

Grafen Tabanlı Nanoakışkanların Araç Radyatörü Soğutma Performansı Üzerindeki Etkisinin Deneysel Analizi

Ferhat KILINÇ^{1*}, Ertan BUYRUK¹, Koray KARABULUT²

ÖZET: Bu deneysel çalışmada, araç radyatörüne ait soğutma performansı saf su, grafen oksit (GO)-saf su ve grafen nano ribon (GNR) -saf su nanoakışkanları kullanılarak incelenmiştir. Deneyler 3 farklı akışkan giriş sıcaklığı (36, 40 ve 44 °C) ve 4 farklı debi (0.6, 0.7, 0.8 ve 0.9 m³ h⁻¹) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel veriler kullanılarak nanoakışkanlara ait toplam ısı transferi katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Araç radyatörü dikdörtgen kesitli bir kanal ile sabit hızda hava kullanılarak soğutulmuştur. Soğutma performansındaki artış, elde edilen deneysel verilere göre saf su ve nanoakışkanlar için toplam ısı transfer katsayıları karşılaştırılarak belirlenmiştir. 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 için %18.9 oldukları sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Karbon tabanlı parçacıklar, araç radyatörü, soğutma performansı.

Experimental Analysis of Graphene Based Nanofluids on Vehicle Radiator Cooling Performance

ABSTRACT: In this experimental work, cooling performance of a vehicle radiator by using pure water, graphene oxide-pure water and graphene nano ribbon-pure water nanofluids was investigated. Experiments were performed by employing 3 different fluid inlet temperatures (36, 40 and 44 °C) and 4 different flow rates (0.6, 0.7, 0.8 and 0.9 m³h⁻¹). Overall heat transfer coefficient (U) values were calculated using experimental datas for nanofluids. The vehicle radiator was cooled with air at constant velocity at a duct with rectangular cross-section. Increment in cooling performance was determined comparing U values for pure water and nanofluids according to obtained experimental datas. It was concluded that the highest average increment rates for U values were 6.9%, 32.0% and 18.9% for the 0.01% GO-pure water, 0.02% GO- pure water and 0.01% GNR- pure water nanofluids, respectively.

Key Words: Carbon based nanofluids, vehicle radiator, cooling performance.

¹Ferhat KILINÇ (Orcid ID: 0000-0003-2707-6438), Ertan BUYRUK (Orcid ID: 0000-0002-6539-7614), Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

²Koray KARABULUT (Orcid ID: 0000-0001-5680-0988), Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, SMYO Elektrik ve Enerji Bölümü Gaz ve Tesisatı Teknolojisi Programı, Sivas, Türkiye

* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Ferhat KILINÇ, e-mail: fkilinc@cumhuriyet.edu.tr

GİRİŞ

Yüksek performanslı soğutma, endüstrideki birçok teknolojinin en önemli ihtiyaçlarından biridir. Ancak doğası gereği düşük ısı iletkenlik, yüksek performanslı soğutma için gerekli olan enerji tasarruflu ısı transferi sıvılarının gelişimindeki başlıca kısıtlamadır (Das ve ark., 2008).

Yüksek verimli bir motor otomotiv endüstrisi açısından, sadece performanslı demek değil aynı zamanda daha iyi yakıt ekonomisi ve daha az salınım demektir. Araç radyatörleri otomobillerde bulunan soğutma sistemi elemanlarının en önemlilerinden biridir. Araç radyatörleri kompakt tip ısı eşanjörlerindedir. Radyatörlerin soğutma oranını artıran yaklaşımlardan biri kanatçıklar eklemektir. Bu durum daha fazla ısı transfer alanı sağlar ve hava taşınım ısı transfer katsayısını artırır. Bununla birlikte kanatçıklar ve mikrokanallar kullanarak soğutma oranını artırmak gibi geleneksel yaklaşımlar artık sınırlarına ulaşmışlardır (Kulkarni ve ark., 2008; Canbolat ve ark., 2014).

Nanoakışkanın genel olarak nanoparçacıkların bir taban akışkana süspansiyonuna denilmektedir. 100 nm ve daha küçük boyuttaki metal (Gümüş, bakır, demir, alüminyum, titanyum gibi), metal oksit (CuO, SiC, TiO₂ gibi) ya da karbon nanotüpler gibi metalik olmayan maddeler, Newton kuralına uyan akışkanlar içerisine düşük hacimsel ya da kütleli konsantrasyonlarda eklenmesiyle oluşturulurlar ve geleneksel ısı transferi akışkanlarından daha fazla ısı iletkenlik değerlerine sahiptirler. Bunun yanında çok daha iyi bir dağılım ve ısı taşınım katsayısı sağlanırken, pompalama gücünde küçük bir artış meydana getirmektedirler (Hong ve ark., 2006; Jang ve ark., 2007; Hwan ve ark., 2008).

Yapılan bir çok deneysel çalışmada metal nanoparçacık süspansiyon edilerek elde edilen nanoakışkanlar kullanılmış ve ısı değiştiricilerindeki ısı transferi performansı araştırılmıştır. Metal oksitlerle araç radyatörü

başlığı altında da benzer çalışmalar yapılmıştır. Ancak grafen tabanlı nanoakışkan kullanılarak yapılmış deneysel çalışma sayısı çok kısıtlı olup araç radyatöründe kullanımı yok denecek kadar azdır.

Alümina nanoakışkanının (Al₂O₃/su) hava soğutmalı ısı değiştiricisinde ısı dağılımına uygunluğunu incelemişlerdir. En yüksek ısı transferi artışı en fazla kütleli fraksiyon (%1.5) ve düşük nanoakışkan sıcaklığında (30 °C) %40 olmuştur (Hung ve ark., 2012). Bakır bir boruda gerçekleştirilen deneysel çalışmada %0.01 hacimde MWCNT-su nanoakışkanının hacimsel debinin etkilerini ve taşınım ısı transferi artışında ısı akışı araştırmışlardır. Reynolds sayısının 2753 olduğu durumda taban akışkanına kıyasla en yüksek ısı akışı için ısı taşınım katsayısı değerinde yüzde yirmilik artış hesaplamışlardır (Karabulut ve ark., 2015). Al₂O₃ ve TiO₂ nanoparçacıklarla bir motosiklet radyatörüyle deneysel bir çalışma yapmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda etilen glikol su karışımı ile karşılaştırıldığında viskozite %30.4, özgül ısı %3.2 ayrıca ısı iletkenlik ise %39.7 hepsi için en yüksek oranları olarak hesaplanmıştır (Nieh ve ark., 2014). Deneysel çalışmada su taban akışkanı için bakır ve alüminyum nanoparçacıklı oksit nanoakışkanları ile otomobil radyatörünün ısı performansını incelemişlerdir. Yüzdesel olarak %0.1 hacimsel oranlarda her iki nanoakışkanın da saf suya kıyasla daha fazla performans iyileşmesi gösterdiğini sonucuna varılmıştır (Naik ve ark., 2016). Otomobil radyatöründe ısı transferi performansını bakır oksit ve demir oksit nanoakışkanları için araştırmışlardır. Akışkanın sıcaklığı radyatör girişinde düşürüldüğünde toplam ısı aktarım katsayısında artış olduğu, debilerdeki artışın (sıvı ve hava için) toplam ısı aktarım katsayısını artış olduğu, nanopartikül oranındaki artışın Fe₂O₃/su nanoakışkanı için toplam ısı aktarım katsayısını artırdığı sonuçları elde edilmiştir (Peyghambarzadeh ve ark., 2013).

Yapılan bu deneysel çalışmada, araç radyatörüne ait soğutma performansı değişimi saf su ve grafen bazlı (GO ve GNR) nanoakışkanlar için radyatör girişinde farklı akışkan sıcaklıkları ve debilerinde incelenmiştir. Toplam ısı transferi katsayısı, %0.01 ve 0.02 hacimsel konsantrasyonlardaki GO-saf su ve GNR nanoakışkanları için elde edilen sonuçlar kullanılarak hesaplanmıştır. Deneyler sonrası elde edilen veriler kullanılarak toplam ısı transfer katsayıları, nanoakışkanlar için saf suyla karşılaştırılıp soğutma performansındaki artışın miktarı belirlenmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Nanoakışkanın Hazırlanması

Nanoakışkanların sentezlenmesi işlemi Sivas Cumhuriyet Üniversitesi'ne ait Nanoteknoloji Araştırma Merkezinde gerçekleştirilmiştir. Nanoparçacık olarak grafen ve taban akışkanı olarak saf su kullanılarak nanoakışkanlar hazırlanmıştır.

Karbon allotropu ve bal peteği örgülü bir yapı olan grafen, tek düzlemde iki boyutlu ve bir atom kalınlığındadır (Singh ve ark., 2012). Grafen bu yapısı sayesinde olağanüstü mekanik, ısı ve elektriksel özellikler göstermektedir ve bu nedenle çoğu araştırmacının ilgisini çekmiştir (Novoselov ve ark., 2005). Tek tabakalı grafen nanotabakasının oda sıcaklığındaki ısı iletkenliği $5000 \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ve yüzey alanı $2630 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ dir (Balandin ve ark., 2008).

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

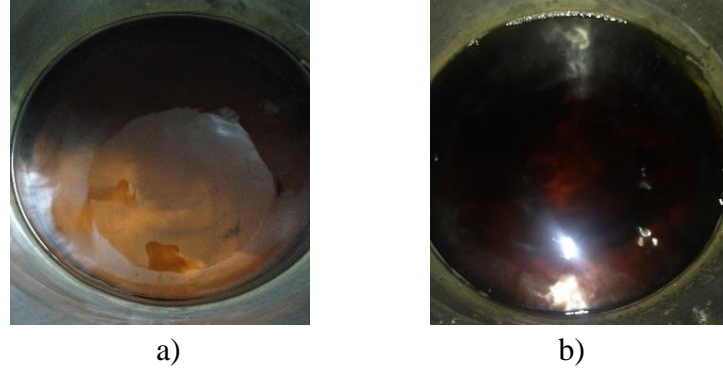
Eşitlik 1.' de gösterilen ρ_f ve ρ_p taban akışkanının ve nanoparçacığın yoğunlukları, m_p ve m_f nanoparçacığın ve taban akışkanın kütlesidir.

Deneyler öncesi ve tamamlandıktan sonraki sistem tankında bulunan grafen oksite ait

Nanoakışkanı hazırlamak için uygulanan rutin işlemler mevcuttur. Grafen tabanlı nanoakışkanlar sentezlenirken çeşitli asitler ve kimyasallarla işleme tabi tutulmuştur. Asit ve kimyasal ayrıştırma için saf su ile yıkama işlemi yapıp sonrasında fırında kurutma işlemine geçilmiş ve grafen oksit nanoparçacıkları elde edilmiştir (Hummers ve ark., 1958; Hajjar ve ark., 2014). Grafenin karbon nanotüplerden elde edilmiş hali olarak adlandırılan Ribon iki boyutlu düzlem şeklindeki yapraklar olup, silindirik şeklindeki karbon nanotüplerin uzunlamasına açılarak üretilmektedir (Eravcu, 2016).

Deneyler öncesinde hazırlanmak istenilen konsantrasyona göre grafen parçacıkları, AXIS marka terazi (0.1 mg hassasiyetli) ile tartılmıştır. Bu işlem sonrasında kütle oranı değerlerinin hacimsel oranlara çevrilmesi için Eşitlik 1. kullanılmıştır. %0.01 konsantrasyonda toplam 8 L nanoakışkan elde etmek için 4 L saf suya 0.4 gr grafen olacak şekilde iki grup halinde hazırlanmıştır. Nanoakışkanlarda bulunan nanoparçacıkların kararlılığını artırmak ve topaklaşmasını önlemek amacıyla JEIOTECH marka 230 W'lık maksimum güce ve 50 Hz'lik frekansa sahip ultrasonifikatör cihazında 4-8 saatlik süreyle sonifikasyon işlemine tabi tutulmuştur (Kılınç, 2015). Tüm işlemler sonrasında siyah mürekkep görünümünde homojen bir süspansiyon elde edilmiştir (Şekil 1.).

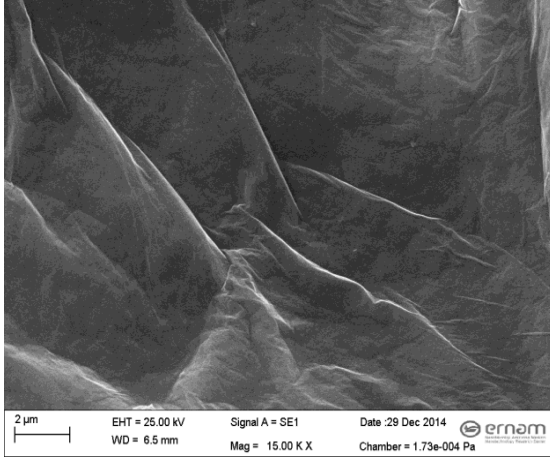
görseller Şekil 1a ve Şekil 1b' de verilmiştir. Görsellerden de fark edilebileceği gibi deneyler esnasında oksitlenme gerçekleşmiş ve nanoakışkanlar daha koyu bir renk almıştır. GNR nanoakışkanı için de aynı durum olduğundan görseller verilmemiştir.



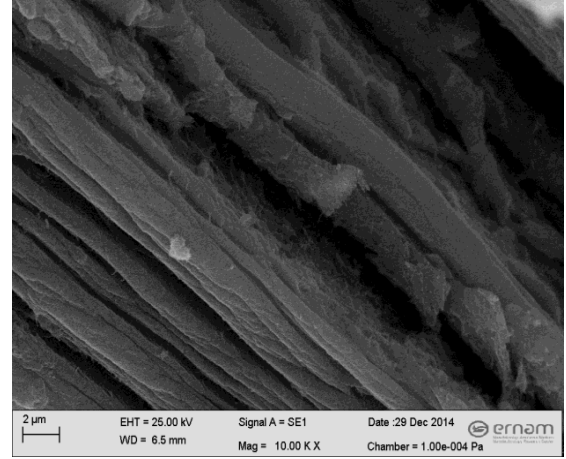
Şekil 1. GO nanoakışkanına ait görseller a) deneyden önce b) deneyden sonra

Deneysel olarak kullanılan ve iyileştirilmiş Hummers metodu ile sentezlenen grafen oksit nanoparçacıklarına ait SEM görüntüsü Şekil 2a'da ve iyileştirilmiş Hummers metodu uygulanarak

çok duvarlı karbon nanotüplerin boylamasına açılması ile üretilen grafen nano ribon nanoparçacıklarına ait SEM görüntüsü Şekil 2b'de gösterilmektedir.



a)



b)

Şekil 2. a) Grafen oksit nanoparçacıklarının b) Grafen nano ribon (Karbon nanotüp nanoşeritler) SEM görüntüleri

Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri

Nanoakışkanlara ait reolojik özelliklerin analizi gerilim kontrollü reometre (Malvern Kinexus Pro marka) ile yapılmıştır. Araştırmalarda çoğunlukla tercih edilen sıcak tel yöntemi ile deneysel olarak ısı iletkenlik ölçer cihazı (Decagon Devices KD2 Pro marka) kullanılarak ısı iletkenlik ölçümü deneysel olarak yapılmıştır. Yoğunluk ölçümü ise yine deneysel olarak yoğunluk ölçer cihazı (Anton-Paar DMA

4200) kullanılarak yapılmıştır. Nanoakışkanın özgül ısı değerleri analitik modeller kullanılarak belirlenmiştir (Pak ve Cho, 1998);

$$c_{nf} = \phi c_p + (1 - \phi) c_{bf} \quad (2)$$

Eşitlik 2' de gösterilen alt indisler sırasıyla nf, p ve bf nanoakışkan, parçacık ve taban akışkan anlamındadır. Saf su ve grafen tabanlı nanoakışkanlara ait ısı özellikler Tablo 1' de gösterilmektedir.

Tablo 1. Akışkanlara ait ısıl termofiziksel özelliklerin farklı sıcaklıklardaki değerleri

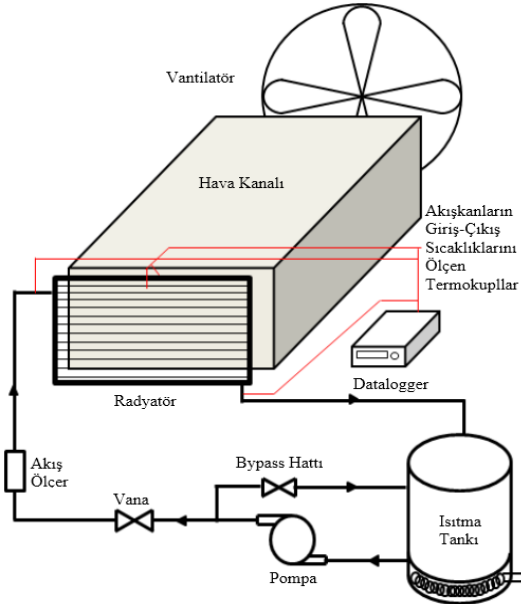
Akışkan	k ($Wm^{-1}K^{-1}$)	ρ ($kg\ m^{-3}$)	c_p ($Jk\ g^{-1}K^{-1}$)	μ ($kg\ m^{-1}s^{-1}$)
Saf Su (36 °C)	0.6246	992.0	4179	707×10^{-6}
Saf Su (40 °C)	0.6310	992.0	4179	653×10^{-6}
Saf Su (44 °C)	0.6358	992.0	4179	607×10^{-6}
%0.01 GO (35 °C)	0.6696	994.6	4179	1000×10^{-6}
%0.02 GO (35 °C)	0.6780	994.6	4179	1060×10^{-6}
%0.02GNR (35 °C)	0.7100	994.5	4179	1000×10^{-6}

Deney Sistemi ve Sistem Kalibrasyonu

Aşağıda şematik hali ve fotoğrafı verilen deney sistemi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde bulunmakta olup yaklaşık $289\ m^3$ ($11m \times 7.5m \times 3.5m$) hacme sahip bir laboratuarda kurulmuştur (Şekil 3.).

Paslanmaz çelikten imal edilen ısıtma tankı, doğru akım güç kaynağına sahip dimmer

ile kontrol edilebilen elektrikli bir ısıtıcı (2500 W) ile ısıtılmakta olup, yaklaşık olarak 25 L (30 cm çap ve 35 cm yükseklik) hacme sahiptir. Analizi yapılan araç radyatörü, kıvrımlı kanatçıklı, stadyum kesitli ve 36 adet yatay tüpten oluşan çapraz akışlı bir ısı değiştiricisidir. Deneyler tank hacminin yaklaşık üçte birine denk (8 L) nanoakışkanlar kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

**Şekil 3.** Çalışmada kullanılan deneysel sistem

Tank/radyatör arasındaki gidiş-dönüş hattı 1" çapındaki plastik borulardan oluşmaktadır. Sirkülasyon pompası (Grundfos Alpha2 25-60 180) frekans konvertörlü, 0 ile $+110\ ^\circ C$ sıcaklık

aralığında çalışabilen, $2.7\ m^3\ h^{-1}$ maksimum debili, 10 bar basınca dayanabilen ve basma yüksekliği 6 m olup, üç farklı güçte çalışabilmektedir. Akışkan debileri hem pompa

hem de tesisat mevcut olan küresel vana ile değiştirilebilmektedir. Debi ölçümleri, 80 °C sıcaklığa dayanabilen, 10 bar basınca ve 0.01 L dk⁻¹ hassasiyette ($\pm\%2$ doğruluğa sahip) ayarlanabilen, bir akış ölçer (Kobold MIK-5VA30KE14R) ile ölçülmektedir. Radyatörün soğutulması 2.5 m uzunluğa sahip dikdörtgen kesitli (40x63 cm) paslanmaz çelik hava kanalı içerisinden bir fan (Dündar SV 60 (24'') 1350 rpm) ile üzerine hava gönderilerek

gerçekleştirilmiştir. Soğutma havasının giriş-çıkış sıcaklıkları 2 adet K tipi, nanoakışkanın giriş-çıkış sıcaklıkları boru içine daldırılarak 2 adet J tipi ve araç radyatörünün yüzey sıcaklıkları ise farklı noktadaki 7 adet J tipi ısıtım elemanı çifti kullanılarak, veri toplayıcı (Agilent Technologies 34970A) ile kayıt altına alınmıştır. Deneysel olarak kullanılan araç radyatörünün boyutları aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir (Tablo 2. ve Tablo 3.).

Tablo 2. Araç radyatörünün boyutları nanoakışkan 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

Tablo 3. Araç radyatörünün boyutları (su- (hava tarafı)

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

Deney sisteminin hassasiyeti ve güvenilirliğinden emin olana kadar saf su kullanılarak farklı akışkan sıcaklıkları ve debilerinde deneyler tekrarlanmıştır. Elde edilen verilerden deneysel sistemin hassas ve güvenilir olduğundan emin olunması neticesinde nanoakışkanlar ile deneyler yapılmaya başlanmıştır. Deneysel verilerin kayıt altına alınma işlemi için sistem dengeye gelmesi beklenmiştir. Sistemin dengeye ulaşması sonrasında sonra toplam 10 dakika boyunca (20 saniyede bir ölçüm) kaydedilerek ve hesaplamalarda bu verilerin son 10 tanesinin ortalaması kullanılmıştır.

Belirsizlik Analizi

Belirsizlik analizi ölçümlerdeki hataların hesaplanmasıyla elde edilmektedir. Reynolds sayısının belirsizlik aralığı hacimsel debi ve boruların hidrolik çap ölçümlerindeki hatalardan kaynaklanırken, toplam ısı transfer

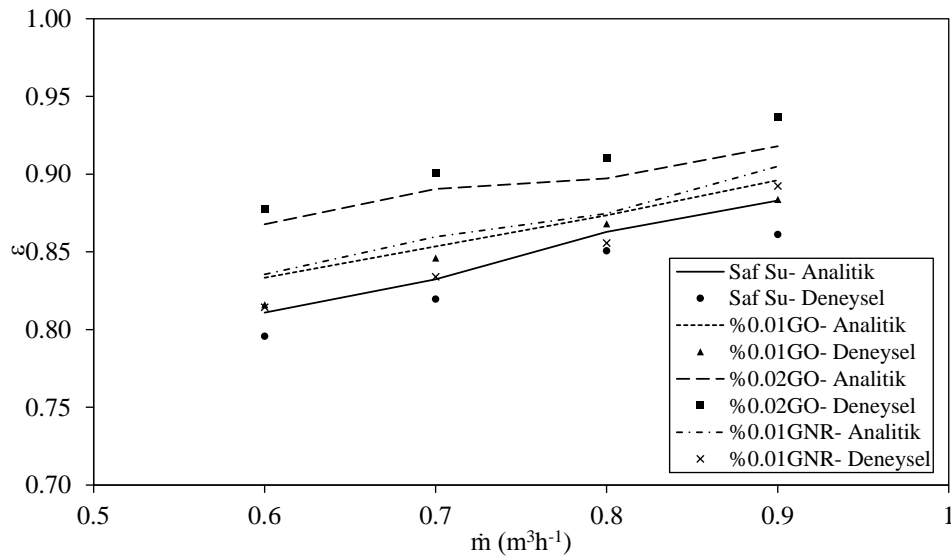
katsayısındaki hata ise hacimsel debi, hidrolik çap ve sıcaklık ölçümlerindeki hatalara bağlıdır. Belirsizlik analizine göre nanoakışkan tarafındaki Re sayısındaki belirsizlik $\pm\%2.65$, toplam ısı transfer katsayısındaki belirsizlik ise $\pm\%7.39$ olarak hesaplanmıştır (Holman, 2001).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Gerçekleştirilen deneysel çalışmada, öncelikle saf suyla deneyler yapılmış, sonrasında farklı hacimsel konsantrasyonlarda grafen tabanlı nanoakışkanlar kullanılmıştır. Farklı sıcaklıklar ve debilerde gerçekleştirilen deneylerden elde edilen veriler neticesinde toplam ısı transferi katsayısı, U hesaplanarak sisteme ait soğutma performansı grafikleri elde edilmiştir. İlk olarak grafen tabanlı nanoakışkanlar ve saf suya ait etkenlik ve radyatör çıkış sıcaklıkları değerleri gösterilmiştir.

Deneysel veriler kullanılarak etkenlik değerleri hesaplanmış ve 36 °C sıcaklık için karşılaştırmalı olarak aşağıda verilmiştir (Şekil 4.). Grafik sonuçlarında analitik ve deneysel verilerin uyumlu olduğu açıkça görülmektedir. Diğer sıcaklıklar için de (40 ve 44 °C) akışkanların benzer davranış sergilediği görülmüş olup ayrıca grafikleri verilmemiştir. Hacimce %0.01 GO-su ve GNR-su nanoakışkanlarının analitik etkenlik değerleri deneysel değerlerden daha yüksek iken, hacimce

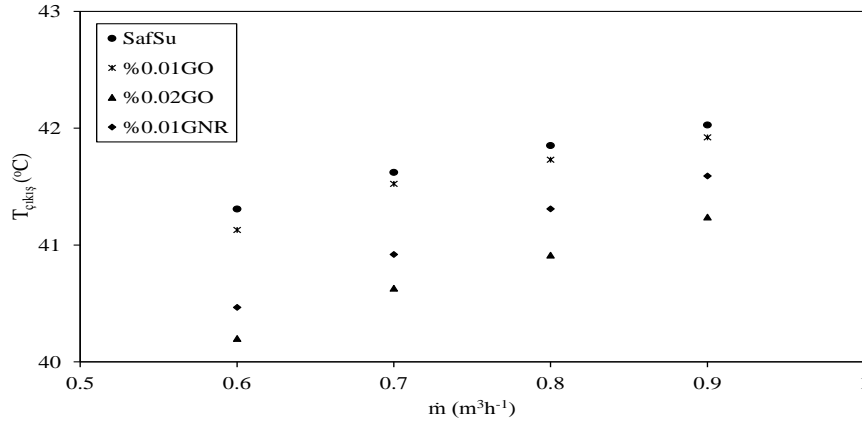
%0.02 GO-su nanoakışkanının deneysel etkenlik değerlerinin sayısal değerlerden daha yüksek çıktığı görülmektedir. Saf suyla kıyaslandığında ise tüm nanoakışkanlar için bütün sıcaklık ve debilerde nanoakışkanlara ait sayısal ve deneysel etkenlik değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Verilen sıcaklık için deneysel etkenlik değerleri en düşük 0.80 ile saf suya ve en yüksek 0.94 ile %0.02 GO-su nanoakışkanına ait olarak elde edilmektedir.



Şekil 4. Araç radyatörüne ait etkenlik değerlerinin 36 °C sıcaklığında saf su, GO ve GNR için karşılaştırılması

Giriş sıcaklıkları 44 °C olan nanoakışkanların konsantrasyonunun artırılması ile çıkış sıcaklığı değişimine ait değerler Şekil 5'te gösterilmektedir. Hacimsel konsantrasyonu %0.01 GO nanoakışkanı için çıkış sıcaklığındaki fark (0.2 °C) az olsa da gerek %0.02 GO bu fark (1.1 °C) gerekse %0.02 GNR nanoakışkanı için bu fark (0.8 °C) belirgin olarak görülmektedir.

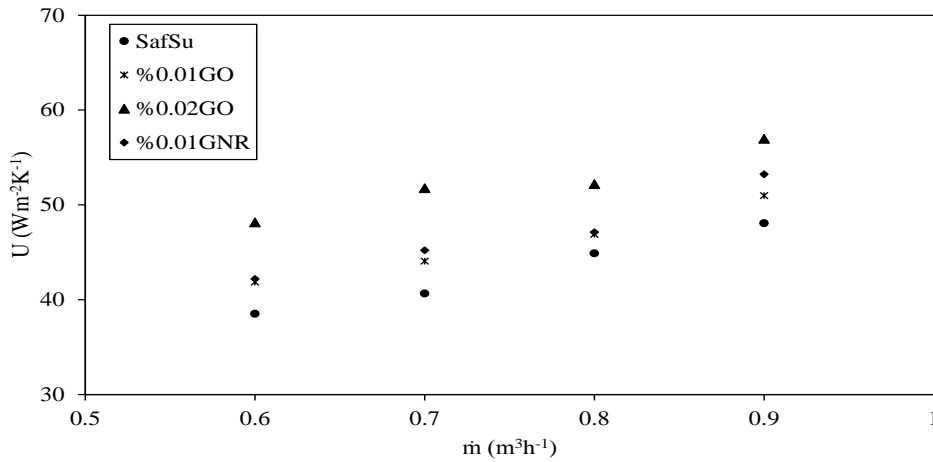
Her üç nanoakışkan için debinin artmasıyla sıcaklık farkında azalma olduğu görülmektedir. Ayrıca nanoparçacık konsantrasyonunun artırılması akışkan çıkış sıcaklığını azaltmaktadır. Çıkış sıcaklıklarındaki bu değişim oranı, araç radyatörünün soğutma performansındaki iyileşmenin bir göstergesi olarak yorumlanabilir.



Şekil 5. Araç radyatörünün 44 °C sıcaklıktaki soğutma performansının saf su, GO ve GNR için karşılaştırılması

Şekil 6’ da toplam ısı transferi katsayısındaki artış miktarı 36 °C akışkan giriş sıcaklığı için gösterilmiştir. Grafen konsantrasyonunun artmasıyla ısı transferi katsayısında artış olduğu görülmektedir. Saf suyla kıyaslandığında %0.01 GO, %0.02 GO ve %0.01 GNR nanoakışkanlarında U değeri için

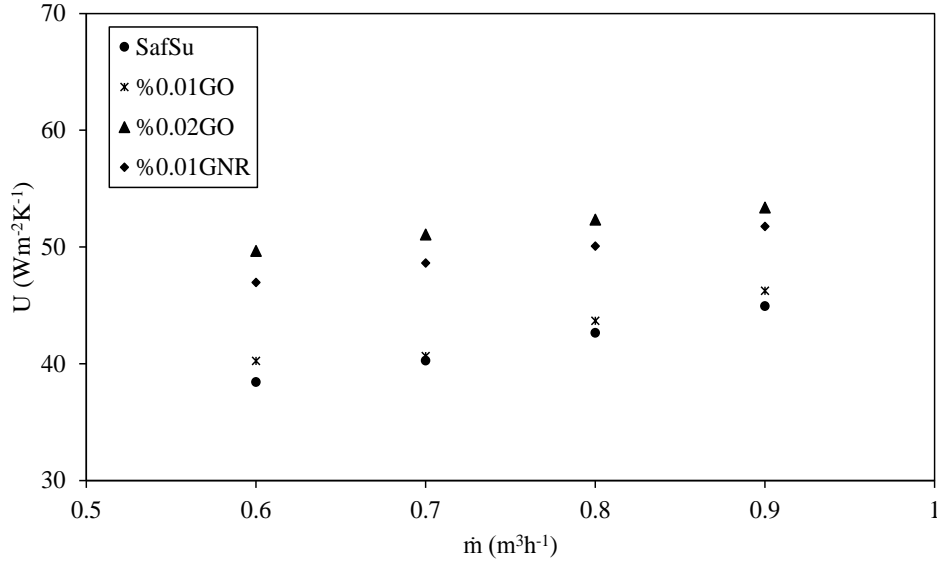
elde edilen en fazla artış miktarları sırasıyla %8.7 (0.6 m³ h⁻¹ debide) , %27.3 (0.7 m³ h⁻¹ debide) ve %11.3 (0.7 m³ h⁻¹ debide) olarak hesaplanmıştır. Tüm debilerde U değerindeki ortalama artma miktarları %6.9 (%0.01 GO), %21.8 (%0.02 GO) ve %9.1 (%0.01 GNR) olarak elde edilmiştir.



Şekil 6. U değerinin 36 °C sıcaklıkta saf su, GO ve GNR için karşılaştırılması

Toplam ısı transferi katsayısındaki artış miktarı 40 °C sıcaklık için Şekil 7’ de gösterilmektedir. Artış miktarı %0.01 GO nanoakışkanı için en yüksek %4.7, %0.02 GO nanoakışkanı için önemli bir artışla en yüksek %29.2 ve %0.01 GNR nanoakışkanı için ise %22.2 olarak elde edilmektedir. Akışkan debisi

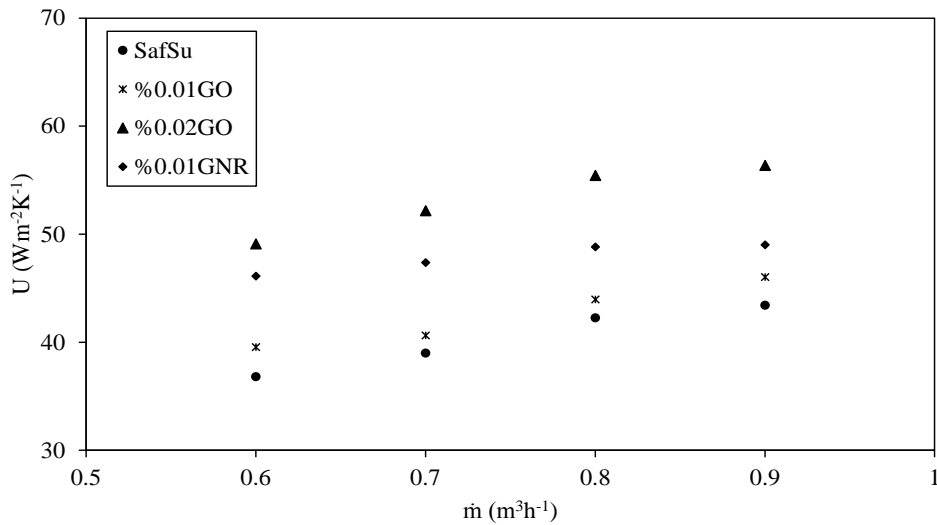
artıkça toplam ısı transferi katsayısındaki artış miktarı azalmakta ve bu durum %0.02 GO nanoakışkanı için belirgin olarak görülmektedir. Verilen sıcaklıkta U değerinde ortalama artma miktarları ise %3.4 (%0.01 GO), %24.4 (%0.02 GO) ve %18.9 (%0.01 GNR)’dür.



Şekil 7. U değerinin 40 °C sıcaklıkta saf su, GO ve GNR için karşılaştırılması

Toplam ısı transferi katsayısındaki artış miktarı 44 °C sıcaklık için Şekil 8'de gösterilmiştir. Diğer sıcaklıklarda gösterilen değerlere kıyasla, toplam ısı transferi katsayısındaki artış oranı 44 °C sıcaklıkta %0.01 GO nanoakışkanı haricinde daha belirgin olarak görülmektedir. Toplam ısı transferi katsayısı için %0.01 GO nanoakışkanında %7.9, %0.02 GO nanoakışkanında %33.9 ve %0.01 GNR nanoakışkanında %25.3 en yüksek artış miktarı olarak gerçekleşmiştir. Benzer biçimde toplam

ısı transferi katsayısındaki ortalama artış miktarı ise %0.01 GO nanoakışkanı için %5.4, %0.02 GO nanoakışkanı için %32.0 ve %0.01 GNR nanoakışkanı için %18.8 olarak hesaplanmıştır. Akışkan sıcaklığının artmasının toplam ısı transferi katsayısı değerinde artış sağladığı farklı akışkan sıcaklıkları için verilen şekillerde görülmektedir. Bu durum nanoakışkanın parçacık konsantrasyonunun artmasıyla da doğru orantılı olarak artmaktadır.



Şekil 8. U değerinin 44 °C sıcaklıkta saf su, GO ve GNR için karşılaştırılması.

SONUÇ

Grafen tabanlı nanoakışkan kullanımının araç radyatörünün soğutma performansına etkisi araştırıldığı bu deneysel çalışmada; hacimce %0.01 ve %0.02 konsantrasyonda nanoakışkanlar saf suyla kıyaslanmıştır. Deneysel sentezlenen GO ve GNR nanoakışkanlarıyla farklı akışkan sıcaklıkları ve debilerinde gerçekleştirilmiştir. Toplam ısı transferi katsayısının akışkan sıcaklığındaki ve akışkan debisindeki artışla azaldığı görülmüştür. Toplam ısı transferi katsayısındaki %0.01 GO nanoakışkanı için en yüksek artış saf suya kıyasla 36 °C sıcaklıkta %7.4, %0.02 GO ve %0.01 GNR nanoakışkanları için en yüksek artışlar sırasıyla 44 °C sıcaklıkta %33.9 ve %25.3 olarak elde edilmiştir. Deneysel sonucunda tüm sıcaklıklar için toplam ısı transferi katsayısındaki ortalama artış, saf suyla kıyaslandığında %0.01 GO için %5.41, %0.02 GO için %26.08 ve %0.01 GNR için %15.62 olarak hesaplanmaktadır.

Literatürde metal nanoparçacık kullanılarak elde edilen nanoakışkanlarla gerçekleştirilmiş bir çok çalışma bulunmaktadır. Metal oksitlerde karşılaşılan sorunların birçoğu grafen tabanlı nanoakışkanlarda görülmemektedir. Gerek metal gerekse grafen nanoparçacık kullanılan nanoakışkanların ısı aktarım performansı konusundaki üstünlükleri özellikle fark edilir olsa da; uzun süreli kullanımlarında karşılaşılabilecek sorunlar henüz anlaşılıp kesin olarak analiz edilememiştir. Sonuçta; U değerlerinde ulaşılan artışların araç radyatörlerinin soğutma performanslarının iyileştirmesine katkı sağlayıp, daha küçük boyutlardaki bileşenlerin aynı oranlardaki ısıyı sistemden atılabileceğini göstermektedir. Bu durum gerek araç gerekse diğer soğutma sistemlerinin boyutlarının küçültülebileceği ve ağırlıklarının azaltılabileceği anlamına gelmektedir. Böylece yeni nesil araçlar tasarım yönünden kısıtlamalar aşarak daha iyi aerodinamik yapılara ve daha az yakıt tüketen

düşük salınımlı çevreci araçlar haline gelebileceklerdir.

TEŞEKKÜR

Bu deneysel çalışmayı M-526 proje numarasıyla Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi desteklemiştir.

KAYNAKLAR

- Balandin AA, Ghosh S, Bao W, Calizo I, Teweldebrhan D, Miao F, Lau CN, 2008. Superior Thermal Conductivity of Single-Layer Graphene. *Nano Letters*, 8 (3): 902-907.
- Canbolat AS, Türkan B, Yamankaradeniz R, Can M, Etemoğlu AB, 2014. Otomobil Radyatörlerinde Boru Sayısının Isıl Performansa ve Etkenliğe Etkisinin İncelenmesi. 7. Otomotiv Teknolojileri Kongresi, 26 – 27 Mayıs 2014, Bursa.
- Das SK, Choi SUS, Yu W, Pradeep T, 2008. *Nanofluids: Science and Technology*. John Wiley&Sons.
- Eravcu F, 2016. Karbon Tabanlı Nanomalzemelerin Sentezi, Karakterizasyonu, Reolojisi, Isıl İletkenliği ve Kararlılığı. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Hajjar Z, Rashidi A, Ghoozati A, 2014. Enhanced Thermal Conductivities of Graphene Oxide Nanofluids. *International Communications In Heat and Mass Transfer*, 57 (2014): 128-131.
- Holman JP, 2001. *Experimental Methods For Engineers*. 7th Edition, Wiley, New York.
- Hong KS, Hong TK, Yang HS, 2006. Thermal conductivity of Fe nanofluids depending on the cluster size of nanoparticles. *Applied Physics Letters*. 88 (7): 1-3.
- Hummers WS, Offeman RE, 1958. Preparation of Graphitic Oxide. *American Chemistry Society*, 80: 13-39.
- Hung YH, Teng TP, Teng TC, Chena JH, 2012. Assessment of heat dissipation performance for nanofluid. *Applied Thermal Engineering*, 32: 132-140.

- Hwan L, KyoSik H, SeokPil J, ByeongHo L, JunHo K, Choi S U S, ChulJin C, 2008. Effective viscosities and thermal conductivities of aqueous nanofluids containing low volume concentrations of Al_2O_3 nanoparticles. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51 (11-12): 2651-2656.
- Jang SP, Choi SUS, 2007. Effects of various parameters on nanofluid thermal conductivity. *Journal of Heat Transfer*, 129 (5): 617-623.
- Karabulut K, Yapıcı K, Buyruk E, Kılınç F, 2015. Karbon Nanotüp İçeren Nanoakışkanın Isı Transferi Artışı ve Basınç Düşüşü Performansının Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi. 20. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 2-5 Eylül 2015, Balıkesir, s.96-105.
- Kılınç F, 2015. Oto Radyatörlerde Nanoakışkan Kullanılarak Isı Aktarım Performansının Arttırılması. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Basılmış).
- Kulkarni DP, Vajjha RS, Das DK, Oliva D, 2008. Application of Aluminum Oxide Nanofluids in Diesel Electric Generator as Jacket Water Coolant. *Applied Thermal Engineering*, 28 (14-15): 1774-1781.
- Naik RG, Mohite AS, Dadi JF, 2016. Experimental Evaluation of Heat Transfer Rate in Automobile Cooling System by Using Nanofluids. *Asme International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, 13-19 November 2015, Texas, USA, 8A.
- Nieh HM, Teng TP, Yu CC, 2014. Enhanced heat dissipation of a radiator using oxide nanocoolant. *International Journal of Thermal Science*, 77: 252-261.
- Novoselov K, Geim AK, Morozov S, Jiang D, Grigorieva MKI, Dubonos S, Firsov A, 2005. Two-Dimensional Gas of Massless Dirac Fermions in Graphene. *Nature International Journal of Science*, 438 (7065): 197-200.
- Pak BC, Cho YI, 1998. Hydrodynamic and Heat Transfer Study of Dispersed Fluids with Submicron Metallic Oxide Particles. *Experimental Heat Transfer*, 11 (2): 151-170.
- Peyghambarzadeh SM, Hashemabadi SH, 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.
- Singh V, Joung D, Zhai L, Das S, Khondaker KI, Seal S, 2012. Graphene Based Materials: Past, Present and Future. *Progress in Materials Science*, 56 (2011): 1178-1271.