış ve radyatörün ısıl verimliliğini %55'e çıkartmışlardır. Akhavan-Zanjani vd. [18] %0.02'lik konsantrasyonlu grafen-su nanoakışkanı kullandıkları deneyde ısıl iletkenlik katsayısında %10.3 ve ısı taşınım katsayısında %14.2 artış tespit etmişlerdir. Kılınç vd. [19] araç radyatörüne ait soğutma performansını saf su, grafen oksit (GO)-saf su ve grafen nano ribon (GNR)-saf su nanoakışkanları kullanarak incelemişler ve U

değerlerindeki en yüksek ortalama artış oranlarının %0.01 GO-saf su, %0.02 GO-saf su ve %0.01 GNR-saf su nanoakışkanları için sırasıyla %6.9, %32 ve %18.9 olduğu görülmüştür. Tüm sıcaklıklar için toplam ısı transferi katsayısındaki ortalama artış, saf suyla kıyasla %0.01 GO için %5.41, %0.02 GO için %26.08 ve %0.01 GNR için %15.62 olarak hesaplanmıştır. Kılınç vd. [20] taşıt radyatörünün soğutma performansını, saf su, grafen oksit (GO) ve grafen nano ribon (GNR) nano sıvıları kullanarak deneysel olarak araştırmışlar ve toplam ısı transfer katsayısı tüm sıcaklıklar için, hacimce % 0.01 nanoakışkan için % 5.41 ve hacimce % 0.02 nanoakışkan için % 26.08 geliştirmişlerdir. Kılınç vd. [21] grafen nanoribbonun soğutma sıvısı olarak kullanıldığı bir otomobil radyatöründe ısı transfer performansını deneysel olarak incelemişler ve ısı transfer katsayılarında iyileşmeler kaydetmişlerdir. Kılınç vd. [22] araç radyatöründeki ısı transferi performans artışını saf su, su tabanlı grafen oksit ve su tabanlı grafen nano ribon nanoakışkanları kullanılarak deneysel olarak incelemişler ve ısı transferi performansında gelişmeler sağlamışlardır.

Bu çalışmada araç soğutma sisteminde soğutma sıvısı olarak su bazlı grafen kullanılmıştır. Grafen, bir atom kalınlığında, karbon atomlarının tek düzlemde altıgen yapıda dizilmesiyle oluşan iki boyutlu yapıdadır [23]. Grafen, mekanik, ısı ve elektriksel özellikler bakımından üstündür [24]. Grafen parçacıkları içeren nanoakışkanlar, araştırmalarda önem kazanmaktadır. Grafitin ısı iletim katsayısı çok yüksektir. Grafit konsantrasyonunun artırıldığı nanoakışkanlarda çökelme olmaktadır. Grafen oksit'in ısı iletim katsayısı grafitten daha düşüktür. Fakat grafen oksit kullanıldığı nanoakışkanda kararlılık artmakta ve çökelme olmamaktadır [25]. Literatürde bulunan çalışmaların hepsinde araç radyatöründe nanoakışkan kullanımının ısı verimliliği artırdığı görülmektedir.

Bu çalışmada 1200 cc bir motora ait soğutma sistemi esas alınmış olup deney düzeneği araç soğutma sistemine benzer olarak tasarlanmıştır. Saf su ve üç tip hacimsel grafen nanoparçacık konsantrasyonu soğutucu akışkan olarak kullanılmıştır. Isı transfer hızı, toplam ısı

transfer katsayısı ve Nusselt sayısı gibi ısı performans parametreleri ile basınç düşümü deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde hacimsel debi 4-16 lt/dk aralığında olup araç radyatörüne akışkan giriş sıcaklığı 70 °C olarak sabit tutulmuştur. Reynolds sayısı 224 ile 1482 aralığında olup akış laminar olarak gerçekleşmiştir.

Deneysel Çalışma

Bu çalışmada dört farklı tip soğutucu akışkan kullanılmıştır. Öncelikle saf su kullanılmış olup diğerleri ise %0.01, %0.02, %0.03 konsantrasyonlara sahip su bazlı grafen nanoakışkanlardır. Konsantrasyon değerleri hacimsel olarak hesaplanmış ve karışımlar bu şekilde hazırlanmıştır. Nanoakışkanlar Ortadoğu Teknik Üniversitesi Teknoparkında hazırlanmış ve tedarik edilmiştir. Grafen nanopartiküllerinin termo-fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Grafen nano partiküllerinin termo-fiziksel özellikleri [26]

Fiziksel Özellikler	Değerler
Parametre Değer Saflığı	% 99.9
Parçacık yaklaşık boyutu (nm)	3
Spesifik yüzey alanı (m ² /g)	2630
Yığın yoğunluğu (g/cm ³)	0.3
Gerçek yoğunluk (g/cm ³)	2
Isı iletkenliği (W/mK)	5000
Özgül ısı (J/kgK)	502.7

Deneyde kullanılan 70 °C deki saf suyun yoğunluğu 0.9777 g/cm³, c_p değeri 4189 J/kgK, ısı iletim katsayısı 0.6631 W/mK'dir. Hacimce %0.02 nanoakışkanın ise yoğunluğu 0.997 g/cm³, c_p değeri 4189 J/kgK, ısı iletim katsayısı 0.7732 W/mK'dir.

Deney düzeneği

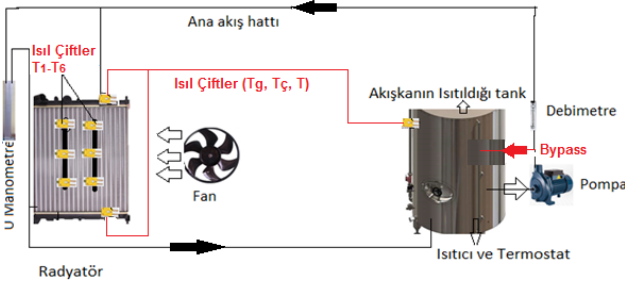
Bu deneysel çalışmada Renault Symbol 1200cc motor radyatörü kullanılmıştır. Radyatör içindeki akışkanı soğutmak için çalışma hızı 900-1000 dev/dak olan DC motorlu bir fan kullanılmıştır. Radyatör ölçüleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Radyatör Ölçüleri

Büyükklükler	Değerler
Uzunluk×En×Yükseklik (mm)	350×23×378
Ana boru çapı (mm)	32
İç tüp boru çapı (mm)	2.3
Boru uzunluğu (mm)	300
Boru kesit alanı (mm ²)	66.474
Borunun hidrolik çapı (mm)	4.333
Boru çevresi (mm)	61.095
Tüpün yüzey alanı (mm ²)	18232.97

Deney düzeneğinin şematik akış diyagramı şekil 1'de gösterilmektedir.

Şekil 1. Deney seti ve akış diyagramı



Deney setinde Renault clio symbol 1200 cc motor radyatörü, santrifüj pompa (tek kademeli), depolama tankı, gövde termostatlı elektrikli su ısıtıcısı, elektrikli soğutma fanı (DC), güç kaynağı (AC), debi ölçer, bir manometre (U tüp), dijital gösterge sıcaklık kontrolörüne sahip 9 adet K ısı çifti ve kontrol ünitesi kullanılmıştır. Araç üzerindeki ile aynı tip orijinal mais marka pompa kullanılmıştır. Giriş akış hattı depolama tankına, çıkış akış hattı bypass hattına ve otomobil radyatörüne bağlıdır. Depodaki suyu ısıtmak için 2000 W güç girişine sahip bir elektrikli su ısıtıcısı kullanılmıştır. Pompa giriş çıkışına by-pass olacak şekilde iki adet sürgülü valf kullanılmıştır. By-pass sisteminin amacı debiyi ayarlayabilmektir. Deney setinde %4 hassasiyete sahip 2-18 lt/dk aralığında ölçüm yapabilen bir debimetre kullanılmıştır.

Basınç farkını ölçmek için U tipi manometre kullanılmıştır. Manometrenin ölçüm aralığı 0-200 mmHg'dir. Manometrenin girişi araç radyatörüne, çıkışı ısıtma yapılan depoya bağlanmıştır. Deney setinden alınan bilgilerin gösterimini ve bilgisayara aktarımını sağlayan tarayıcı 16 girişli sahiptir. Isıl çiftler ile sıcaklık

ölçümü yapılmıştır. 0.2 °C hassasiyete sahip K ısı çiftleri kullanılmıştır. Isıl çiftlerin biri radyatör girişine, diğeri radyatör çıkışına yerleştirilmiştir. Üçüncü ısı çifti soğutma sıvısının sıcaklığını ölçmek için ısıtma deposuna, diğer altı ısı çifti ise otomobil radyatörünün dış yan yüzeyinin farklı noktalarına yerleştirilmiştir. Bu altı ısı çiftinin amacı radyatörün ortalama yüzey sıcaklığını ölçmektir. Deney seti bir AC kaynağı ile beslenmektedir. Sistemi kontrol etmek için arduino kart üzerine program yazılmıştır. Kontrol sistemi, güç kaynağını, santrifüj pompayı, radyatör fanını ve elektrikli ısıtıcıyı kontrol etmektedir. Bu kontrol sistemi radyatöre akışkanın istenilen debilerde ve 70 °C sabit sıcaklıkta girmesini sağlamaktadır.

Deneye başlamadan sıvı tankı çalışma sıvısı ile doldurulmuş ve elektrikli ısıtıcı ile ısıtılmıştır. Yani bir nevi içten yanmalı motorun ısıtma görevini yapmaktadır. Termostat ile sıcaklık sabit tutulmaya çalışılmıştır. Pompa devreye sokularak akış başlamıştır, vanalar yardımıyla sabit debiler ayarlanmıştır. Radyatöre ulaşan sıcak akışkan elektrikli fan yardımıyla soğutulmuştur. Bu arada ısı çiftleri ile belirlenen noktadaki sıcaklıklar ölçülmüştür. Manometre yardımıyla basınç düşüş değeri okunmuştur. Deney sonucunda elde edilen verilere göre ısı transfer miktarı, toplam ısı transfer katsayısı, Nusselt sayısı, Reynolds sayısı ve araç radyatörü boyunca deney sıvısının basınç düşüşü hesaplanmıştır. Tüm deneyler, saf su ve %0.01, %0.02, %0.03 su bazlı grafen konsantrasyonunda yapılmış ve bu deneyler 4, 6, 8, 10, 12, 16 lt/dk olmak üzere 6 farklı debide gerçekleştirilmiştir. Radyatöre giriş sıcaklığı 70 °C olarak ayarlanmıştır. Saf su ve %0.01, %0.02, 0.03 hacimsel grafen konsantrasyonunda yapılan deneylerde ortalama 4 dakikalık sürede kararlı durum oluşup değerler okunmuştur. Deney setinde bulunan malzemelerin özellikleri tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Deney setinde bulunan malzemeler

Kullanılan Cihazlar	Özellikleri
Araç Radyatörü	1200 cc motor radyatörü
Güç Kaynağı	220V
Akış Ölçer	Hassasiyet %4
Manometre	Civalı U manometre
Isıl Çiftler	Sıcaklık Aralığı: 0 ~ 800 °C, K-tipi, Hassasiyet 0.2 °C
Su Isıtıcı	2000W
Termostat	Gövde tipi Hassasiyet 1 °C
Pompa	Tek kademeli santrifüj pompa
Su Tankı	25 litre kapasiteli depo
Valfler	
Kontrol Paneli	

Yapılan Hesaplamalar

Bu çalışmada, aşağıdaki denklemler yardımıyla, farklı sıcaklık ve hacimsel konsantrasyonlara bağlı olarak nanoakışkanın yoğunluğu, özgül ısı, viskozitesi ve ısı iletim katsayısı hesaplanmıştır [27-33].

$$\rho_{na} = \phi \rho_p + (1 - \phi) \rho_s \quad (1)$$

$$(\rho C_p)_{na} = \phi (\rho C_p)_p + (1 - \phi) \rho_s \quad (2)$$

$$\mu_{na} = (1 + 7.3\phi + 123 \phi^2) \mu_s \quad (3)$$

$$k_{na} = \frac{k_p + 2k_s + 2(k_p - k_s)\phi}{k_p + 2k_s - 2(k_p - k_s)\phi} k_{sc} \quad (4)$$

Denklemlerde nanoakışkanın ρ_{na} yoğunluğunu $C_{p_{na}}$ özgül ısını μ_{na} viskozitesini ve k_{na} , ısı iletkenliğini belirtir. ρ_p , C_{pp} ve k_p , nanoparçacıkların yoğunluğu, özgül ısı ve ısı iletkenlik katsayısıdır. ρ_s , C_{ps} , μ_s ve k_s suyun yoğunluğu, özgül ısı, viskozitesi ve ısı iletkenlik katsayısıdır.

Aşağıdaki denklem yardımıyla ısı transfer hızı bulunabilir. Burada Q , ısı transfer miktarı, C_p sıvının özgül ısı, T_g ve $T_{ç}$ otomobil radyatörünün sıvı giriş ve çıkış sıcaklığıdır.

$$Q = \dot{m} C_p (T_g - T_{ç}) \quad (5)$$

Aşağıdaki denklemler ile radyatöre sıvı giriş ve çıkış sıcaklığının ortalaması ile araç radyatörünün ortalama yüzey sıcaklığı bulunabilir.

$$T_{ort} = (T_g - T_{ç}) / 2 \quad (6)$$

$$T_y = \frac{T_1 + T_2 + \dots + T_6}{6} \quad (7)$$

Burada T_g sıvı giriş sıcaklığı ve $T_{ç}$ da sıvı çıkış sıcaklığıdır. T_y araç radyatörünün ortalama yüzey sıcaklığıdır. T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 ve T_6 , radyatörün farklı noktadaki yüzey sıcaklıklarıdır.

Isı transfer katsayısını ve toplam ısı transfer katsayısı bulmak için aşağıdaki denklemler kullanılır.

$$H = \frac{Q}{n.A_s.(T_g - T_{ç})} \quad (8)$$

$$U = \frac{Q}{n.A_s.OrtLogT} \quad (9)$$

Burada H ısı transfer katsayısı, Q ısı transfer hızı, n radyatör borusu sayısı, A_s yüzey alanı, U toplam ısı transfer katsayısı, A_s Radyatör yüzey alanı ve $OrtlogT$ logaritmik ortalama sıcaklık farkıdır.

$$OrtlogT = \frac{T_g - T_{ç}}{\ln T_g / T_{ç}} \quad (10)$$

Basınç düşüş değeri aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir.

$$\Delta P = (\rho_{Hg} - \rho) g \Delta h \quad (11)$$

ΔP basınç düşüş değerini, ρ_{Hg} civa yoğunluğunu; g yerçekimi ivmesini; ρ sıvının yoğunluğunu, Δh ise manometredeki civa yüksekliğini gösterir.

Reynolds sayısı, Nusselt sayısı ve Prandtl sayısı aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanabilir.

$$Re = \rho v d_H / \mu \quad (12)$$

$$Nu = h d / k \quad (13)$$

$$Pr = \mu C_p / k \quad (14)$$

Re , Reynolds sayısını, ρ sıvı yoğunluğunu; v sıvı akış hızını; d_H radyatör borusunun hidrolik çapını μ sıvı viskozitesini, Nu , Nusselt sayısını, h ısı transfer katsayısını, d_H radyatör borusunun hidrolik çapını ve k ısı iletkenlik katsayısını, Pr Prandtl sayısını, C_p özgül ısıyı belirtir.

Radyatör borularının kesit alanı, yüzey alanı, hidrolik çapı ve çevresi aşağıdaki denklemler ile hesaplanmaktadır.

$$Ac = \frac{\pi d^2}{4} + (D - d) d \quad (15)$$

$$As = \zeta . l \quad (16)$$

$$d_H = 4Ac / \zeta \quad (17)$$

$$\zeta = \pi d + 2(D - d) \quad (18)$$

Ac radyatör borusu kesit alanını, D radyatör borusunun ana çapını, d radyatör tüp çapını, As

radyatör borusu yüzey alanını, \checkmark radyatör borusunun çevresini, L radyatör borusunun uzunluğunu, d_H radyatör borusunun hidrolik çapını gösterir.

Belirsizlik Analizi

Belirsizlikler akışkan debisi, radyatör boyutları ve radyatör giriş ve çıkış sıvısı sıcaklığı, radyatör yüzey sıcaklıkları ve diğer sıcaklıkların ölçüm hataları nedeniyle oluşmaktadır. Toplam ısı transfer katsayısındaki hata radyatör yüzey sıcaklıkları dışındaki tüm ölçüm hatalarından kaynaklanırken, ısı transfer oranındaki belirsizlik, akışkan debisi ve radyatör giriş ve çıkış sıvı sıcaklığı ölçüm hatalarından kaynaklanmaktadır. Basınç düşmesindeki belirsizlik manometre sıvısı (cıva) yüksekliğinin ölçüm hatasından ortaya çıkmaktadır. Reynolds sayısındaki belirsizlik, akışkanın hacimsel debisinin ve radyatör borularının çapının ölçüm hatalarına bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Hidrolik çaptaki belirsizlik ise radyatör boru çaplarının ölçüm hataları nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Bu deneysel çalışmada, istenen tüm parametrelerdeki belirsizlikler Holman [28] tarafından önerilen teknik kullanılarak hesaplanmış ve tüm bu belirsizlikler Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Parametrelerin belirsizlik analizi

Parametreler	Ölçüm Aralıkları	Belirsizlikler %
Nu	4.92-9.89	5.04
U	76-193	3.78
Q	2628-6948	4.3
Re	224-1643	4.08
D_H	4.333	0.39

Sonuçlar ve Tartışmalar

Deney düzeneğinin güvenilirliği ve doğruluğu, ısı transfer oranı, toplam ısı transfer katsayısı, Nusselt sayısı, basınç düşümü gibi istenen nanoakışkan parametreleri hesaplanmadan önce incelenmiştir.

Nusselt sayısının deneysel sonuçları, laminar akış için Shah-London [29] korelasyonlarından elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

$$\left(RePr \frac{d_H}{L} \right) \geq 33.33 \text{ için}$$

$$N_u = \left(1.953 RePr \frac{d_H}{L} \right)^{1/3} \quad (19)$$

$$\left(RePr \frac{d_H}{L} \right) \leq 33.33 \text{ için}$$

$$N_u = 4.364 + 0.0722 \left(1.953 RePr \frac{d_H}{L} \right) \quad (20)$$

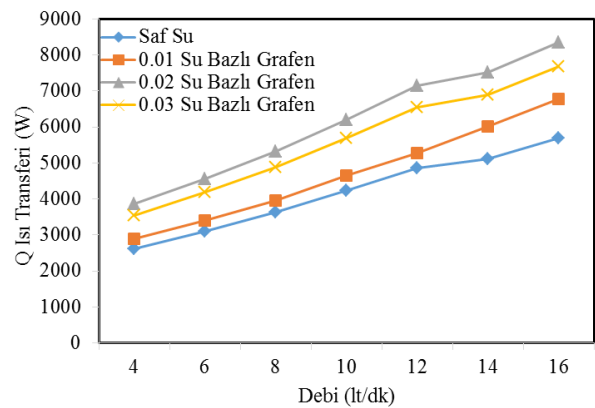
Saf su için Nusselt sayısının deneysel sonuçları, %3.78'lik ortalama bir hataya sahip Shah-London denklemleri ile uyumludur.

Su Bazlı Grafen Nanoakışkanların Isı Transfer Performansı

Saf su ile yapılan deney sonuçları referans değerleri kabul edilmiş ve nanoakışkanlar ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar bu değerlerle kıyaslanmıştır. Isı transferi miktarı, toplam ısı transferi katsayısı, Nusselt sayısı ve basınç düşüşündeki miktar tüm deneyler için hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar yapılan diğer çalışmalarla uyumludur. Örneğin Kılınç ve arkadaşlarının [19] yaptıkları araç radyatörü soğutma çalışmasında da GO-saf su ile yapılan deneylerde en iyi termal sonuçlara 0.02 konsantrasyonlu nanoakışkanda ulaşılmıştır.

Isı transferi

%0.01, %0.02 ve %0.03 hacimsel nanopartikül konsantrasyonlarına sahip saf su ve su bazlı grafen nanoakışkan için hacimsel debilerine bağlı ısı transfer miktarları Şekil 2'de gösterilmektedir. Nanoakışkan kullanılan deneylerde elde edilen ısı transfer oranları saf suya oranla daha yüksektir. Şekil 2'de, saf su ve su bazlı grafen nanoakışkanın hacimsel debisini artırarak ısı transfer oranının arttığı açıkça görülmektedir.



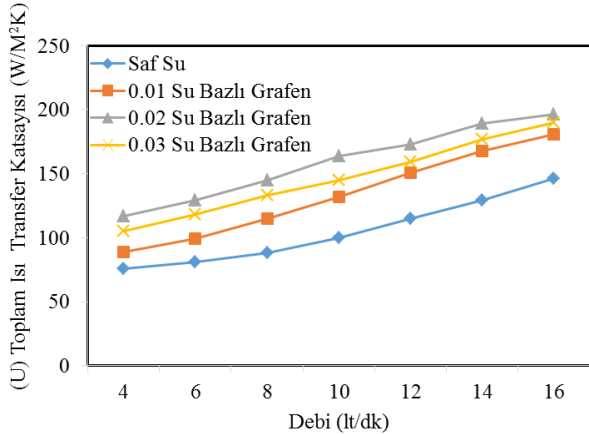
Şekil 1. Deney akışkanları için ısı transferi ve hacimsel debi

Saf su ile yapılan deneyde, ısı transferi 4 lt/dk'lık debide 2628 W ve 16 lt/dk'lık debide 5863 W'dir. Hacimsel konsantrasyonları %0.01, %0.02 ve %0.03 sahip nanoakışkanlar

kullanıldığında farklı hacimsel debilerde ısı transfer miktarında artışlar olmaktadır. %0.01 hacimsel konsantrasyona sahip nanoakışkan deneyinde ısı transfer oranları 4 lt/dk debide %10.09 ile 16 lt/dk debide %19.21 artmıştır. Şekil 2'de, nanoparçacıkların hacimsel konsantrasyonu arttıkça ısı transfer hızının arttığı görülmektedir. Ancak ısı transferindeki bu artış nanopartiküllerin hacimsel konsantrasyonu %0.02 oluncaya kadar devam etmektedir. Konsantrasyon miktarı arttıkça ısı transferinde artış olmamaktadır. Isı transferinin en yüksek olduğu akışkan %0.02 hacimsel konsantrasyonlu nanoakışkandır. Nanopartiküllerin hacimsel konsantrasyon seviyesi belirli değerlerin üzerine çıktığında viskozitedeki artışa bağlı olarak radyatör borularında sınır tabaka kalınlığını artırmakta olup ve ısı transfer miktarı artmamaktadır [26,30].

Toplam ısı transfer katsayısı

Su ve %0.01, %0.02 ve %0.03 nanopartikül hacimlerine sahip su bazlı grafen nanoakışkan için hacimsel debilerine bağlı toplam ısı transfer katsayıları Şekil 3'de gösterilmektedir. Nanoakışkanların hacimsel debisi arttıkça ısı transferi katsayısı artmaktadır.



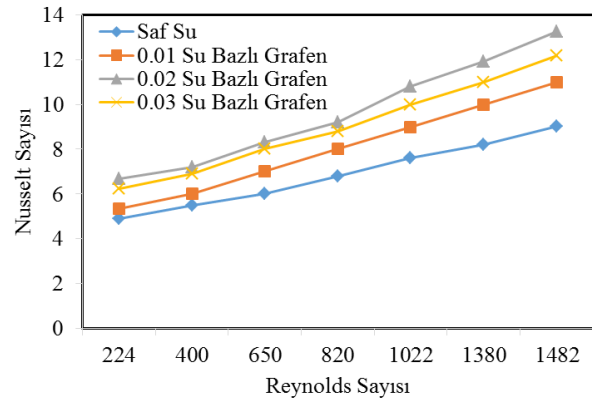
Şekil 2. Deney akışkanları için debiye bağlı toplam ısı transfer katsayısı

Nanoparçacıkların hacimsel konsantrasyonu %0.02'den %0.03'e yükseltildiğinde, toplam ısı transfer katsayılarının düştüğü görülmektedir. Saf su kullanıldığında, toplam ısı transfer katsayısı 4 lt/dk'lık debide 76 W/m²K ve 16 lt/dk'da ise 146 W/m²K olmuştur. %0.01 hacimsel konsantrasyona sahip nanoakışkanın toplam ısı transfer katsayısı, saf suya kıyasla 4lt/dk'lık debide %17.06 ve 16 lt/dk'lık debide %23.90 artmıştır. 4 lt/dk'lık hacimsel debide

%0.02 hacimsel konsantrasyonlara sahip nanoakışkan kullanımında toplam ısı transfer katsayısında %53.79 artış görülmektedir. 16 lt/dk'lık hacimsel debide %0.03 hacimsel konsantrasyonlara sahip nanoakışkan kullanımında ise toplam ısı transfer katsayısında %38.41 artış olmuştur. %0.02 hacimsel konsantrasyonlara sahip su bazlı grafen nanoakışkanın, 16 lt/dk debide toplam ısı transfer katsayısında artış %38.43 olmuştur. 16 lt/dk debide %0.03 hacimsel konsantrasyonlara sahip nanoakışkan kullanımında toplam ısı transfer katsayısındaki artış %29.88 olmuştur.

Nusselt sayısı

Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki değişim, %0.01, %0.02 ve %0.03 hacimsel nanopartikül konsantrasyonlarına sahip su ve su bazlı grafen nanoakışkan için Şekil 4'de gösterilmektedir. Reynolds sayısına bağlı olarak Nusselt sayısı artmıştır. Bununla birlikte, nanoakışkanın Nusselt sayı değerleri suya göre daha yüksektir. Reynolds sayısı radyatör boru geometrisine, akış hızına, akışkanının yoğunluğuna ve viskozitesine bağlıdır. % 0.02 hacimsel konsantrasyona sahip nanoakışkan kullanılan deneyde Nusselt sayısını en büyük değerlere ulaştırmaktadır.



Şekil 3. Deney sıvıları için Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı

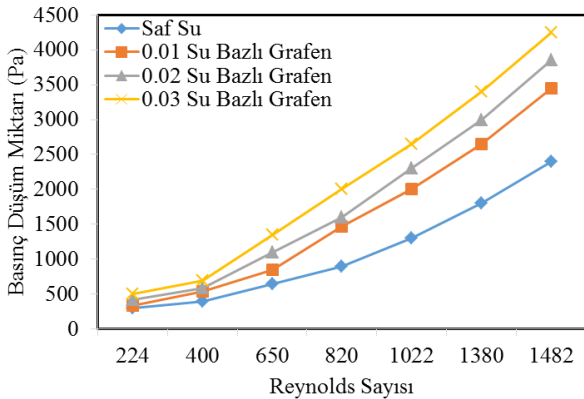
Deneyde saf su akışkan olarak kullanıldığında, Reynolds sayısı 224 iken Nusselt sayısı 4.92 değerini almaktadır. Reynolds sayısı 1482 olduğunda ise Nusselt sayısı 9.02 olmaktadır. %0.01 hacimsel konsantrasyona sahip su bazlı nanoakışkanın kullanıldığı deneyde Nusselt sayısı 4lt/dk debide %8.62, 16 lt/dk debide ise %14.69 artmaktadır. %0.02 hacimsel konsantrasyonlara sahip su bazlı grafen

nanoakışkan kullanıldığında, Reynolds sayısı 224 iken Nusselt sayısında %36.03 artış olmuştur. %0.03 hacimsel konsantrasyonlara sahip su bazlı grafen nanoakışkan kullanıldığında ise Reynolds sayısı 224 iken Nusselt sayısı %26.42 olmuştur.

Basınç düşüş değerleri

Reynolds sayısı değerlerine göre basınç düşüşündeki değerler şekil 5'de verilmiş olup, su ve su bazlı grafen nanoakışkan için Reynolds sayısı arttıkça basınç düşüşünün arttığı görülmektedir. Nanoakışkan kullanılan deneylerde basınç düşüş değeri suya göre oldukça yüksektir. Su kullanılan deneylerde basınç düşme değerleri Reynolds sayısı 224 iken 196.26 Pa ve Reynold sayısı 1482 iken 2474.26 Pa'dır. %0.01 hacimsel su bazlı nanoakışkan kullanılan deneyde basınç düşüş değeri 4 lt/dk debide %19.89 artmış ve 16 lt/dk'lık debide ise %57.69 artmıştır. %0.02 hacimsel konsantrasyonlara sahip su bazlı grafen nanoakışkanda Reynolds sayısı 224 iken basınç düşüşü %78.52 artmıştır. %0.03 hacimsel konsantrasyonlara sahip su bazlı grafen nanoakışkanda, Reynolds sayısı 224 iken basınç düşüşü %106.85 artış göstermiştir.

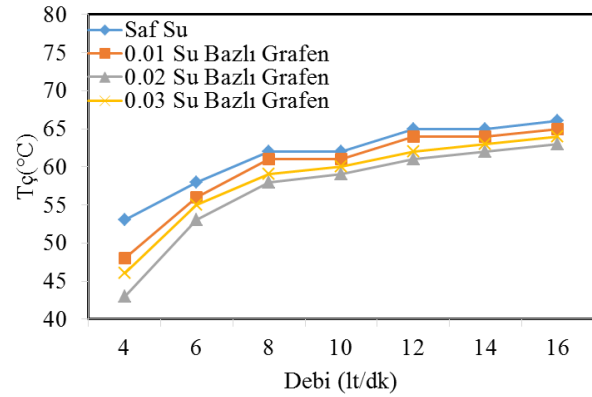
%0.01, %0.02, %0.03 hacimsel konsantrasyonlara sahip su bazlı grafen nanoakışkanın basınç düşüşündeki ortalama artışları %36.27, %54.70 ve %73.00 değerlerine ulaşmaktadır. Basınç düşmesindeki artışlar su bazlı grafen nanoakışkanın fiziksel özelliklerinden kaynaklanmaktadır [9,18]. Nanoakışkanların yoğunlukları ve viskoziteleri yüksek olduğundan basınç düşüşündeki değerler saf suya göre daha yüksektir [31].



Şekil 4. Deney sıvıları için Reynolds sayısı ile basınç düşüşü

Radyatör Çıkış Sıcaklığı

Soğutma sistemlerinde amaç, motorda ısınmış akışkanın sıcaklığını radyatörde belirli sıcaklıklara kadar soğutarak içten yanmalı motorun ideal şartlarda çalışmasını sağlamaktır. Bu nedenle radyatör giriş ve çıkış sıcaklık değerleri oldukça önemlidir. Radyatör çıkış sıcaklıkları ile hacimsel debi ilişkisi, Şekil 6'da görülmektedir. Su bazlı grafen nanoakışkanın kullanıldığı deneylerde radyatörün çıkış sıcaklığının azaldığı görülmektedir. Radyatörün ısı verimliliği, nanoakışkanlar kullanıldığında yükselmiştir. Ancak debideki artış ısı transfer hızını düşürmekte ve radyatörün çıkış sıcaklığını artırmaktadır [32].



Şekil 5. Debiye bağlı olarak deney sıvıları için radyatör çıkış sıcaklığı

Sonuçlar

Bu çalışmada önemli sonuçlar elde edilmiştir. Araç soğutma sistemlerinde su bazlı grafen nanoakışkanın kullanılması sonucunda ısı transfer oranı, toplam ısı transfer katsayısı ve Nusselt sayısı gibi ısı performans parametrelerinde önemli neticeler alınmıştır. %0.02 hacimsel nanoparçacık konsantrasyonuna sahip nanoakışkan kullanılarak yapılan deneyde ısı transfer hızındaki maksimum artış, %47 olarak elde edilmiştir. Toplam ısı transfer katsayısı ve Nusselt sayısındaki maksimum artış, %0.02 hacimsel nanoparçacık konsantrasyonuna sahip nanoakışkan kullanılarak sırasıyla %52 ve %34 olarak elde edilmiştir. %0.02 hacimsel nanoparçacık konsantrasyonuna sahip nanoakışkan kullanılan deneyde basınç düşüşündeki artış %49 olmuştur. Isıl performans parametrelerindeki en yüksek değerler nanoparçacıkların hacimsel konsantrasyon seviyesi %0.02 iken sağlanmıştır.

Hacimsel konsantrasyonu %0.02'den %0.03'e yükseltildiğinde ısı transfer oranı, toplam ısı transfer katsayısı ve Nusselt sayısında düşüşler görülmektedir. Ayrıca basınç düşüş miktarı da azalmaktadır. Su yerine su bazlı grafen nanoakışkanın kullanıldığında otomobil radyatörünün ısı verimliliği oldukça yükselmiştir. Özellikle %0.02 hacimsel nanoparçacık konsantrasyonuna sahip nanoakışkan kullanıldığında en yüksek ısı verimlilik sağlanmıştır.

Sonuç olarak araç soğutma sisteminde su bazlı grafen nanoakışkan kullanılması ısı performanslar açısından oldukça iyi sonuçlar doğurmuştur. Dolayısıyla su bazlı grafen nanoakışkanın otomobil soğutma sistemlerinde kullanılması ısı verimliliği artırmaktadır.

Kaynaklar

- [1] Maxwell, J.C. (1904). A Treatise on Electricity and Magnetism, Oxford University Press, Cambridge.
- [2] Ali, H.M., Azhar, M.D., Saleem, M., Saeed, Q.S., Saieed, A., (2015), Heat transfer enhancement of car radiator using aqua based magnesium oxide nanofluids, Thermal Science 19(6), 2039–2048.
- [3] Ali, H.M., Ali, H., Liaquat, H., Maqsood, H.T.B., Nadir, M.A., (2015), Experimental investigation of convective heat transfer augmentation for car radiator using ZnO–water nanofluids, Energy, 84, 317–324.
- [4] Karabulut, K., Buyruk, E., Kilinc, F., (2020). Experimental and numerical investigation of convection heat transfer in a circular copper tube using graphene oxide nanofluid, J Braz. Soc. Mech. Sci. Eng. 42 (230), 1-16.
- [5] Bhogare, A.R.A., Kothawale, B., Bodkhe, P.P., Gawali, A., (2014). Performance investigation of Automobile Radiator operated with Nanofluids Based Coolant, International Journal of Thermal Technologies, 4(2), 2277–4114.
- [6] Qasim, M., Sajid, Kamran, M., Ammar, M. Jamal, A.M., Javaid M.Y., (2020). Heat Transfer Enhancement of an Automobile Engine Radiator using ZnO Water Base Nanofluids, J. Therm. Sci. 11630 (20), 1263-9.
- [7] Ali, M., El-Leathy, A., Al-Sofyany Z., (2014). The effect of nanofluid concentration on the cooling system of vehicles radiator, Advances in Mechanical Engineering, 6, 962510.
- [8] Heris, S.Z., Pour, M.B., Mahian, O., Wongwises, S., (2014). A comparative experimental study on the natural convection heat transfer of different metal oxide nanopowders suspended in turbine oil inside an inclined cavity, International Journal of Heat and Mass Transfer, 73, 231–238.
- [9] Leong, K., Saidur, R., Kazi, S., Mamun, A., (2010). Performance investigation of an automotive car radiator operated with nanofluid-based coolants (nanofluid as a coolant in a radiator), Applied Thermal Engineering, 30, 2685–2692.
- [10] Peyghambarzadeh, S., Hashemabadi, S., Jamnani, M.S., Hoseini, S., (2011). Improving the cooling performance of automobile radiator with Al₂O₃/water nanofluid, Applied Thermal Engineering, 31(10), 1833–1838.
- [11] Peyghambarzadeh, S., Hashemabadi, S., Naraki, M., Vermahmoudi, Y., (2013). Experimental study of overall heat transfer coefficient in the application of dilute nanofluids in the car radiator, Applied Thermal Engineering, 52(1), 8–16.
- [12] Naraki, M., Peyghambarzadeh, S., Hashemabadi, S., Vermahmoudi, Y., (2014). Parametric study of overall heat transfer coefficient of CuO/water nanofluids in a car radiator, International Journal of Thermal Sciences, 66, 82–90.
- [13] Hussein, A.M., Bakar, R., Kadrigama, K., (2014). Study of forced convection nanofluid heat transfer in the automotive cooling system, Case Studies in Thermal Engineering, 2, 50–61.
- [14] Nieh, H.M., Teng, T.P., Yu, C.C., (2014). Enhanced heat dissipation of a radiator using oxide nanofluid, International Journal of Thermal Sciences, 77, 252–261.
- [15] Baby, T.T., Ramapraphu, S., (2014). Enhanced Convective Heat Transfer Using Graphene Dispersed Nanofluids, Nanoscale Res. Lett., 6- 289.
- [16] Chavan, D., Pise, A.T., (2014). Performance investigation of an automotive car radiator operated with nanofluid as a coolant, Journal of Thermal Science and Engineering Applications, 6(2), 021010.
- [17] Heris, S.Z., Shokrgozar, M., Poorpharhang, S., Shanbedi, M., Noie, S., (2014). Experimental study of heat transfer of a car radiator with CuO/ethylene glycol-water as a coolant, Journal of Dispersion Science and Technology, 35(5), 677–684.
- [18] Akhavan-Zanjani, H., Saffar-Avval, M., Mansourkiaei, M., Sharif, F., Ahadi, M., (2016). Experimental Investigation of Laminar Forced Convective Heat Transfer of Graphene-Water Nanofluid Inside a Circular Tube, Int. J. Thermal Sci., 100, 316-323.

- [19] Kilinc, F., Buyruk, E., Karabulut, K., (2019). Grafen Tabanlı Nanoakışkanların Araç Radyatörü Soğutma Performansı Üzerindeki Etkisinin Deneysel Analizi, *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(2), 1046-1056.
- [20] Kılınç, F., Buyruk, E., Karabulut, K., (2020). Experimental investigation of cooling performance with graphene based nano-fluids in a vehicle radiator, *Heat Mass Transfer* 56, 521–530.
- [21] Kılınç, F., Buyruk, E., Karabulut K., (2017). An Experimental Study for Heat Transfer Enhancement of Graphene Nanoribbon Nanofluid in an Automobile Radiator, 8th International Advanced Technologies Symposium, 1439-1446.
- [22] Kılınç, F., Buyruk, E., Karabulut K., (2019). Araç Radyatörünün Isı Transferi Performansının Su Tabanlı Nanoakışkanlar Kullanılarak Deneysel Olarak Araştırılması, *Tesisat Mühendisliği*, 170, 37-46.
- [23] Singh, V., Joung D., Zhai L., Das S., Khondaker S., Seal S., (2014). Graphene Based Materials: Past, Present and Future, *Progress in Materials Science*, 56, 1178-1271.
- [24] Novoselov, K., Geim, A. K., Morozov, S., Jiang, D., Grigorieva, M. K. I., Dubonos, S., Firsov, A., (2005). Two-Dimensional Gas of Massless Dirac Fermions in Graphene, *Nature*, 438 (7065),197-200.
- [25] Yu, W., Xie, H., Chen, L., Li, Y.. (2010). Enhancement of Thermal Conductivity of Kerosene-Based Fe₃O₄ Nanofluids Prepared via Phase-Transfer Method, *Colloids and Surfaces A*, 355, (1-3), 109-113.
- [26] Li, Y., Fernández-Seara, J., Du, K., Pardiñas, Á.Á., Latas, L.L., Jiang, W., (2016). Experimental investigation on heat transfer and pressure drop of ZnO/ethylene glycol-water nanofluids in transition flow, *Applied Thermal Engineering*, 93, 537–548.
- [27] Pak, B.C., Cho, Y.I., (1998). Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles, *Experimental Heat Transfer an International Journal*, 11(2), 151–170.
- [28] Holman, J.P., Gajda, W.J., (2001). Experimental methods for engineers, McGraw-Hill, New York.
- [29] Shah, R.K., London, A.L., (1978). Laminar flow forced convection in ducts: a source book for compact heat exchanger analytical data, *Advances in heat transfer*, Supplement. New York: Academic Press, 109.
- [30] Zeinali, H.S., Razbani, M.A., Estellé, P., Mahian, O., (2015). Rheological behavior of zinc-oxide nanolubricants, *Journal of Dispersion Science and Technology*, 36(8), 1073–1079.
- [31] Taghizadeh, T.Z., Heris S.Z., Moradi M., Kahani M., (2016). The study on application of TiO₂/water nanofluid in plate heat exchanger of milk pasteurization industries, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 58,1318– 1326.
- [32] Bhimani, V., Rathod, P., Sorathiya, A., (2013). Experimental study of heat transfer enhancement using water based nanofluids as a new coolant for car radiators, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2013, 3(6), 295–302.
- [33] Maxwell J.C., (1873). A treatise on electricity and magnetism, vol 1. Clarendon Press, Oxford, 1873.