



## EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECTS ON ENGINE OIL TEMPERATURE OF DIFFERENT NANOFLUIDS USED IN VEHICLE ENGINE COOLING SYSTEM

Tahsin Yüksel<sup>\*1</sup> , Abdullah Kapıcıoğlu<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Technology Department of Automotive Engineering, Sivas, Turkey

<sup>2</sup> Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Technology Department of Manufacturing Engineering, Sivas, Turkey

### Abstract

Original scientific paper

It is known from the experimental studies that the thermal capacities of fluids increase with the use of nanoscale particles in base fluids. Using these fluids in engine cooling systems affects engine performance positively. However, it is not known exactly how the use of these fluids affects other parameters in engines. In this study, the effects on engine oil temperature values were investigated of cooling with nano-fluid support in the internal combustion engine cooling system. As cooling liquid, an ethylene glycol-water mixture (base fluid), which is suitable for use in all seasonal conditions and is widely used, has been used in equal ratio. The effects of the refrigerants prepared by mixing different nanofluids (TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub>) in different volumetric ratios (0.1% and 0.2%) into the base fluid has been experimentally observed. In the study, a real vehicle engine with an engine volume of 1400 cm<sup>3</sup> and operated at an average of 2000 rpm has been used. The increase in heat transfer provided using nanofluid has enabled to remain the engine oil temperature at lower values. It has been observed that the engine lubricating oil can work between 1.5% and 5% cooler. The highest performance was determined as approximately 5% with SiO<sub>2</sub>. In general, the increase in the volumetric ratio of the nanofluid in the base fluid has allowed to increase the amount of heat transfer and to remain lower of the oil temperature.

**Keywords:** Cooling system, engine oil temperature, internal combustion engines, nanofluid

## TAŞIT MOTORU SOĞUTMA SİSTEMİNDE KULLANILAN FARKLI NANOAKIŞKANLARIN MOTOR YAĞ SICAKLIĞINA ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

### Özet

Orijinal bilimsel makale

Baz akışkanlar içerisinde nano boyuttaki partiküllerin kullanılması ile akışkanların ısı kapasitelerinin arttığı yapılan çalışmalarla bilinen bir olgudur. Bu akışkanları motor soğutma sistemlerinde kullanmak motor performansını olumlu yönde etkilemektedir. Fakat bu akışkanların kullanımının motorlardaki diğer parametreleri nasıl etkilediği tam olarak bilinmemektedir. Bu doğrultuda yapılan bu çalışmada, içten yanmalı motor soğutma sisteminde nanoakışkan desteği ile yapılan soğutmanın, motor yağ sıcaklık değerlerine etkileri incelenmiştir. Soğutma sıvısı olarak, her mevsim şartlarında kullanıma uygun ve yaygın olarak kullanılan etilen glikol-su karışımı (baz akışkan) eşit oranda kullanılmıştır. Baz akışkan içerisine farklı hacimsel oranlarda (%0.1 ve %0.2) farklı nanoakışkanlar (TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve SiO<sub>2</sub>) karıştırılarak hazırlanan soğutucuların etkileri deneysel olarak gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmada, ortalama 2000 dak<sup>-1</sup>'da çalıştırılan ve 1400 cm<sup>3</sup> motor hacmine sahip gerçek bir taşıt motoru kullanılmıştır. Nanoakışkan kullanımının sağladığı ısı transferindeki artış, motor yağ sıcaklığının daha düşük değerlerde kalmasına olanak sağlamıştır. Motor yağlama yağının %1.5 ile %5 arasında daha soğuk çalışabilmesi imkanı olduğu görülmüştür. En yüksek başarımla SiO<sub>2</sub> ile %5 civarında olduğu tespit edilmiştir. Genelde baz akışkan içerisindeki hacimsel nanoakışkan oranının artması, ısı transfer miktarının artmasına ve yağ sıcaklığının daha düşük kalmasına imkân vermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Soğutma sistemi, motor yağ sıcaklığı, içten yanmalı motorlar, nanoakışkan

### 1 Giriş

Dünya üzerinde trafikteki araç sayısı her geçen gün artmaktadır. Taşıt Araçları Tedarik Sanayicileri Derneği (TAYSAD) tarafından ifade edildiği üzere, 2018 yılında

dünyada 1,3 milyar motorlu taşıt olduğu, 2020 yılında da bu rakamın 2 milyara doğru yaklaştığı [1] tahmin edilmiştir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, Türkiye'deki trafığa kayıtlı araç sayısı ise 2021 yılı Ocak ayı sonu [2] itibarı ile 24 milyon 250 bin sınırlı

\* Corresponding author.

E-mail address: y.tahsin@gmail.com (T. Yüksel)

Received 27 March 2021; Received in revised form 16 April 2021; Accepted 19 April 2021

2587-1943 | © 2021 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.904338>

aşmış durumdadır. Bu haliyle her geçen gün sayısı artmaya devam eden motorlu taşıtlardan kaynaklı olan atıkların çevreye verdiği zararlar, insanların ve canlıların yaşamlarını tehdit eden önemli bir sorun olarak sürekli insanlığın karşısında durmaktadır. Çevre ve Orman Bakanlığı, TEMA, ÇEVKO, TÜRÇEV, Hava Kirliliği ve Çevre Kirliliği Önleme Birliği, Birleşmiş Milletler, Greenpeace vs. ulusal ve uluslararası bazda birçok kurum ve kuruluş, çevre kirliliğinin azaltılmasında ve denetlenmesinde çeşitli tedbirlerin alınması noktasında çalışmalar yapmaktadırlar. Bu hususta araştırmacılar da yaptıkları çeşitli çalışmalarla olumsuzlukları azaltma ve giderme yolunda katkı sağlama adına sürekli çaba içerisinde olduklarıdır.

Günümüz taşıtlarında, araç ağırlığının azaltılması belirli sınırlar dahilinde arzu edilen bir durumdur. Bu bağlamda araç üreticileri yeni kompozit malzemelerin kullanımına geçiş yaparak bileşen ağırlıklarının düşürülmesi için çaba sarf etmektedir. Araç ağırlığının düşürülmesi hem araç bakım ömrünü hem de motor bakım ömrünü geciktirerek bakım kaynaklı oluşacak olan çevre kirliliğini azaltma yolunda faydalar sağlamaktadır. Ayrıca motor bakım sürecinde önem arz eden motor yağının değişim ömrünün geciktirilmesi de önemli hedeflerdendir. Bu amaçlar doğrultusunda birçok araştırmacı tarafından son yıllarda araştırılan bir teknik olarak motor soğutma sistemlerinde nanoakışkan (NA) destekli akışkanların (3-17) kullanımı ile ilgili olarak literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Çalışmalar arasında, farklı hacimsel konsantrasyonlardaki NA'ların baz sıvı içerisine eklenmesi [6-17] yöntemi üzerine olanlar önemli bir yer tutmaktadır. Ayrıca otomobil radyatör tasarımında Al-MWCNT (Multiwall Carbon Nanotubes) kanatçıkları eklenerek radyatörün ısı transfer katsayısının artırılması [18] ve motor yağlama yağı içerisine [19-21] nano boyuttaki partiküllerin karıştırılması ile yapılmış çeşitli çalışmalar da bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarla baz akışkanın bir miktar daha soğuk kalmasına imkân olduğu tespiti yapılarak yukarıda ifade edilen çeşitli hedeflere ulaşılabileceği görülmüştür.

Soğutma sistemlerinde baz soğutucu akışkan olarak kullanılan etilen glikol (antifriz)-su karışımları, doğaları gereği çok yüksek ısı transfer kapasitelerine sahip değildir. Son yıllarda bu karışımların içerisine ısı taşıma kapasitelerini arttırmak için nanopartiküller karıştırılması, motor soğutma sistemlerini daha etkili hale getirilebilmenin yolu olarak araştırılan tekniklerdendir. Bu yöntemde NA'lar kullanılarak tasarlanmış ısı değiştiricilere sahip motorların daha uygun sıcaklıklarda çalışabilmeleri mümkün görülmektedir. Isıyı en iyi şekilde transfer eden ve hacimce daha küçük yapıda olması planlanan radyatör, su pompası ve beraberinde diğer bileşenlerinde üretilebileceği daha küçük motor (14, 18, 22, 23), bunun sonucunda ise aynı miktar yakıtla daha fazla yol alınabilmesi durumu söz konusu olabilmektedir. Bu düşünceden hareketle, soğutucu akışkanın ısı verimini arttırmak amacıyla akışkan dolaşımına engel olmayacak boyuttaki nanopartiküllerin soğutma sıvısına karıştırılma yöntemi uygulanabilecek çözümler arasında görülmektedir.

Taşıt motorlarını en verimli çalışma sıcaklığında tutmak amacıyla soğutma sisteminde kullanılan akışkan ve devre elemanlarına önemli görevler yüklenmiştir. Bu

doğrultuda soğutma devre elemanlarının boyutlarına karışılmadan, soğutma akışkanının içerisine nanopartiküller eklenerek ısı taşıma kapasitesinin artırılması sayesinde motor sıcaklığının yüksek değerlere çıkması önenebilmektedir. Motor soğutma sistemlerinde NA kullanımına bağlı olarak olumlu sonuçlar elde edilmiştir [6, 8-11, 16]. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tabanlı NA'ların soğutucu akışkan olarak kullanılması, radyatörün ısı transfer performansını baz soğutma sıvısına kıyasla artırdığı [8, 12-14] çeşitli çalışmalarda belirlenmiştir. Benzer olarak belirli oranlarda TiO<sub>2</sub> tabanlı [7, 9, 10] ve NA'ların kullanılmasının da iyi bir soğutma performansı sergilediğini [11, 16] belirten çalışmalar da mevcuttur.

Yağlama sistemleri de dolaylı olarak motor sıcaklığını düşürmek ve motor sıcaklığını belirli bir değerde tutmak için soğutma sistemine destek sağlamaktadır. Soğutma ve yağlama sistemleri, motordan en yüksek performansın elde edilmesinde önemli iki soğutma unsuru olarak görev yapmaktadırlar. Araç motor sıcaklık değerinin yüksek olması, aynı zamanda yağ sıcaklığının yükselmesine sebep olmaktadır. Yağ sıcaklığının yüksek olması, motor yağ ömrünün kısılmasına ve dolayısı ile motor performansında düşüşe yol açmaktadır. Ayrıca motor bakım ömrünün kısılmasına, sık olan bakımlar nedeniyle ekonomik olmayan bakım masrafları artışlarına ve atıklardan kaynaklı çevre kirliliğine neden olmaktadır. Belirtilen sıkıntılar, motor sıcaklığının belirli sınırların üzerine çıkılmasına engel olunarak geciktirilebilir ve düşürülebilir. Baz akışkana NA'lar karıştırılarak NA destekli soğutma sistemleri belirtilen hedeflere ulaşmak adına önem arz etmektedir.

Bu çalışmada gerçek bir taşıt üzerinde yer alan içten yanmalı bir motorun soğutma sisteminde farklı hacimsel konsantrasyon oranlarında karıştırılan NA'lar ile bu akışkanların motor yağ sıcaklığına etkileri incelenmiştir. Motor yağ sıcaklığının düşük değerlerde tutularak yağ ömrünün daha uzun olması yapılan çalışma ile tespiti hedeflenmiştir.

## 2 Materyal ve Metod

### 2.1 Çalışmada Kullanılan Nanoakışkanlar:

Çalışmalarda kullanılan su, %50 oranında EG ile karıştırılarak kullanılmıştır. %50-%50 EG-su karışım miktarı kullanılmasının nedeni, çeşitli iklim şartları ve çalışma koşullarında baz akışkanın donma ve kaynama noktalarını (donma noktası -34 °C ve kaynama noktası 107 °C [24]) daha geniş kullanım aralık değerlerinde tutabilmek için tercih edilmiştir.

Baz çalışma akışkanına belirli hacimsel oranlarda karıştırmak amacıyla kullanılan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> ve SiO<sub>2</sub> nanodispersiyonlar, Nanografi firmasından hazır halde tedarik edilmiştir. Maliyetlerinin düşük olması nedeniyle tercih edilen ve özellikleri Tablo 1'de görülen nanopartiküller deney düzeneğinde kullanılmıştır.

Nano malzemelerin NA içerisinde kullanımı ile ilgili çalışmalar göz önüne alındığında çeşitli konsantrasyon oranlarının kullanıldığı görülmektedir. Isıl iletkenliği artırdığı yapılmış olan çalışmalarla belirlenen nanopartiküller, baz sıvıya %0.05, %0.15 ve %0.3 konsantrasyonlu NA ilave edilmesi neticesinde %0.3

konsantrasyonlu karışımlarda en yüksek ısı transfer artışı [11], baz akışkan içerisindeki NA oranı %0'dan itibaren artırılarak yapılan çalışmada en yüksek başarımlık %0.4'lük oranda [16], %0.1 ile %0.5 arasındaki farklı hacimsel konsantrasyonlu NA'ların kullanılması durumunda en yüksek ısı transfer artışı %0.5'lik oranda [17] ve %0 ile %2 arasındaki hacimsel artış oranında en yüksek artış değerleri yine %2'lik oranda [25] başarımlık sağlanmış olduğu yapılan literatür taramasında görülmüştür. Soğutucu olarak su kullanılan sistemin içerisinde %0.01, %0.08, %0.2 ve %0.3 hacimsel oranlarındaki ZnO NA eklenmesi durumunda en yüksek ısı transfer artışı %0.2'lik oranla [6], %0.1, %0.2 ve %0.3 hacimsel

oranlarında karışım yapılan  $TiO_2$  NA ile yapılan çalışmada %0.2 oranındaki karışım ile radyatör etkinliğinin daha da artırıldığı [9] ve soğutma sistemlerinde %1'den düşük hacimsel oranlarında optimum performans elde edilebileceği [24] gibi sonuçlara ulaşılmıştır. Dolayısıyla ile partikül miktarının artırılmasının ısı iletkenliği artırdığı görülmesine karşın miktarın çok artması ısı iletkenliği olumsuz yönde etkilediğinin tespit edilmiş olması neticesinde yapmış olduğumuz çalışmalarda baz akışkan içerisinde %0.1 ve %0.2 oranlarında eklenerek NA'lar oluşturulması durumu itibarı ile deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

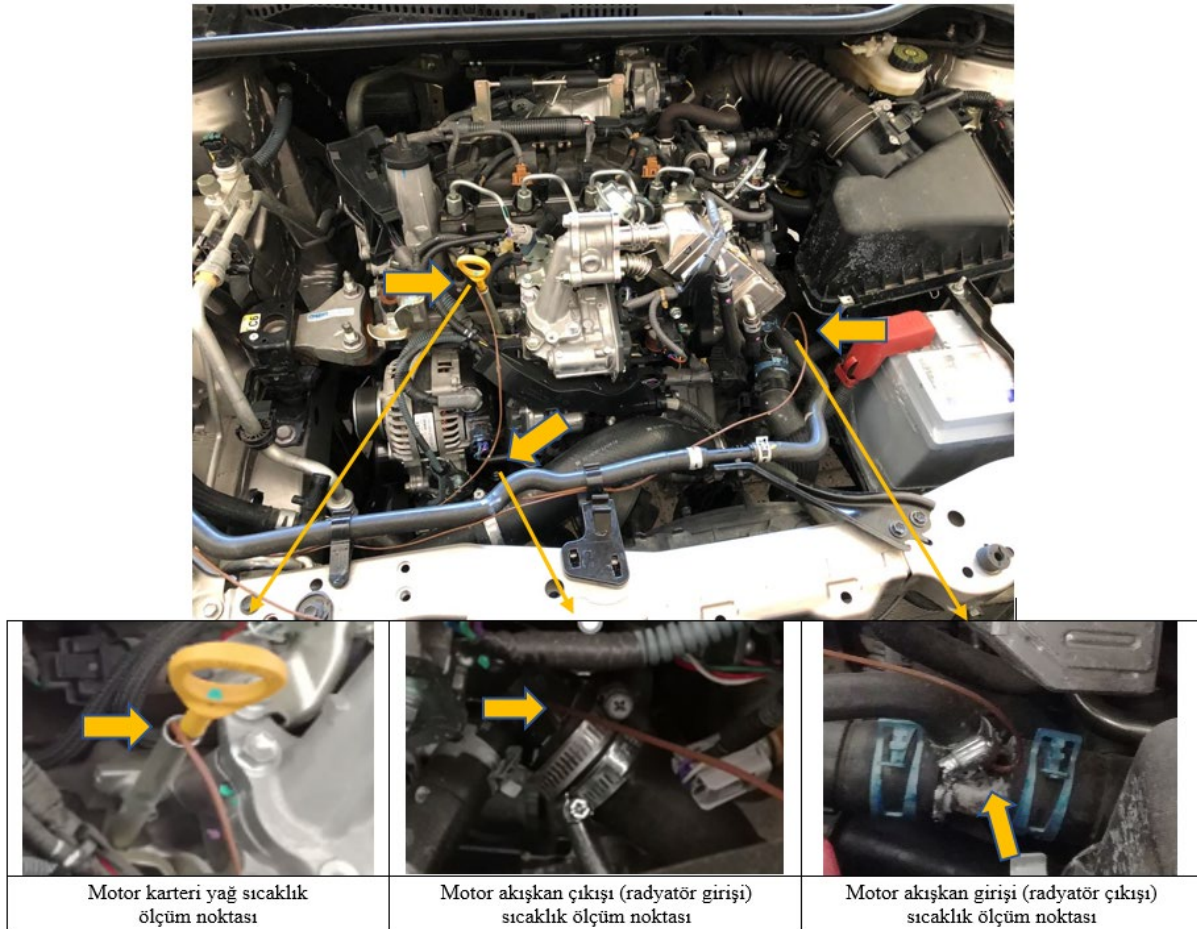
**Tablo 1.** Nanopartiküllerin özellikleri

Özellikler	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$TiO_2$
Renk	Beyaz	Beyaz	Beyaz
Partikül boyutu	5-20 nm	28 nm	25-45 nm
Safılık	%99.9	%99.9	%99.9
Morfoloji	Neredeyse küresel	Neredeyse küresel	Neredeyse küresel
Suda çözünme	Çözünmez	Çözünmez	Çözünmez
Öz kütle	2.3 gr/cm <sup>3</sup>	3.5 – 3.9 gr/cm <sup>3</sup>	4.23 gr/cm <sup>3</sup>

## 2.2 Deney sistemi

Soğutma sisteminin en önemli parçalarından biri olan radyatörün ısı performans etkinliğinin artırılması sayesinde, yağlama yağının daha düşük sıcaklıklarda çalışması sağlanarak yağ ömrünün uzatılması

hedeflenmektedir. Bu amaçla radyatördeki baz soğutucu akışkan ile içerisinde  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$  ve  $SiO_2$  NA'ları karıştırılarak radyatör ve yağ sıcaklık değişimleri deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla deneysel çalışmanın yapıldığı araç motoru Şekil 1'de, motorun ve radyatörün bazı özellikleri de Tablo 2'de verilmiştir.



**Şekil 1.** Deney çalışması yapılan araç motorunun görünüşü ve sıcaklık ölçüm noktaları

Şekil 1'de görülen araç motoru üzerinde yer alan soğutma sisteminin ısı performansını belirleyebilmek için T tipi

termokupullar (ısı çiftler) yardımıyla radyatör girişi ile çıkışındaki soğutucu akışkan sıcaklığı ve motor

karterinden motor yağ sıcaklığını tespit etmek için veri kaydedici (datalogger) cihazı her 5 saniyede bir verileri kaydetmek için hazırlanmıştır.

DeneySEL çalışmadaki her akışkan değişimi sonrası soğutma sisteminde hava kalması ihtimali sonucu ölçümlerin yanlış olması durumuyla karşılaşmamak ve belirli bir sıcaklık değerinin üzerinde ölçümler yapabilmek için termostat motor üzerinden sökülerek çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümlerde, 50 °C ve üzerindeki sıcaklık değerleri için kıyaslamalar yapılmıştır. Çalışmalarda sırasıyla %50-%50 EG-su karışımı, %50-%50 EG-su-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%0.1 ve %0.2) karışımları, %50-%50 EG-su-TiO<sub>2</sub> (%0.1 ve %0.2)

karışımları ve %50-%50 EG-su-SiO<sub>2</sub> (%0.1 ve %0.2) karışımları olan akışkanlar ile gerçekleştirilmiştir. Her akışkan değişiminde motorun içerisi suyla detaylı bir şekilde yıkanarak bir sonraki deneySEL çalışma akışkanı doldurulmuştur. Yaklaşık 2000 dak<sup>-1</sup> çalıştırılan motorun motor devrini hem OBD (On-board Diagnostics) bağlantısı ile Bosch BEA 350 cihazından hem de aracın motor devir göstergesinden takip edilmiştir. Çalışmalar esnasında ortam sıcaklığı yaklaşık 20 °C olarak ölçülmüştür. DeneySEL çalışmaların güvenilirliği noktasında her deney dört defa tekrar edilerek çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

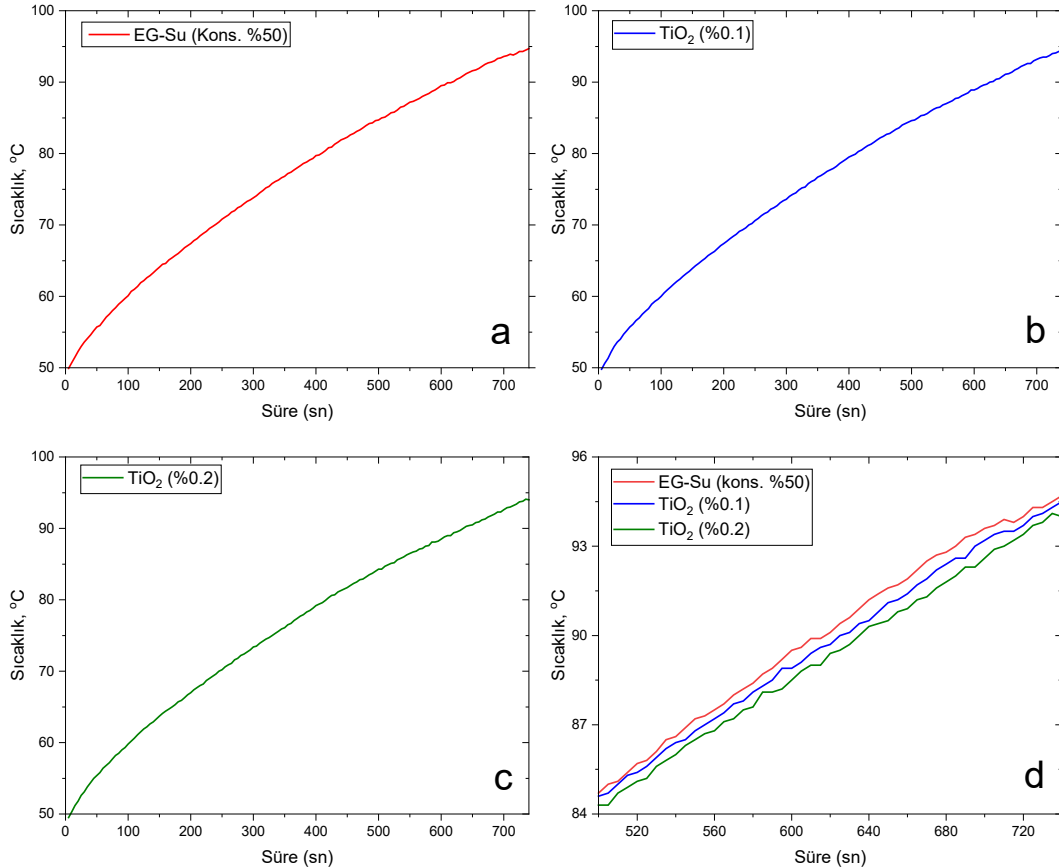
**Tablo 2.** Motor ve radyatör özellikleri

Silindir sayısı	4	Fan çalışma sıcaklığı	90 °C
Motor hacmi	1400 cm <sup>3</sup>	Radyatör uzunluğu	625 mm
Yakıt çeşidi	Motorin	Radyatör yüksekliği	390 mm
Soğutucu kapasitesi	4.5 lt	Radyatör kalınlığı	25 mm
Termostat açma sıcaklığı	82 °C	Radyatör kanal sayısı	58

### 3 DeneySEL Bulgular ve Tartışma

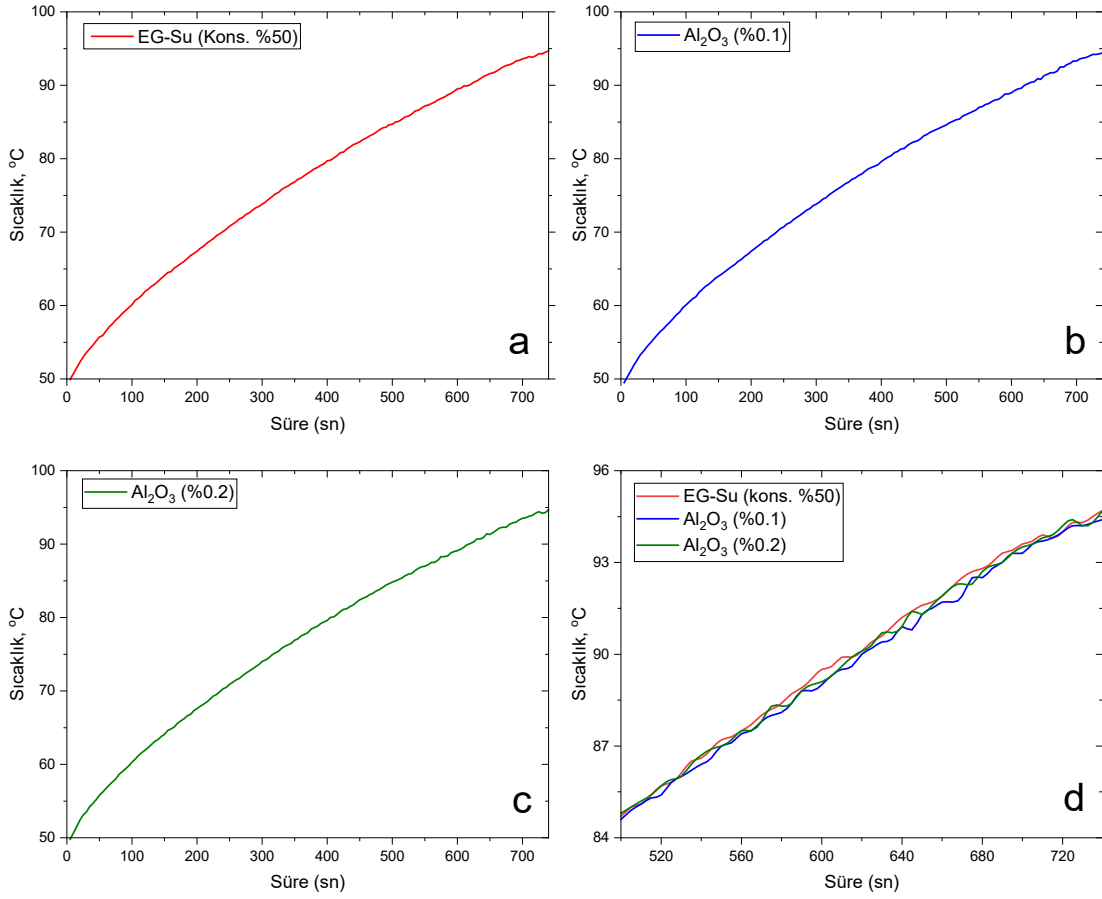
Isı transfer yüzey alanının arttırılmadığı durumlarda NA'lar kullanılarak ısı transferinin iyileştirilmesi sağlanabilmektedir. Katı haldeki metalin ısı iletkenliği sıvı haldeki akışkanınkinden yüksek olduğu için baz akışkan içerisine karıştırılan çok küçük (nano) boyuttaki katı metaller, akışkanın ısı iletkenliğini arttırmaktadır [6, 8-11, 16]. Bu sayede sistemin çalışması esnasında nano

boyuttaki partiküller arasındaki etkileşim ve çarpışmalar, akışkanın ve akış geçidinin yüzeyinin artmasına imkân vermektedir. Bu doğrultuda yapılan çalışmalarda, baz akışkan EG-su karışımı ile yapılan soğutmadaki motor yağ sıcaklığı (Şekil 2.a, 3.a ve 4.a), baz akışkana hem %0.1 hem de %0.2 NA karışımları ile yapılan soğutma işlemlerindeki motor yağ sıcaklıklarının kıyaslanma durumları Şekil 2.d TiO<sub>2</sub>, Şekil 3.d Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Şekil 4.d SiO<sub>2</sub> görülmektedir.



- (a) Baz akışkan (EG-su) kullanımı esnasındaki motor yağ sıcaklığı  
 (b) %0.1 TiO<sub>2</sub> NA karışımı kullanımı esnasındaki motor yağ sıcaklığı  
 (c) %0.2 TiO<sub>2</sub> NA karışımı kullanımı esnasındaki motor yağ sıcaklığı  
 (d) Baz akışkan ve NA'ların kullanımı ile motor yağ sıcaklıklarının kıyaslanması

**Şekil 2.** TiO<sub>2</sub> (%0.1 ve %0.2) karışımları için motor yağ sıcaklıkları



- (a) Baz akışkan (EG-su) kullanımı esnasındaki motor yağ sıcaklığı  
 (b) %0.1 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NA karışımı kullanımı esnasındaki motor yağ sıcaklığı  
 (c) %0.2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NA karışımı kullanımı esnasındaki motor yağ sıcaklığı  
 (d) Baz akışkan ve NA'ların kullanımı ile motor yağ sıcaklıklarının kıyaslanması

Şekil 3. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%0.1 ve %0.2) karışımları için motor yağ sıcaklıkları

Şekil 2'deki grafiklerde görüldüğü üzere, NA kullanılarak yapılan çalışmalarda motor yağ sıcaklık değerleri baz akışkana kıyasla daha düşük değerde kalmıştır. Şekil 2.d'deki karşılaştırma grafiğinde bu durum daha net bir şekilde görülmektedir. Literatür çalışmalarından elde ettiğimiz bilgilerle uyumlu olarak, NA karışımlarındaki ısı iletkenliğinin daha yüksek olması [8, 12-14] motorun daha soğuk kalmasına imkân vermiştir. Dolayısı ile daha soğuk çalışabilen motorun yağ sıcaklığı da düşük değerlerde kalmıştır. NA'lar, baz akışkanın ısı taşıma kapasitesini arttırmıştır.

Motor yağlama yağ sıcaklığının yüksek olması istenen bir durum değildir. Yüksek yağ sıcaklık değeri; yağın yapısının erken süreçte bozularak yağ ömrüne, motor bakım ömrüne, yağ film tabakasının yırtılarak motor parçalarında aşınmaya sebep olabilmektedir [26]. Motor bakım ömrünün kısalması, çeşitli motor parçalarının daha erken süreçte değişmesine ihtiyaç göstererek hem ekonomik anlamda hem de bakım süreci nedeniyle zaman kaybı anlamına da gelmektedir.

Baz akışkan içerisindeki NA hacimsel miktarının artışı durumunda, motor yağ sıcaklık değerleri (Şekil 2.c) daha düşük kaldığı yapılan kıyaslamada görülmektedir (Şekil 2.d). Baz akışkan içerisindeki NA artışı, ısı transferine olumlu olarak [11, 16, 17, 25] katkı yapmıştır. Soğutucu akışkan içerisindeki hacimsel olarak

nanopartikül miktarının artırıldığı karışım incelendiğinde motor yağ sıcaklıkları, motor fan çalışma sıcaklığı olan 90 °C'ye daha geç ulaştığı anlaşılmıştır. %0.1 hacimsel oranına kıyasla %0.2 hacimsel oranının kullanıldığı soğutma sisteminde motor yağ sıcaklıkları daha soğuk kalmıştır. Bu durum daha soğuk motor ve daha soğuk yağlama yağı anlamına gelmekle beraber motor yağ ömrünün ve motor bakım ömrünün daha uzaması anlamına da taşımaktadır.

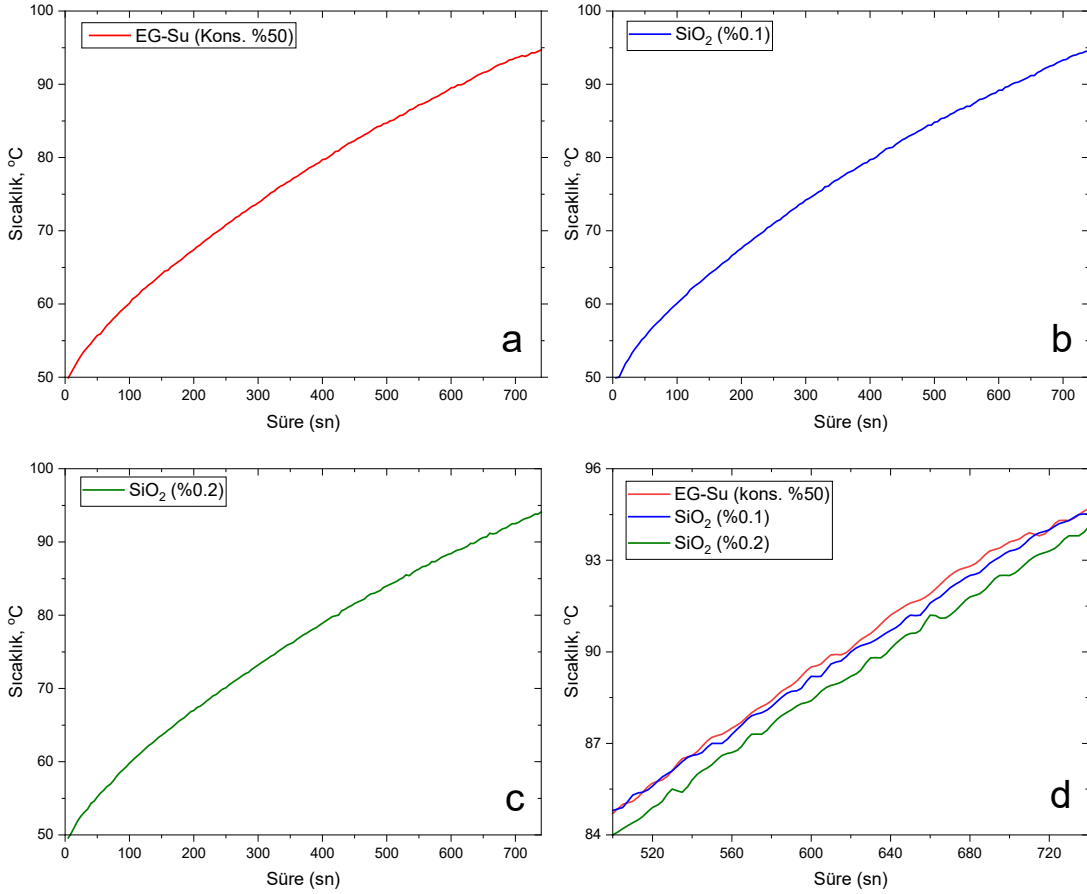
Şekil 3 incelendiğinde, TiO<sub>2</sub> NA kullanımı ile elde edilen başarımların durumu, baz akışkan içerisine Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NA karışımlarının kullanılmasında da elde edilmiştir. Baz akışkan içerisine hem %0.1 hem de %0.2 NA karışımları ile yapılan soğutma işlemlerindeki motor yağ sıcaklıklarının baz akışkanla yapılan soğutmaya kıyasla daha soğuk kaldığı belirlenmiştir. Ancak Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NA kullanımı ile elde edilen sonuçlar Şekil 3.d'de görüldüğü üzere birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür.

Baz akışkan içerisine karıştırılan NA SiO<sub>2</sub>, motorun daha soğuk çalışmasına imkân sağlayarak baz akışkanın ısı iletkenliğinin artırmasına [6, 8-11, 16] katkı sağlamıştır. Soğutma sisteminde sadece baz akışkan kullanımı sonucu elde edilen verilerde en yüksek motor yağ sıcaklıklarını (Şekil 4) göstermektedir. Baz akışkan içerisindeki %0.1 (Şekil 4.b) ve %0.2 (Şekil 4.c) hacimsel oranlarındaki SiO<sub>2</sub> NA karışımları bu çalışmada da daha



düşük motor yağ sıcaklığına imkân vermiştir. Dolayısı ile baz akışkan içerisindeki hacimsel NA artışının olumlu etkisi [11, 16, 17, 25], motor yağının daha soğuk çalışmasında katkı sağlamıştır (Şekil 4.d). Motor yağ

sıcaklığının daha düşük değerlerde kalması veya yüksek sıcaklıklara daha geç ulaşması yağ ömrüne olumlu yansiyarak bakım ve yağ değişim sürecinin daha geç gerçekleşmesinde fayda sağlamaktadır.



- (a) Baz akışkan (EG-su) kullanımı esnasındaki motor yağ sıcaklığı  
 (b) %0.1 SiO<sub>2</sub> NA karışımı kullanımı esnasındaki motor yağ sıcaklığı  
 (c) %0.2 SiO<sub>2</sub> NA karışımı kullanımı esnasındaki motor yağ sıcaklığı  
 (d) Baz akışkan ve NA'ların kullanımı ile motor yağ sıcaklıklarının kıyaslanması

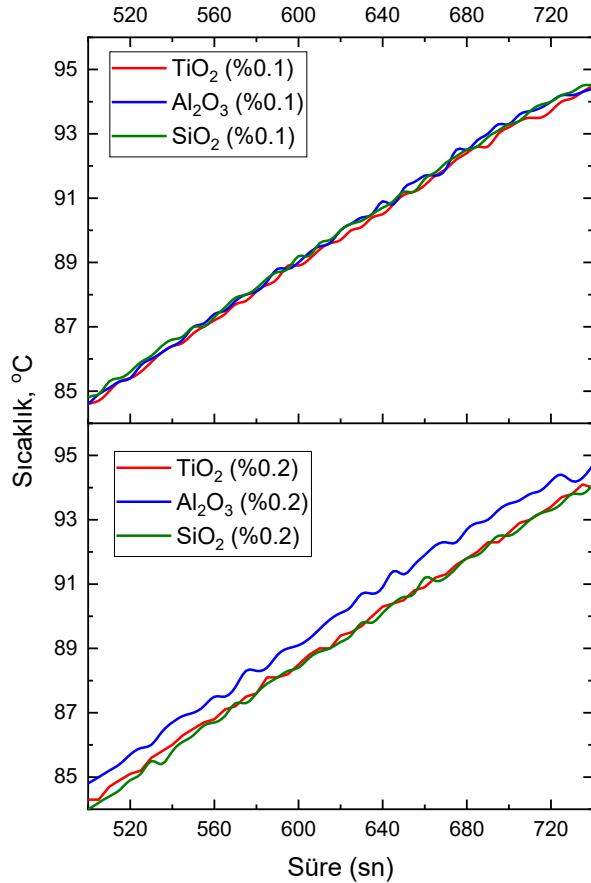
Şekil 4. SiO<sub>2</sub> (%0.1 ve %0.2) karışımları için motor yağ sıcaklıkları

Yukarıda yer alan grafikler incelendiğinde baz akışkanla yapılan soğutma sürecinde, motor yağ sıcaklık değerlerinin NA karışımlarına kıyasla daha yüksek kaldığı görülmektedir. Dolayısıyla baz akışkan içerisine NA'ların karışımı, akışkanın ısı taşıma kapasitesine olumlu olarak fayda sağlamış olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum da dolaylı olarak motor yağlama yağının daha soğuk kalmasına olanak sağlamıştır. Daha önce ifade edildiği gibi motor yağının belirli sınırlar dahilinde soğuk çalışması yağ ömrüne, motor parçalarının ömrüne ve beraberinde motor bakım sürecinin daha geç bir süreçte yapılmasına imkân sağlamaktadır. Aksi halde motorun sıcak çalışması neticesinde motor yağ yapısının erken süreçte bozulması nedeniyle bakım süreçleri de daha kısa süreçlerde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu durum itibarı ile motor yağı, motor parçaları ve motor bakım ömrünün daha geç yapılabilmesi hem ekonomik anlamda hem de atıklardan kaynaklı çevre sağlığı anlamında olumlu katkı sağlayacağı muhakkaktır. Aynı zamanda bakım sürecinden kaynaklı zaman kaybının da belirli bir oranda azaltılması imkânı olduğu görülmüştür.

Yağ sıcaklık değerlerinin 100 °C'ye yaklaşması durumunda grafiklerde görüldüğü gibi baz akışkan ve NA destekli soğutma sistemlerindeki sıcaklık değerleri birbirlerine yaklaşmaktadır. Bu durumda, yüksek sıcaklık değerlerinde NA destekli soğutma sistemlerindeki sıvı haldeki soğutucunun buharlaşarak katı halde bulunan nanopartiküllerin sisteme sağladığı katkının azalması şeklinde ifade edilebilir. Yani sistemdeki aşırı sıcaklık yükselmeleri NA karışımı sistemler için olumlu bir etki göstermemektedir. Baz akışkan içerisindeki hacimsel nanopartikül oranı arttıkça NA'ların ısı iletkenliği artarken, sıcaklık artışı ile ısı iletkenlikte azalma olmaktadır [27]. Bunun nedeni, radyatör içerisindeki baz akışkan sıcaklığı arttıkça sıvı haldeki akışkan fazın buhar fazına dönüşmesi olarak görülmektedir.

Soğutma sisteminde NA miktarının artması nedeniyle sistemde dolaşan nano boyuttaki partikül sayısındaki artış soğutma sisteminin yüzey alanının artmasına imkân sağlamış olması nedeniyle daha iyi ısı transferi sağlamış bulunmaktadır. Dolayısı ile %0.1 ve %0.2 hacimsel kıyaslamalarında, %0.2 hacimsel oranı için baz akışkan içerisindeki partikül miktarındaki artış (Şekil 5),

akışkanın ısı iletkenliğinin artmasına [11, 16, 17, 25] katkı sağlaması nedeniyle en yüksek soğutma performansı sergilemiş, daha soğuk motor ve daha soğuk motor yağı sıcaklık değerlerinin elde edilmesine imkân vermiş bulunmaktadır. Radyatör fan çalışma sıcaklığı 90 °C olarak referans alınması durumunda elde edilen başarımlar şu şekilde gerçekleşmiştir. %0.2 NA karışımları sayesinde baz akışkana kıyasla yapılan soğutma da yaklaşık olarak motor yağ sıcaklıkları SiO<sub>2</sub> ile %5, TiO<sub>2</sub> ile %4 ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile %1.5 başarımla elde edilmiş bulunmaktadır. %0.1 NA karışımları sayesinde baz akışkana kıyasla yapılan soğutma da ise yaklaşık olarak motor yağ sıcaklıkları %1.5 ile %2.5 aralığında başarımla sağlanmıştır.



Şekil 5. %0.1 ve %0.2 NA karışımları için motor yağ sıcaklıklarının genel kıyaslaması

#### 4 Sonuçlar

Bu çalışmada, yaklaşık 2000 dak<sup>-1</sup> çalıştırılan 1400 cm<sup>3</sup> hacme sahip olan taşıt üzerindeki bir dizel motorunun soğutma sisteminde EG-su ile farklı konsantrasyon oranlarındaki NA'ların motor yağ sıcaklığına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda;

-Baz akışkana kıyasla içerisine NA karışımları sayesinde test edilen soğutma sistemlerinin performanslarında iyileşme olduğu, motorun daha soğuk çalışabilmesi sayesinde motor yağ sıcaklık değerleri de yaklaşık olarak %1.5 ile %5 arasında daha düşük kaldığı tespit edilmiştir. Bu durum motor yağ ömrü ve motor bakım ömrü açısından olumlu olarak öngörülmektedir.

-Baz akışkan içerisine %0.2 oranında karışım yapılan NA'lar ile yaklaşık olarak SiO<sub>2</sub> ile %5, TiO<sub>2</sub> ile %4 ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile %1.5 daha yüksek başarımla elde edilmiştir.

-Baz akışkana kıyasla %0.1 NA karışımları sayesinde yapılan soğutma da olarak motor yağ sıcaklıkları yaklaşık %1.5 ile %2.5 aralığında daha soğuk kalmıştır.

-Genel olarak baz akışkan içerisindeki nano boyutlu partikül miktarının fazlalığı daha fazla ısı taşıma kapasitesi olarak kendini göstermiştir. Akışkan içerisine karıştırılan partiküller akışkanın yüzey alanını ve ısı kapasitesini artırması sonuç olarak motor yağ sıcaklığına da olumlu yansımıştır.

-Baz akışkan içerisinde hacimsel olarak partikül artışı genel anlamda ısı iletkenliği arttırmıştır.

#### Bilgilendirme

Gerçekleştirilen bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur.

#### Teşekkür

Bu çalışma, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) tarafından TEKNO-026 proje numarası ile desteklenmiştir.

#### Kaynaklar

- [1] Tüm dünyada motorlu araç sayısı 2 milyara yaklaşıyor Yazar iDealData. Retrieved June 21, 2021, from <https://tr.investing.com/news/economy/tum-dunyada-motorlu-arac-says-2-milyara-yaklasiyor-1971549>
- [2] TÜİK. Retrieved June 21, 2021, from <https://tuikweb.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleridojsessionid=Sqdhg09GhPBbfPStMJ4pQ11SrvydJxwVsSpKWdK2GlJbLn7fmCHR!1955124248?id=37411>
- [3] Sundar, L. S., Kirubeil, A., Punnaiah, V., Singh, M. K., & Sousa, A. C. (2018). Effectiveness analysis of solar flat plate collector with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> water nanofluids and with longitudinal strip inserts. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 127, 422-435.
- [4] Leong, K. Y., Saidur, R., Mahlia, T. M. I., & Yau, Y. H. (2012). Performance investigation of nanofluids as working fluid in a thermosyphon air preheater. *International communications in heat and mass transfer*, 39(4), 523-529.
- [5] Krishnakumar, T. S., Viswanath, S. P., & Varghese, S. M. (2018). Experimental studies on thermal and rheological properties of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ethylene glycol nanofluid. *International Journal of Refrigeration*, 89, 122-130.
- [6] 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.
- [7] Hatami, M., Jafaryar, M., Zhou, J., & Jing, D. (2017). Investigation of engines radiator heat recovery using different shapes of nanoparticles in H<sub>2</sub>O/(CH<sub>2</sub>OH)<sub>2</sub> based nanofluids. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(16), 10891-10900.
- [8] Subhedar, D. G., Ramani, B. M., & Gupta, A. (2018). Experimental investigation of heat transfer potential of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Water-Mono Ethylene Glycol nanofluids as a car radiator coolant. *Case studies in thermal engineering*, 11, 26-34.
- [9] Ahmed, S. A., Ozkaymak, M., Sözen, A., Menlik, T., & Fahed, A. (2018). Improving car radiator performance by using TiO<sub>2</sub>-water nanofluid. *Engineering science and technology, an international journal*, 21(5), 996-1005.
- [10] Devireddy, S., Mekala, C. S. R., & Veerredhi, V. R. (2016). Improving the cooling performance of automobile radiator with ethylene glycol water based TiO<sub>2</sub> nanofluids.

- International communications in heat and mass transfer*, 78, 121-126.
- [11] Tijani, A. S., & bin Sudirman, A. S. (2018). Thermophysical properties and heat transfer characteristics of water/anti-freezing and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/CuO based nanofluid as a coolant for car radiator. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 118, 48-57.
- [12] Elias, M. M., Mahbulul, I. M., Saidur, R., Sohel, M. R., Shahrul, I. M., Khaleduzzaman, S. S., & Sadeghipour, S. (2014). Experimental investigation on the thermo-physical properties of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles suspended in car radiator coolant. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 54, 48-53.
- [13] Goudarzi, K., & Jamali, H. (2017). Heat transfer enhancement of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-EG nanofluid in a car radiator with wire coil inserts. *Applied Thermal Engineering*, 118, 510-517.
- [14] Peyghambarzadeh, S. M., Hashemabadi, S. H., Jamnani, M. S., & Hoseini, S. M. (2011). Improving the cooling performance of automobile radiator with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/water nanofluid. *Applied thermal engineering*, 31(10), 1833-1838.
- [15] Elsebay, M., Elbadawy, I., Shedid, M. H., & Fatouh, M. (2016). Numerical resizing study of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and CuO nanofluids in the flat tubes of a radiator. *Applied Mathematical Modelling*, 40(13-14), 6437-6450.
- [16] Naraki, M., Peyghambarzadeh, S. M., Hashemabadi, S. H., & Vermahmoudi, Y. (2013). Parametric study of overall heat transfer coefficient of CuO/water nanofluids in a car radiator. *International Journal of Thermal Sciences*, 66, 82-90.
- [17] Selvam, C., Raja, R. S., Lal, D. M., & Harish, S. (2017). Overall heat transfer coefficient improvement of an automobile radiator with graphene based suspensions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 115, 580-588.
- [18] Jadar, R., Shashishekar, K. S., & Manohara, S. R. (2017). Nanotechnology integrated automobile radiator. *Materials Today: Proceedings*, 4(11), 12080-12084.
- [19] Mohammadi, S. K., Etemad, S. G., & Thibault, J. (2009). Measurement of thermal properties of suspensions of nanoparticles in engine oil. In Technical Proceedings of the 2009 NSTI Nanotechnology Conference and Expo, NSTI-Nanotech32009 (pp. 74-77).
- [20] Vasheghani, M. (2012). Enhancement of the thermal conductivity and viscosity of aluminum component- engine oil nanofluids. *Nanoscience and Technology: An International Journal*, 3(4).
- [21] Etefaghi, E.O.L., Ahmadi, H., Rashidi, A., Nouralishahi, A., & Mohtasebi, S. S. (2013). Preparation and thermal properties of oil-based nanofluid from multi-walled carbon nanotubes and engine oil as nano-lubricant. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 46, 142-147.
- [22] Hussein, A. M., Bakar, R. A., & Kadrigama, K. (2014). Study of forced convection nanofluid heat transfer in the automotive cooling system. *Case Studies in Thermal Engineering*, 2, 50-61.
- [23] Hussein, A. M., Dawood, H. K., Bakara, R. A., & Kadrigamaa, K. (2017). Numerical study on turbulent forced convective heat transfer using nanofluids TiO<sub>2</sub> in an automotive cooling system. *Case Studies in Thermal Engineering*, 9, 72-78.
- [24] Sidik, N. A. C., Yazid, M. N. A. W. M., & Mamat, R. (2017). Recent advancement of nanofluids in engine cooling system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 137-144.
- [25] Leong, K. Y., Saidur, R., Kazi, S. N., & Mamun, A. H. (2010). Performance investigation of an automotive car radiator operated with nanofluid-based coolants (nanofluid as a coolant in a radiator). *Applied Thermal Engineering*, 30(17-18), 2685-2692.
- [26] Soydan, Y., & Ulukan, L. (2013). Temel Triboloji, Sürtünme, Aşınma, Yağlama Bilimi ve Teknolojisi. Tagem Kopisan, Sakarya.
- [27] Tadepalli, R., Gadekula, R. K., Reddy, K. V., Goud, S. R., Nayak, S. K., Saini, V., & Dondapati, R. S. (2018). Characterization of Thermophysical properties of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, SiC and CuO Nano Particles at Cryogenic Temperatures. *Materials Today: Proceedings*, 5(14), 28454-28461..