



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

ARAÇ RADYATÖRÜNÜN ISI TRANSFERİ PERFORMANSININ SU TABANLI NANOAKIŞKANLAR KULLANILARAK DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

**FERHAT KILIÇ
ERTAN BUYRUK
KORAY KARABULUT
CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ**

ARAÇ RADYATÖRÜNÜN ISI TRANSFERİ PERFORMANSININ SU TABANLI NANOAKIŞKANLAR KULLANILARAK DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Experimental Investigation of Auto Radiator Heat Transfer Performance by using Water Based Nanofluids

Ferhat KILINÇ
Ertan BUYRUK
Koray KARABULUT

ÖZET

Bu çalışmada, araç radyatöründeki ısı transferi performans artışı saf su, su tabanlı grafen oksit ve su tabanlı grafen nano ribon nanoakışkanları kullanılarak deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler farklı akışkan sıcaklıkları (36 °C, 40 °C ve 44 °C) ve debilerde (0.6 m³/h, 0.7 m³/h, 0.8 m³/h ve 0.9 m³/h) gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar kullanılarak toplam ısı transferi katsayısı, U hacimce % 0.01 konsantrasyondaki grafen oksit (GO) ve grafen nano ribon (GNR) nanoakışkanı için hesaplanmıştır. Radyatör soğutması için kullanılan havanın debisi sabit tutulmuştur. Deneylerden elde edilen toplam ısı transfer katsayıları saf su ve nanoakışkanlar için karşılaştırılarak ısı transferi performansındaki artış belirlenmiştir. Sonuçlar, toplam ısı transferi katsayısındaki en yüksek artış miktarlarının % 0.01 GO-su nanoakışkanı için % 8.7 ve % 0.01 GNR-su nanoakışkanı için % 18.9 olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Nanoakışkan, Grafen Oksit (GO), Grafen Nano Ribon (GNR), araç radyatörü.

ABSTRACT

In this study, heat transfer performance enhancement of a car radiator by using pure water, water-based graphene oxide and water-based graphene nanoribbon nanofluids is investigated experimentally. Experiments are conducted at different fluid temperatures (36°C, 40°C and 44 °C) and flow rates (0.6 m³/h, 0.7 m³/h, 0.8 m³/h and 0.9 m³/h). Overall heat transfer coefficient, U is calculated from obtained results for graphene oxide (GO) and graphene nanoribbon (GNR) (0.01 % vol. concentration) nanofluids. The flow rate of the air side which is used for cooling of radiator is kept constant. Overall heat transfer coefficient obtained from the experiments are compared with pure water and the nanofluids to determine increase in heat transfer performance. Results showed that, the highest amount of increase in the overall heat transfer coefficient is 8.7 % for 0.01 % GO-water nanofluid and 18.9 % for 0.01 % GNR-water nanofluid respectively.

Key Words: Nanofluid, Graphene oxide (GO), Graphene Nano Ribon (GNR), car radiator.

1. GİRİŞ

Her sektörde olduğu gibi otomotiv sektöründe de enerji verimliliği, enerji tüketiminin minimuma indirilmesi, üretilmesi planlanan parçaların optimizasyon testlerinin yapılması konularında çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar yapılarak enerji tasarrufu sağlanırken aynı zamanda ihtiyaç duyulan performans kriterinin de sağlanması gerekmektedir. Otomobil soğutma sistemlerinin en önemli elemanlarından birisi radyatörlerdir. Otomobil radyatörleri bir çeşit kompakt ısı değiştiricisidir [1]. Isı

değiştiricideki iş yapan taban akışkan içerisine katı parçacıkların süspansiyon şeklinde katılması pasif ısı transferi iyileştirme yöntemlerinden biridir. Bu yöntem geleneksel akışkanın ısı iletkenliğini artırarak akışkanın ısı transferi karakteristiklerini iyileştirmektedir [2].

Soğutucu akışkanlar, su, motor yağı, etilen glikol vb. gibi geleneksel akışkanlar zayıf ısı transfer performansına sahiptir ve bu yüzden gereken ısı transferini elde edebilmek için yüksek kompaktlıkta ve etkenlikte sistemler gerekmektedir. Isı transferi geliştirilmesi için gösterilen çabalar arasında akışkana katkılar uygulaması daha belirgindir. Son zamanlarda nano teknolojideki ilerlemeler nanoakışkan denilen yeni bir akışkan kategorisi gelişmesini sağlamıştır [3]. Choi, enerji verimli nanoakışkanlar ve daha küçük ve daha hafif radyatörler geliştirilmesi yoluyla otomotiv endüstrisi için yakıt tasarrufunu hedefleyen bir proje sunmuştur. Nanoakışkanlar projesinin temel amacı, güç motorlarının yüksek soğutma ihtiyacına rağmen araç soğutma sistemlerinin boyut ve ağırlıklarının %10' dan daha fazla oranda azaltılmasıdır [4].

Nanoakışkan 100 nm ve daha küçük boyuttaki metal, metal oksit, karbon nanotüp veya grafen parçacıkların genelde Newton kuralına uyan akışkanlar içerisine düşük konsantrasyonlarda eklenmesiyle oluşturulan süspansiyon şeklindeki akışkanlara denilmektedir. Nanoakışkanlar, ısı yayılım ve ısı iletkenlik gibi termodinamik özellikleri iyileştirirken, mükemmel bir kararlılık ve taşınım ısı transfer katsayısı sağlamaktadırlar ve ayrıca basınç düşüşü ve pompalama gücünde taban akışkanında çok az bir artış meydana getirmektedirler [5,6,7]. Karbon tabanlı malzemelerden olan grafen, nanoteknolojinin çeşitli alanlarında yaygın bir şekilde kullanılan en yeni nanoparçacıklardan biridir. Karbon elementinin bal peteği örgülü yapısı olan grafen, iki boyutlu düzlemsel yapıların çok ender örneklerinden biri olarak kabul edilmektedir. Bilim dünyasında oldukça fazla heyecan yaratan grafen aslında çok nadir bulunan bir malzeme değildir. Kullandığımız kurşun kalemlerin içindeki grafit, grafen tabakalarının üst üste binmesinden oluşmaktadır. Grafen, karbon atomlarının tek düzlemde altıgen yapıda dizilmesiyle oluşan iki boyutlu, bir atom kalınlığında, karbon allotropu bir yapıdır [8]. Grafen suyu sevmez özelliğe sahiptir. Grafit oksitlenerek grafen oksite dönüştüğünde ısı iletkenliği grafitten daha düşük olmaktadır. Fakat grafen oksit suyu sever özellikte olduğundan kullanıldığı nanoakışkanda stabilite (kararlılık) artmakta ve çökme olmamaktadır [9]. Başta metaller olmak üzere yaygın kullanılan nanoparçacıklara kıyasla sahip olduğu üstün özellikler ve literatürde az miktarda çalışma bulunması nedeniyle deneylerde grafen nanoparçacıkları tercih edilmiştir.

Bazı araştırmalar nanoakışkanların ısı değiştiricisi uygulamalarında faydalanılması için başlatılmıştır ve önceki çalışmaların çoğu sayısaldır. Roy vd. [10], radyal akışlı soğutma sisteminde Al_2O_3 – su nanoakışkanını kullanarak 1200 Re sayısı için ısı transferini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışma, % 5 ve % 10 hacimsel konsantrasyon ile ısı transferinin % 45 ve % 110 arttığını göstermiştir. Yine benzer bir soğutma sisteminde ve sıcaklık-bağımlı özellikler kullanılarak Palm vd. [11] tarafından Al_2O_3 – su nanoakışkanının ısı transferine faydası sayısal olarak araştırılmıştır. Sonuç olarak % 4 hacimsel fraksiyon için saf suya kıyasla ısı transferi katsayısında % 25 artış elde etmişlerdir. Jang ve Choi [12], mikrokanaallı ısı değiştiricisinde nanoakışkan kullanımının önce ve sonraki soğutma performansı sayısal olarak çalışılmıştır. Suyu eklenen elmas parçacıklar (% 1 hacim konsantrasyonu ve 2nm çapında), sabit pompalama gücünde % 10 daha yüksek ısı transferi performansı sergilemişlerdir. Nguyen vd. [13], kapalı bir devredeki Al_2O_3 – su nanoakışkanının ısı transferi performansını ölçmüşlerdir. Çalışmaları göstermiştir ki, % 6.8 hacim konsantrasyonunda ısı transferi katsayısındaki, h artış % 40 daha yüksektir. Ayrıca 47nm parçacık çapının 36nm boyutuna göre daha fazla iyileşme sağladığından da bahsetmişlerdir. Chun vd. [14], konsentrik çift borulu ısı değiştiricisi sisteminde yağ taban akışkanı için alümina nanoparçacıklar kullanmışlardır. Çalışmalarında % 0.5 hacimsel konsantrasyonu için taşınım ısı transferi katsayısında, h % 10-13 artış ve düşük Re sayısı ($Re < 200$) için ortalama ısı transferi katsayısında, h yaklaşık % 25 artış elde etmişlerdir. Daha yakın zamanda, Duangthongsuk ve Wongwises [15], konsentrik çift borulu ısı değiştiricisinde TiO_2 -su nanoakışkanı kullanarak deneysel bir çalışma yapmışlardır. Hacimsel konsantrasyon % 0.2 (21nm ortalama çapında) ve türbülanslı akış koşullarında taşınım ısı transferi katsayısında, h % 6-11 artış elde ettiklerini bildirmişlerdir. Karabulut vd. [16] çalışmalarında 8 mm iç çaplı ve 1830 mm uzunluklu bakır bir boruda % 0.01 konsantrasyonlu MWCNT-su nanoakışkanının taşınım ısı transferi artışında ısı akısı ve hacimsel debinin etkilerini araştırmışlardır. $Re=2753$ ' de en yüksek ısı akısı değerinde taban akışkanına göre ısı taşınım katsayısında % 20' lik artış elde etmişlerdir.

Peyghambarzadeh vd. [17], deneysel çalışmalarında geleneksel etkenlik, ϵ -NTU (Number Of Transfer Unit) yöntemine göre toplam ısı transferi katsayısını, U hesaplayarak otomobil radyatöründe ısı

transferi performansını araştırmışlardır. Deneyler 60nm boyutundaki bakır oksit (CuO) ve 40nm boyutundaki demir oksit (Fe_2O_3) nanoparçacıklar ile sıvı tarafındaki Reynolds sayısı, Re 50-1000 arasında değiştirilmiş ve sıvının radyatöre giriş sıcaklığı 50 °C, 65 °C ve 80 °C de sabit tutularak yapılmıştır. Sonuç olarak; sıvı giriş sıcaklığı azaltıldığında toplam ısı transferi katsayısının arttığı, sıvı ve havanın debilerinin artırılmasının toplam ısı transferi katsayısını artırdığı, nanoparçacık konsantrasyonunun artırılmasının toplam ısı transferi katsayısını, U (özellikle de Fe_2O_3 /su nanoakışkanında) artırdığı sonuçları elde edilmiştir. Nieh vd. [18], 10-20nm boyutundaki Al_2O_3 ve 20-30nm boyutundaki TiO_2 nanoparçacıklarla 210mmx27mmx133mm ölçülerinde 16 düz borudan oluşan alüminyumdan bir motosiklet radyatörüyle deneysel bir çalışma yapmışlardır. NC (nano-coolant) olarak tanımladıkları 6 farklı nanoakışkan kullanarak 4.5 l/dak., 6.5 l/dak. ve 8.5 l/dak. debilerinde; 80 °C, 85 °C, 90 °C ve 95 °C sıcaklıklarında ve 3.5 m³/dak. sabit hava debisinde deneyler gerçekleştirmişlerdir. Tüm deneyler sonucunda EG/Su ile karşılaştırıldığında en yüksek ısı iletkenlik oranı % 39.7, en yüksek özgül ısı oranı % 3.2 ayrıca en yüksek viskozite oranı ise % 30.4 olarak elde edilmiştir. Genel olarak ise, EG/Su ile kıyaslandığında ısı yayma kapasitesi, basınç düşüşü, pompalama gücü ve EF (Efficiency Factor: verimlilik faktörü; ısı yayma kapasitesinin pompalama gücüne oranı) en yüksek artış oranları sırasıyla % 25.6, % 6.1, % 2.5 ve % 27.2 deneysel olarak elde edilmiştir. Kılınç vd. [19] deneysel çalışmalarında farklı akışkan sıcaklıkları ve debilerde grafen tabanlı nanoakışkan kullanarak 36 adet yatay tüplü ve stadyum kesitli araç radyatörünün soğutma performansını incelemişlerdir. Deneylerden elde edilen toplam ısı transfer katsayıları saf su ve nanoakışkanlar için karşılaştırılarak ısı transferi performansındaki artış belirlenmiştir. Sonuç olarak akışkan 44 °C sıcaklıkta iken toplam ısı transferi katsayısındaki en yüksek artış miktarının % 0.01 GO-su nanoakışkanı için % 7.9 ve % 0.02 GO-su nanoakışkanı için % 33.9 olduğunu elde etmişlerdir. Elsebay vd. [20], su akışkanı yerine nanoakışkan kullanılması nedeniyle bir radyatör yeniden boyutlandırılmıştır. Radyatörün düz borusunda akan iki nanoakışkan (Al_2O_3 /su ve CuO/su) hem ısı iletkenlik hem de akış performansını değerlendirmek için sayısal olarak araştırılmış ve yeniden boyutlandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, % 1, 3, 5 ve 7 olmak üzere dört farklı hacimsel konsantrasyonla çalışılırken, Reynolds sayısı 250 ile 1750 arasında değişmektedir. Isı transferi performansındaki dikkat çekici iyileşme nedeniyle radyatörün hacminde önemli bir azalma sağlanmıştır. Ramalingam vd. [21] ısı borularında soğutucu olarak CeO_2 /etilen glikol' ün ısı iletkenliğinin analizini gerçekleştirmişlerdir. 40 °C sıcaklıkta farklı konsantrasyon ve debilerde deneysel olarak araştırmalar yapmış ve sonuçlar bükülmüş plaka yerleştirilmiş yatay akış ve çapraz borulu ısı değiştiricisinde sayısal olarak analiz edilmiş ve etilen glikol/su kombinasyonu ile karşılaştırıldığında hacimsel % 0.75 CeO_2 /etilen glikol konsantrasyonunun daha fazla ısı transfer katsayısı artışı sergilediği görülmüştür. Bu nedenle geleneksel soğutucu yerine önerilen kombinasyonun kullanılmasının radyatörün boyutlarını, kullanılan akışkan hacmini ve pompalama gücünü azaltacağını böylece akışkanın motor soğutma sistemi için enerji verimli bir akışkan olacağını belirlemişlerdir. Naik vd. [22] çalışmalarında suda alüminyum oksit ve bakır oksiti içeren iki nanoakışkanı düşünerek otomobil radyatörünün performansını deneysel olarak araştırmışlardır. % 0.1' lik hacimsel konsantrasyonda her iki nanoakışkanın taban akışkanının üzerinde performansta iyileşme gösterdiğini saptamışlardır. Karşılaştırma, eşit kütleli debi, eşit hava debisi ve eşit radyatör soğutucu giriş sıcaklığı olmak üzere üç önemli değişken göz önüne alınarak yapılmıştır. Her iki nanoakışkanın taban akışkanıyla karşılaştırıldığında ısı transferi oranında artış sergilediğini belirlemişlerdir.

Bu çalışmada su tabanlı grafen oksit ve grafen nano ribon nanoakışkanlarının ısı transferi performansına etkisi saf suyla kıyaslanarak incelenmiştir. Hazırlanan deney sisteminde 3 farklı sıcaklık (36 °C, 40 °C ve 44 °C) ve 4 farklı debide (0.6 m³/h, 0.7 m³/h, 0.8 m³/h ve 0.9 m³/h) iki farklı nanoakışkan % 0.01 hacimsel konsantrasyonu için deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak etkenlik değeri ve toplam ısı transferi katsayısındaki artışlar hesaplanmıştır. Böylece saf suyla kıyaslamalar yapılarak hem grafen oksit (GO) hem de grafen nano ribon (GNR) nanoakışkanlarının ısı transferi performansına etkisi sıcaklık, debi ve hacimsel konsantrasyon açısından incelenmiştir. Toplam ısı transferi katsayısındaki artış saf suya kıyasla yüzdesel olarak hesaplanmıştır.

2. DENEYSEL YÖNTEM

2.1. Nanoakışkanların Hazırlanması

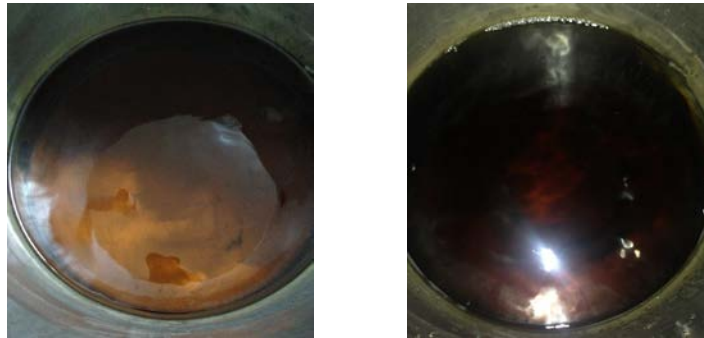
Nanoakışkan üretmek için taban akışkanı olarak saf su ve nanoparçacık olarak grafen kullanılmıştır. Nanoakışkanın hazırlanması işlemi Cumhuriyet Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma Merkezinde gerçekleştirilmiş olup, deneyde kullanılan nanoakışkan buradan temin edilmiştir. Deneylerde kullanılan GO, grafitten sentezlenerek elde edilmiştir. GO sentezlenirken grafit, nitrit ve sülfirik asit ve ayrıca sodyum nitrat, hidrojen peroksit ve potasyum permanganat gibi çeşitli kimyasallarla işleme tabi tutulmuştur. Daha sonra saf suyla yıkanarak asitten ve kimyasallardan ayrıştırıldıktan sonra fırında kurularak GO nanoparçacığı elde edilmiştir [23, 24]. Literatürde Ribon olarak adlandırılan karbon nanotüp nanoşerit nanoparçacıklar kısa ve uzun olmak üzere iki farklı uzunluktaki ($L=0.5-2 \mu\text{m}$ ve $L=10-30\mu\text{m}$) 20-30nm dış çapa sahip çok duvarlı karbon nanotüplerin iyileştirilmiş Hummers metodu (grafit oksidin ekfoliasyonu) ile boylamasına açılması ile sentezlenmiştir. Ribon nanoparçacık silindirik tüp şeklindeki karbon nanotüplerin boylamasına açılması ile elde edilen iki boyutlu düzlem şeklindeki yapraklardır. Diğer bir ifade ile Ribon, Grafen'in karbon nanotüplerden elde edilmiş haline denilmektedir [25].

Deneyler öncesi hazırlanmak istenilen konsantrasyona göre grafen parçacıkları, 0.0001 g (0.1 mg) hassasiyete sahip terazi ile tartılmıştır. Nanopartikül tartım işleminden sonra kütesel oranlar Eş. (1) ile hacimsel orana çevrilmiştir. Yapılan deneylerde 4 lt saf suya 0.4 gr grafen katılarak hacimce %0.01 konsantrasyonda nanoakışkanlar kullanılmıştır. Nanoakışkan hazırlanırken nanoparçacıkların topaklaşmasını önleyerek kararlılığını artırmak amacıyla 4-8 saatlik süreyle 50 Hz' lik frekansa ve 230 W' lık maksimum güce sahip ultrasonifikatör cihazında sonifikasyon işlemine tabi tutulmuştur. Ayrıca nanoakışkanın kararlılığının sağlandığına gözlemsel ve Zeta potansiyel ölçümleri sonunda karar verilmektedir [26]. Sonuç olarak, mürekkep benzeri siyah homojen bir süspansiyon elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen kararlı nanoakışkan, deney sisteminde ısıtma tankına konularak deneyler yapılmıştır.

$$\frac{V_p}{V_{nf}} = \frac{V_p}{V_f + V_p} = \frac{\frac{m_p}{\rho_p}}{\frac{m_p}{\rho_p} + \frac{m_f}{\rho_f}} = \frac{m_p \rho_f}{m_p \rho_f + m_f \rho_p} \quad (1)$$

Eşitlik (1)' deki, m_p nanoparçacığın kütlesi, m_f taban akışkanın kütlesi, ρ_f ve ρ_p ise sırasıyla taban akışkanının ve parçacığın yoğunluklarıdır. p parçacığı, f akışkanı ve nf nanoakışkanı belirtmektedir.

Deneylere başlamadan önce ve deneyler tamamlandıktan sonra sistem tankındaki grafen oksit nanoakışkanına ait fotoğraflar Şekil 1a ve şekil 1b' de verilmiştir. Görüldüğü üzere nanoakışkanların deney sırasında havadaki oksijenle teması sonucu kararak daha koyu bir renk almaktadır. Grafen nano ribon için de benzer durumlar gözlemlenmiştir.



a)

b)

Şekil 1. Grafen oksit nanoakışkanına ait fotoğraflar a) deney öncesi b) deney sonrası

2.2. Nanoakışkanlara Ait Termofiziksel Özellikler

Kütlesel olarak hazırlanan nanoakışkanların reolojik analizi koni ve plaka (cone and plate) gerilim kontrollü reometre ile yapılmıştır. Isıl iletkenlik ölçümü için literatürde de çok sık kullanılan sıcak tel yöntemi kullanılmış ve bu amaçla deneysel olarak ısıl iletkenlik ölçer cihazı kullanılmıştır. Nanoakışkanın yoğunluk ölçümü deneysel olarak yoğunluk ölçer cihazı ile yapılmıştır. Özgül ısı, Pak ve Cho [27] tarafından önerilen analitik modellerle belirlenmiştir.

Nanoakışkan özgül ısısı,

$$C_{nf} = \phi C_p + (1 - \phi) C_{bf} \quad (2)$$

Eşitlik (2)' de n_f , p ve b_f sırasıyla nanoakışkan, parçacık ve taban akışkanını belirtmektedir.

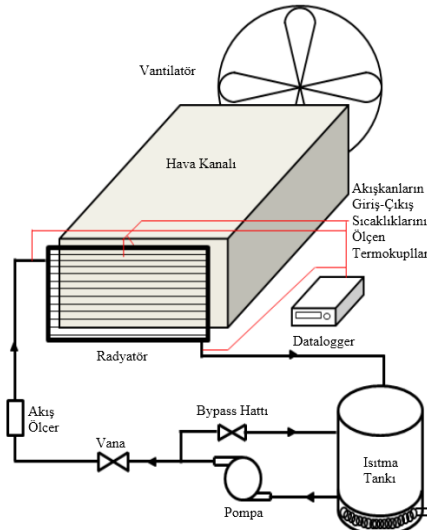
Nanoakışkan ve taban akışkanı olan saf suyun ısıl özellikleri Tablo 1' de gösterilmektedir.

Tablo 1. Farklı sıcaklıklarda akışkanların termofiziksel özellikleri

Akışkan	k (W/mK)	ρ (kg/m ³)	C _p (J/kgK)	μ (kg/ms)
Saf Su (36 °C)	0.6246	992.0	4179	707x10 ⁻⁶
Saf Su (40 °C)	0.6310	992.0	4179	653x10 ⁻⁶
Saf Su (44 °C)	0.6358	992.0	4179	607x10 ⁻⁶
%0.01 GO (35 °C)	0.6696	994.6	4179	1000x10 ⁻⁶
%0.01 GNR (35 °C)	0.6972	994.5	4179	1000x10 ⁻⁶

2.3. Deneysel Sistem ve Kalibrasyon

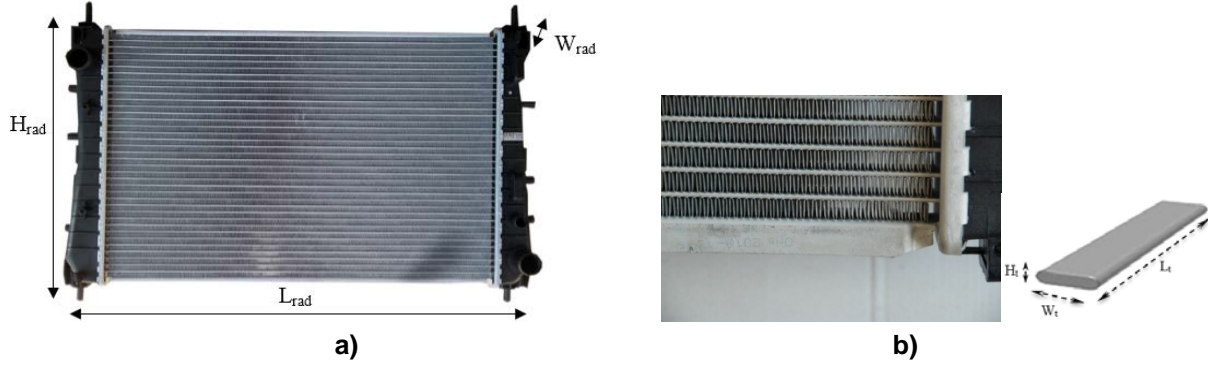
Bu çalışmada kullanılan deneysel sistem Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümüne ait 11mx7.5mx3.5m ölçülerindeki laboratuvarında bulunmaktadır. Yapılan çalışma, C.Ü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından M-526 no 'lu proje kapsamında desteklenmektedir.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan deneysel sistem.

Deneylerde kullanılan otomobil radyatörü (Şekil 3), kıvrımlı kanatçık tipi olan 36 adet yatay tüplü ve stadyum kesit alanlı çapraz akışlı bir ısı eşanjörüdür. Paslanmaz çelikten yapılmış ısıtma tankı (30 cm çap ve 35 cm yükseklik) yaklaşık 25 lt hacminde olup, DC güç kaynaklı varyak kontrollü elektrikli bir ısıtıcı (2500 W) ile ısıtılmaktadır. Toplam tank hacminin yaklaşık üçte biri (8 lt) miktarında akışkan kullanılarak tüm deneyler gerçekleştirilmektedir. Sistemdeki akışkan, 1" çapındaki plastik borulardan oluşan gidiş-dönüş hattından akmaktadır. Sistemde 1" (DN25) çaplı, 2.7 m³/h maksimum debili, 6 m

basma yüksekliğe sahip, 10 bar basınca dayanabilen ve 0 ile +110 °C sıcaklık aralığında çalışabilen frekans konvertörlü sirkülasyon pompası bulunmaktadır. Pompa üç farklı güçte çalışabilmekte olup, ayrıca boru hattında bulunan küresel vana ile akışkan debisi ayarlanabilmektedir. Akışkana ait debi değerleri, 10 bar basınca ve 80 °C sıcaklığa dayanabilen, 0.01 lt/dk hassiyette (± 2 doğruluğa sahip) ayar yapılabilen, 1.6-32 lt/dk aralığında çalışabilen bir akış ölçer ile ölçülmektedir. Dikdörtgen kesitli (40x63 cm) 2.5 m uzunluğa sahip paslanmaz çelik hava kanalı içerisinde bir fan (1350 rpm) ile radyatör üzerine hava gönderilmektedir. Hava giriş-çıkış sıcaklıkları iki adet K tipi ısıl eleman çiftiyle (termokupl), akışkan giriş-çıkış sıcaklıkları iki adet daldırma J tipi ısıl eleman çiftiyle ve radyatör duvar yüzey sıcaklığı 7 adet J tipi ısıl eleman çiftiyle ölçülmektedir. Saniyede 250 kanala kadar tarama yapabilen 6 ½-DDM (22-bit) veri toplayıcı ile veriler kayıt altına alınmaktadır.



Şekil 3. a) Deney sisteminde kullanılan otomobil radyatörü **b)** Kıvrım tipli kanatçıklar ve tüp kesiti.

Deneylerde kullanılan araç radyatörüne ait özellikler Tablo 2 ve Tablo 3' de verilmiştir.

Tablo 2. Radyatöre ait boyutlar (su-nanoakışkan tarafı). **Tablo 3.** Radyatöre ait boyutlar (hava tarafı).

Boyut	Sembol	Değer
Radyatör uzunluğu	L_{rad}	0.66 m
Radyatör yüksekliği	H_{rad}	0.44 m
Radyatör genişliği	W_{rad}	0.026
Tüp uzunluğu	L_t	0.0621 m
Tüp yüksekliği	H_t	0.0021 m
Tüp genişliği	W_t	0.0260 m
Tüp sayısı	-	36
Tüp hidrolik çapı	d_h	0,00395 m
Toplam tüp alanı	A_i	1,214 m ²

Boyut	Sembol	Değer
Kanatçık uzunluğu	L_f	0.009 m
Kanatçık yüksekliği	H_f	0.001 m
Kanatçık genişliği	W_f	0.026 m
Her kolondaki kanal sayısı	-	287
Toplam kanal sayısı	-	10619
Toplam tüp alanı	A_o	6,74 m ²

Çalışmalarda deneysel sisteminin güvenilirliğini ve hassasiyetini belirlemek için saf suyla farklı akışkan sıcaklıkları ve debilerinde deneyler tekrarlanmıştır. Sisteme ait ana bileşenlerin (tank, tesisat ve radyatör vb.) ve ölçüm bileşenlerinin hassas ve güvenilir olduğundan emin olunması sonrasında farklı tipte ve konsantrasyondaki nanoakışkanlar ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneysel veriler sistem dengeye ulaştıktan sonra 20 saniye aralıkla toplam 10 dakika boyunca kayıt altına alınmış ve son 10 verinin ortalaması alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

2.4. Hesap Yöntemi

Bu çalışmada, deneyler sonucu elde edilen veriler logaritmik ortalama sıcaklık farkı yöntemi kullanılarak toplam ısı transferi katsayısının hesaplanmasında kullanılmıştır. Bu yöntem için aşağıda verilen eşitliklerden faydalanılmıştır.



$$q_h = \dot{m}_h c_{p,h} (T_{h,i} - T_{h,o}) \quad (3)$$

ve

$$q_c = \dot{m}_c c_{p,c} (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (4)$$

burada h ve c indisleri, sıcak ve soğuk akışkanları, i ve o indisleri ise giriş ve çıkış koşullarını belirtir. Diğer bir yararlı eşitlik, sıcak ve soğuk akışkanlar arasındaki

$$\Delta T \equiv T_h - T_c \quad (5)$$

sıcaklık farkı ile toplam ısı geçişi q arasında bir ilişki kurularak elde edilebilir. Böyle bir eşitlik, Newton'un soğuma yasasında, ısı taşınım katsayısı h yerine toplam ısı transferi katsayısı U yu yazarak bulunabilir. Uygun ortalama sıcaklık farkı için ΔT_{lm} ortalama logaritmik sıcaklık farkı tanımı

$$q = UA \Delta T_{lm} \quad (6)$$

bu eşitlikte

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln(\Delta T_2 / \Delta T_1)} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} \quad (7)$$

olup ayrıca $\Delta T_{lm} = F \Delta T_{m,CF}$ çapraz akışlı ısı değiştiricilerinde kullanılır. Burada F düzeltme katsayısıdır.

NTU (Number of Transfer Unit) ile gösterilen, geçiş birimi sayısı, ısı değiştiricilerinin çözümlemesinde yaygın olarak kullanılmakta olup,

$$NTU \equiv \frac{UA}{C_{\min}} \quad (8)$$

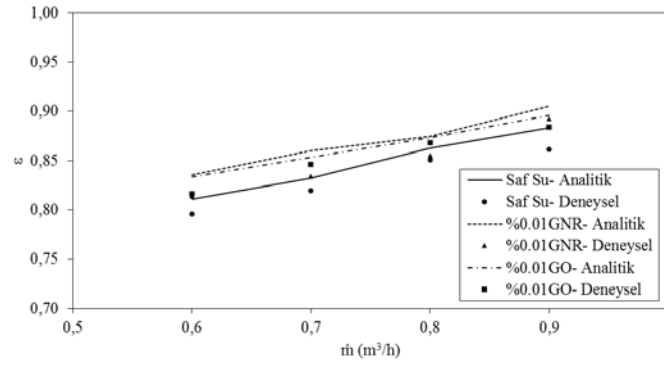
$$\varepsilon = 1 - \exp\left[\left(\frac{1}{C^*}\right)(NTU)^{0.22} \left\{\exp[-C^*(NTU)^{0.78}] - 1\right\}\right] \quad (9)$$

$$\varepsilon = \frac{q_{ort}}{C_{\min} (T_{h,i} - T_{c,i})} \quad (10)$$

Değişik ısı değiştiricisi türleri için benzer bağıntılar çıkarılmış olup, $C^* = C_{\min}/C_{\max}$ ısı kapasite debilerinin oranıdır [28].

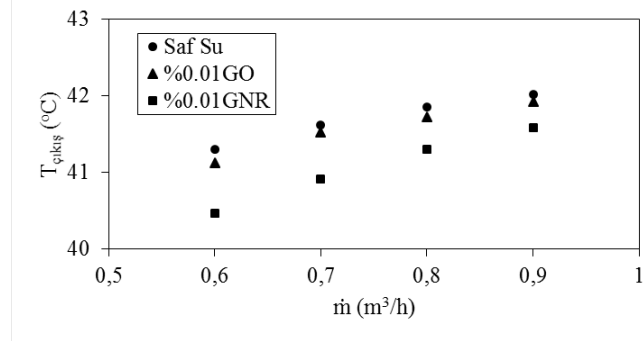
3. DENEYSEL SONUÇLAR

Saf suyla yapılan deneyler sonrasında % 0.01 hacimsel konsantrasyonda grafen oksit (GO) ve grafen nano ribon (GNR) nanoakışkanları kullanılmıştır. Elde edilen veriler neticesinde sistemin ısı performansına ait grafikler aşağıda verilmiştir. Başta saf su, grafen oksit ve grafen nano ribon nanoakışkanlarına ait etkenlik ve çıkış sıcaklıkları değerleri gösterilmiştir.



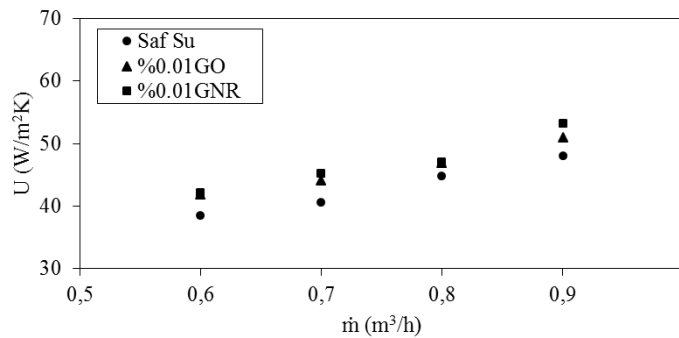
Şekil 4. Araç radyatörünün 36 °C sıcaklıktaki etkenlik değerlerinin saf su, GO ve GNR nanoakışkanları için karşılaştırılması.

Deneyler sonrasında elde edilen verilerden 36 °C sıcaklık için hesaplanan etkenlik değerleri Şekil 4' te karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Deneysel sonuçların sayısal sonuçlarla uyumlu olduğu açıkça görülmektedir. Diğer akışkan sıcaklıklarında (40 ve 44 °C) da aynı davranış uyumu elde edilmiştir. Saf suya kıyasla her iki nanoakışkanın (% 0.01 GO ve % 0.01 GNR) etkenlik değerlerinde artışlar elde edilmiştir. Saf su için en yüksek analitik 0.88 ve deneysel 0.86 etkenlik değerleri hesaplanırken, GO ve GNR nanoakışkanları için bu değerler sırasıyla 0.90, 0.88 ve 0.90, 0.89 olarak hesaplanmıştır.



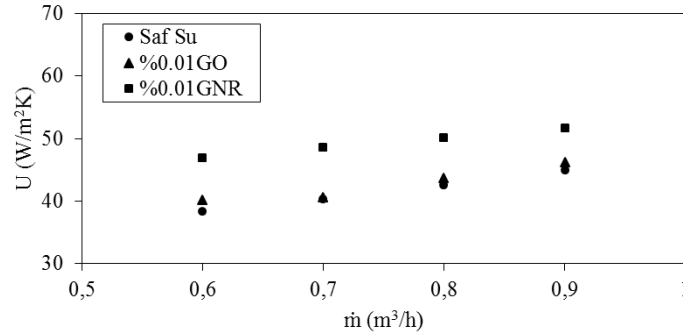
Şekil 5. Araç radyatörünün giriş sıcaklığı 44 °C iken çıkış sıcaklıkları değerlerinin saf su, GO ve GNR nanoakışkanları için karşılaştırılması.

Akışkan sıcaklığı 44 °C iken % 0.01 konsantrasyonundaki GO ve GNR nanoakışkanlarına ait çıkış sıcaklıkları değişimine ait değerler Şekil 5' te gösterilmiştir. Çıkış sıcaklığının debinin artması ile her üç akışkan için de arttığı açıkça görülmektedir. Saf su için sıcaklık farkındaki değişim 0.7 °C, GO nanoakışkanı için 0.8 °C ve GNR nanoakışkanı için 1.1 °C olmaktadır. Düşük akışkan sıcaklıklarında (36 ve 40 °C) sıcaklık farkı daha az olduğundan ayrıca gösterilmemiştir. Ancak belirtilen sıcaklıklarda da benzer davranış açıkça görülmüştür. Çıkış sıcaklıklarındaki bu değişim oranı, ısı transferi performansındaki iyileşmenin de bir göstergesi olarak yorumlanması açısından önem arz etmektedir.



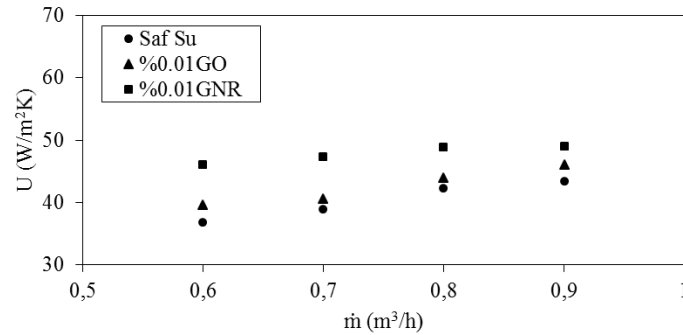
Şekil 6. 36 °C sıcaklıktaki % 0.01 GO ve GNR nanoakışkanlarının toplam ısı transferi katsayısı deneysel verilerinin saf su ile karşılaştırılması.

Şekil 6' da grafen oksit ve grafen nano ribon nanoakışkanlarının %0.01 konsantrasyon ve 36 °C sıcaklıktaki toplam ısı transferi katsayısına, U ait değerler karşılaştırılmıştır. Saf suya kıyasla her iki nanoakışkanın ısı transferi katsayısı, U değerlerinde artış görülmektedir. GO nanoakışkanı için toplam ısı transferi katsayısındaki en yüksek artış miktarı 0.6 m³/h debide % 8.7 iken GNR nanoakışkanı için 0.7 m³/h debide % 11.3 olarak gerçekleşmiştir. Verilen sıcaklıkta GO nanoakışkanı için toplam ısı transferi katsayısındaki ortalama artış miktarı % 6.9 ve GNR nanoakışkanı için % 9.1 olduğu hesaplanmıştır. Nanoakışkanların birbirleri ile karşılaştırılması durumunda ise GNR nanoakışkanının GO nanoakışkanından daha fazla artış sergilediği görülmektedir. Toplam ısı transferi katsayısındaki bu artış ortalama olarak %2.06 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 7. 40 °C sıcaklıktaki GO ve GNR (%0.01) nanoakışkanlarının toplam ısı transferi katsayısı deneysel verilerinin saf su ile karşılaştırılması.

Toplam ısı transferi katsayısının, U saf su, GO ve GNR nanoakışkanları ile 40 °C sıcaklık için karşılaştırıldığı değerler Şekil 7' de gösterilmiştir. Saf suya kıyasla her iki nanoakışkanın ısı transferi katsayısı, U değerlerinde artış görülmektedir. Verilen sıcaklıkta GO nanoakışkanı için toplam ısı transferi katsayısındaki ortalama artış miktarı % 2.8 ve GNR nanoakışkanı için % 18.9 olduğu hesaplanmıştır. Grafen nano ribon nanoakışkana ait toplam ısı transferi katsayısı, U değerindeki artış miktarının saf su ve GO nanoakışkanına kıyasla daha fazla olduğu belirgin olarak görülmektedir. GNR nanoakışkanının GO nanoakışkanına kıyasla toplam ısı transferi katsayısındaki, U artış ortalama %15.73' tür.



Şekil 8. 44 °C sıcaklıktaki GO ve GNR (%0.01) nanoakışkanlarının toplam ısı transferi katsayısı deneysel verilerinin saf su ile karşılaştırılması.

Saf su, GO ve GNR nanoakışkanların toplam ısı transferi katsayılarının, U 44 °C sıcaklıkta karşılaştırılması ait değerler Şekil 8' de gösterilmiştir. Verilen diğer sıcaklıklarda olduğu gibi 44 °C sıcaklıkta da saf suya kıyasla her iki nanoakışkanın toplam ısı transferi katsayısı değerlerindeki artış görülmektedir. Saf suya kıyasla her iki nanoakışkanın ısı transferi katsayısı, U değerlerinde artış görülmektedir. GO nanoakışkanı için toplam ısı transferi katsayısındaki en yüksek artış miktarı 0.6 m³/h debide % 7.4 iken GNR nanoakışkanı için 0.6 m³/h debide % 25.3 olarak gerçekleşmiştir. Verilen sıcaklıkta GO nanoakışkanı için toplam ısı transferi katsayısındaki ortalama artış miktarı % 5.4 ve GNR nanoakışkanı için % 18.8 olduğu hesaplanmıştır. Yine benzer olarak GNR nanoakışkanının toplam ısı transferi katsayısındaki, U artış GO nanoakışkanından daha fazla olup, ortalama %12.68 olarak gerçekleşmiştir.

Farklı akışkanlar (saf su, GO ve GNR nanoakışkanı) için verilen grafiklerde akışkan debisinin artmasının toplam ısı transferi katsayısında artış sağladığı görülmektedir. Her üç sıcaklık değerinde de saf suya kıyasla nanoakışkanların ısı transferi performansında artış olduğu açıkça görülmektedir. Ayrıca grafen nano ribon nanoakışkanının aynı konsantrasyondaki grafen oksit nanoakışkanından daha yüksek ısı transferi performansı gösterdiği de görülmektedir.

SONUÇ

Bu çalışmada, araç radyatörünün soğutma performansına nanoakışkan kullanılmasının etkisi araştırılmıştır. Su tabanlı akışkana hacimce % 0.01 konsantrasyonda grafen eklenmiştir. Elde edilen grafen oksit (GO) ve grafen nano ribon (GNR) nanoakışkanları ile farklı akışkan giriş sıcaklıklarında ve farklı debilerde deneyler gerçekleştirilmiştir. Akışkan debisindeki artışın ısı transferi performansını artırdığı tüm akışkanlarda net olarak görülmektedir. Her iki nanoakışkanın grafen tabanlı olmasına rağmen sentezlenme yöntemlerindeki farklılık elde edilen sonuçları da farklı kılmıştır. Elde edilen nanoakışkanlardan GO nanoakışkanının saf suya kıyasla ısı iletim katsayısındaki artış miktarı % 5.32 ve GNR nanoakışkanının ise % 9.66' dır. Verilen tüm sıcaklıklar (36 °C, 40 °C ve 44 °C) için toplam ısı transferi katsayısındaki, U ortalama artış GO nanoakışkanında % 5.04 ve GNR nanoakışkanında % 15.62 olarak hesaplanmıştır. Verilen her üç sıcaklık değeri için % 0.01 GNR nanoakışkanın % 0.01 GO nanoakışkanına kıyasla toplam ısı transferi katsayısındaki ortalama artış miktarı % 10.16 olarak hesaplanmıştır. Nanoakışkanların ısı transferi performansı konusundaki üstünlükleri her ne kadar belirgin olsa da, son kullanıcıya sunulması konusu henüz kesin olarak belirlenebilmiş değildir. Sonuç olarak; toplam ısı transferi katsayısında, U elde edilen artışlar araç radyatörlerinin ısı transferi performansını artırmakta olup aynı miktarda ısının daha küçük boyutlardaki araç radyatörleri ile sistemden atılabileceği anlamına gelmektedir. Bu durum araç soğutma sistemlerinde kullanılan oto radyatörlerin boyutlarının küçültülebileceği ve ağırlıklarının azaltılabileceği anlamına gelmektedir.

SEMBOLLER

A	Alan [m ²]
C _p	Özgül ısı [J/kg K]
h	Isı taşınım katsayısı [W/m ² K]
q	Isı [W]
k	Isıl iletkenlik [W/mK]
ṁ	Kütleli debi [m ³ /h]
m	Kütle [g]
T	Sıcaklık [°C]
φ	Konsantrasyon [%]
μ	Viskozite [kg/ms]

KAYNAKLAR

- [1] CANBOLAT, A.S., TÜRKAN, B., YAMANKARADENİZ, R., CAN, M., ETEMOĞLU, A.B., "Otomobil radyatörlerinde boru sayısının ısıl performansa ve etkenliğe etkisinin incelenmesi". OTEKON'14, 7. Otomotiv Teknolojileri Kongresi, Bursa, 26 – 27 Mayıs, 2014.
- [2] ŞAHİN, B., ÇOMAKLI, K., ÇOMAKLI, Ö., YILMAZ, M., "Nanoakışkanlar ile Isı Transferinin İyileştirilmesi. Mühendis ve Makine, Cilt:47, Sayı:559, s.29-34, 2006.
- [3] PEYGHAMBARZADEH S.M., HASHEMABADI S.H., HOSEİNİ S.M., SEİFİ JAMNANI M., "Experimental Study Of Heat Transfer Enhancement Using Water/Ethylene Glycol Basednanofluids As A New Coolant For Car Radiators", International Communications in Heat and Mass Transfer 38, 1283–1290, 2011.

- [4] CHOI, S.U.S., Nanofluids for improved efficiency in cooling systems, in: Heavy Vehicle Systems Review. Argonne National Laboratory, 362, Auditorium, 2006.
- [5] HONG, K.S., HONG, T.K., YANG, H.S., “Thermal Conductivity of Fe Nanofluids Depending on the Cluster Size of Nanoparticles”, Applied Physics Letters, 88,1-3, 2006.
- [6] HWAN, L. HWANG, K., JANGA, S., LEE, B., KIM, J., CHOI, S.U.S., CHOI, C., “Effective Viscosities and Thermal Conductivities of Aqueous Nanofluids Containing Low Volume Concentrations of Al₂O₃ Nanoparticles”, Int. Journal of Heat and Mass Trans., 51, 2651-2656, 2008.
- [7] JANG, S.P., CHOI, S.U.S., “Effects of Various Parameters on Nanofluid Thermal Conductivity”, Journal of Heat Transfer, 129, 617-623, 2007.
- [8] SINGH, V., JOUNG, D., ZHAI, L., DAS, S., KHONDAKER, S., SEAL, S., “Graphene Based Materials: Past, Present and Future”, Progress in Materials Science, 56, 1178-1271, 2012.
- [9] YU, W., XIE, H., CHEN, L., LI, Y. “Enhancement of Thermal Conductivity of Kerosene-Based Fe₃O₄ Nanofluids Prepared Via Phase-Transfer Method”, Colloids and Surfaces A, 355, 109-113, 2010.
- [10] ROY, G., NGUYEN, C. T., and LAJOIE, P.R., “Numerical Investigation of Laminar Flow and Heat Transfer in a Radial Flow Cooling System with the Use of Nanofluids, Superlattices and Microstructures”, vol. 35, pp. 497–511, 2004.
- [11] PALM, S. J., ROY, G., and NGUYEN, C. T., “Heat Transfer Enhancement with the Use of Nanofluids in Radial Flow Cooling Systems Considering Temperature-Dependent Properties”, Applied Thermal Engineering, vol. 26, pp. 2209–2218, 2006.
- [12] JANG, S. P., and CHOI, S. U. S., “Cooling Performance of a Microchannel Heat Sink with Nanofluids”, Applied Thermal Engineering, vol. 26, pp. 2457–2463, 2006.
- [13] NGUYEN, C. T., ROY, G., GAUTHIER, C., and GALANİS, N., “Heat Transfer Enhancement Using Al₂O₃–Water Nanofluid for and Electronic Liquid Cooling System”, Applied Thermal Engineering, vol. 27, pp. 1501–1506, 2007.
- [14] CHUN, B-H, KANG, H. U., and KİM, S. H., “Effect of Alumina Nanoparticles in the Fluid on Heat Transfer in Double- Pipe Heat Exchanger System”, Korean Journal of Chemical Engineering, vol. 25, no. 5, pp. 966–971, 2008.
- [15] DUANGTHONGSUK, W., WONGWISES, S., “Heat Transfer Enhancement and Pressure Drop Characteristics of TiO₂–Water Nanofluid in a Double-Tube Counter Flow Heat Exchanger”, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 52, pp. 2059–2067, 2009.
- [16] KARABULUT, K., YAPICI, K., BUYRUK, E., KILINC, F., “Karbon Nanotüp İçeren Nanoakışkanın Isı Transferi Artışı Ve Basınç Düşüşü Performansının Deneysel Ve Sayısal Olarak İncelenmesi”, Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 96-105, Balıkesir, 02-05 Eylül 2015.
- [17] PEYGHAMBARZADEH, S.M., HASHEMABADI, S.H., NARAKI M., VERMAHMOUDI, Y., “Experimental Study Of Overall Heat Transfer Coefficient In The Application Of Dilute Nanofluids In The Car Radiator. Applied Thermal Engineering 52, 8-16, 2013.
- [18] NIEH, H.M., TENG, T.P., YU, C.C., “Enhanced heat dissipation of a radiator using oxide nanocoalant”. International Journal of Thermal Science, 77, 252–261, 2014.
- [19] KILINC, F., BUYRUK, E., YAPICI, K., KARABULUT, K., “Oto Radyatör Soğutma Performansının Su Tabanlı Grafen Oksit Nanoakışkan İle İyileştirilmesi İçin Deneysel Çalışma”, Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 189-195, Balıkesir, 02-05 Eylül 2015.
- [20] ELBESAY, M., ELBADAWY, L., SHEDID, M.H., FATOUH, M., “Numerical Resizing Study of Al₂O₃ and CuO Nanofluids in the Flat Tubes of a Radiator”, Applied Mathematical Modelling, 40, 13-14, 6437-6450.
- [21] RAMALINGAM, S., DHAIRIYASAMY, R., RAJENDRAN, S., RADHAKRISHNAN, M., “Contraction of Radiator length in Heavy Vehicles Using Cerium Oxide Nanofluid By Enhancing Heat Transfer Performance”, Thermal Science, 20, 1037-1044, 2016.
- [22] NAIK, R.G., MOHITE, A.S., DADI, J.F., “Experimental Evaluation of Heat Transfer Rate in Automobile Cooling System by Using Nanofluids”, Proceedings of the Asme Int. Mechanical Eng. Cong. And Exposition, 8A, 2016.
- [23] HAJJAR, Z., RASHIDI, A., GHOZATLOO, A., “Enhanced Thermal Conductivities of Graphene Oxide Nanofluids”, Int. Comm. In Heat and Mass Transfer, 57, 128-131, 2014.
- [24] HUMMERS, W.S., OFFEMAN, R.E., “Preparation of Graphitic Oxide”, Am. Chem. Soc., 80, 1339, 1958.



- [25] ERAVCU, F., “Karbon Tabanlı Nanomalzemelerin Sentezi,Karakterizasyonu, Reolojisi, Isıl İletkenliği Ve Kararlılığı”, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 15, 2016.
- [26] KILINÇ, F., “Oto Radyatörlerde Nanoakışkan Kullanılarak Isı Aktarım Performansının Arttırılması”, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 62-63, 2015.
- [27] PAK B.C., CHO Y.I., 1998, Hydrodynamic and Heat Transfer Study of Dispersed Fluids with Submicron Metallic Oxide Particles, Exp. Heat Transf., 11, 151-170.
- [28] INCROPERA, F.P., DEWITT, D.P. (2000). Isı Ve Kütle Geçişinin Temelleri. Dördüncü basımdan çeviri, Literatür Yayıncılık, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Ferhat KILINÇ

1982 yılı Zara doğumludur. 2005 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2008 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır. Aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana bilim dalı, Enerji Bilim dalında 2011 yılında Yüksek Lisansını ve 2015 yılında Doktorasını tamamlamıştır. Halen Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Yrd.Doç.Dr. olarak görev yapmaktadır. Temel çalışma alanları: Isı ve Kütle Transferi, Termodinamik, Akışkanlar Mekaniği, Isı Yalıtımı ve Nanoakışkanlarda Isı Transferi üzerinedir.

Ertan BUYRUK

1970 yılında Sivas'ta doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sivas'ta tamamladı. 1991 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Temmuz 1992- Aralık 1996 yılları arasında İngiltere Liverpool Üniversitesi'nde doktorasını tamamladı. 1997 yılında Yrd. Doç., 2004 yılında Doçent, 2009 yılında Profesör unvanını aldı. Prof. Buyruk, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Endüstri Mühendisliği, Makine Mühendisliği Bölüm Başkanlıklarının yanında Mühendislik Fakültesi Dekan Yardımcılığı görevlerini de yerine getirmiştir. Evli ve bir çocuk babası olan Buyruk İngilizce bilmektedir. 2012 yılından itibaren Üniversite - Şehir ve Sanayi İşbirliği ile ilgili Rektör Danışmanlığı görevini de yürüten Prof. Buyruk, 2015-2016 yılları arasında Rektör Yardımcılığı görevini de yürütmüştür. Temel çalışma alanları: Isı ve Kütle Transferi, Termodinamik, Akışkanlar Mekaniği, Isı Yalıtımı, Soğu Depolama, Plakalı Kanatçıklı Isı Değiştiricilerde ve Nanoakışkanlarda Isı Transferi üzerinedir.

Koray KARABULUT

1984 yılı Samsun doğumludur. 2007 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2009 yılında aynı üniversitede Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır. Aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana bilim dalı, Enerji Bilim dalında 2010 yılında Yüksek Lisansını ve 2015 yılında da Doktorasını tamamlamıştır. Halen Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde Yrd.Doç.Dr. olarak görev yapmaktadır. Temel çalışma alanları: Isı ve Kütle Transferi, Termodinamik, Akışkanlar Mekaniği, Isı Yalıtımı, Plakalı Kanatçıklı Isı Değiştiricilerde ve Nanoakışkanlarda Isı Transferi üzerinedir.